

Šviesą spinduliuojančių puslaidininkinių šaltinių išdėstymo modeliavimas*

Jurgita DABULYTĖ (VU, KTU), Feliksas IVANAUSKAS (VU, MII),
Artūras ŽUKAUSKAS (VU)

el. paštas: feliksas.ivanuskas@maf.vu.lt, jurgita.dabulyte@ktu.lt

Reziumė. Šio tyrimo tikslas yra sukurti schemą, pagal kurią būtų galima konstruoti kietakūnes apšvietimo lempas. Pasiūlytas matematinis kietakūnės lempos matematinis modelis. Modelio diskretizacijai pasirinktas baigtinių skirtumų metodas.

Raktiniai žodžiai: apšvietimo sistema, spinduolis, balta šviesa, matematinis modelis, skirtuminė schema.

Įvadas

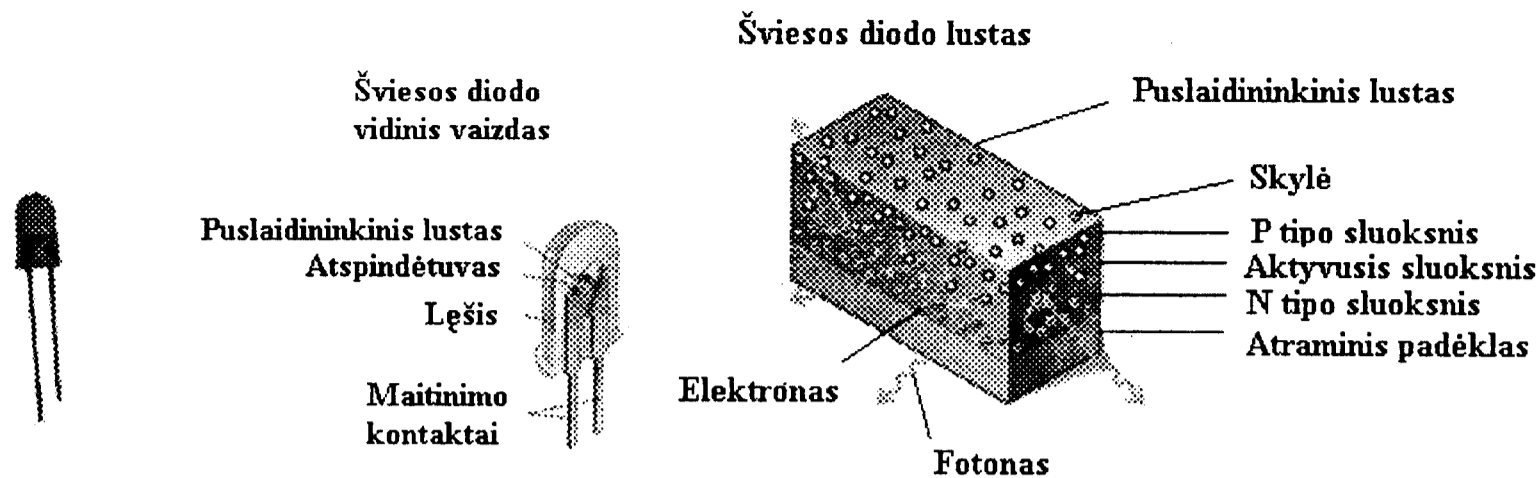
Kietakūnis apšvietimas į mūsų gyvenimą įeina dideliu greičiu. Tikimasi, kad jis pakeis standartinį, dabar mūsų naudojamą apšvietimą. 21% visos pasaulyje pagaminamos elektros energijos yra sunaudojama apšvietimui. Net pusę šios energijos būtų galima sutaupyti perėjus prie labiau efektyvių apšvietimo sistemų, t.y., kietakūnio apšvietimo [1]. Dabar naudojamas net pats geriausias apšvietimas nėra efektyvus, nes apie pusę elektros energijos paverčia ne šviesa, bet šiluma. Šio tyrimo tikslas buvo sukurti schemą, pagal kurią būtų galima konstruoti kietakūnes apšvietimo lempas. Pasiūlytas matematinis kietakūnės apšvietimo lempos matematinis modelis. Modelio diskretizacijai pasirinkta baigtinių skirtumų metodo išreikštinė schema.

Matematinis modelis

Šio tyrimo tikslas buvo pabandyti sukurti schemą, pagal kurią būtų galima konstruoti kietakūnes apšvietimo lempas. Tiksliau, turint atitinkamą puslaidininkinių spinduolių (diodų) kiekį ir plokštelę, ant kurios tvirtiname diodus, surasti tokią diodų išdėstymą, kad temperatūrinis režimas būtų kuo pastovesnis, t.y., kad temperatūrinis gradientas būtų minimalus.

Paminėsime, kas yra puslaidininkinis diodas (PD). PD yra skaidrus, bespalvis, cilindro formos bumbuliukas (1 pav.), kurio viduje yra reflektorius su paslaidininkiniu lustu (diodo širdimi). Lustas yra sudarytas iš 3 sluoksnių: n tipo – su elektronų pertekliumi, p tipo – su elektronų trūkumu ir aktyviojo sluoksnio, kuriame dėl elektronų ir skylių judėjimo yra išspinduliuojama šviesa.

*Darbas yra dalinai remiamas Lietuvos mokslo ir studijų fondo projekto Nr. C-03048.



1 pav. Puslaidininkinis diodas.

Nagrinėjame diodų masyvą išdėstytą ant metalinio (geležinio) padėkliuko. Tikslas: išdėliojus trijų rūšių diodus, skleidžiančius skirtingą šviesą, gauti baltą šviesą. Baltai šviesai gauti yra naudojami 2 būdai:

1. Maišomos raudono, žalio ir mėlyno šviesos diodų spinduliuotės panaudojant spalvų teorijos sumavimo principą.
2. Naudojant liuminoforą (mėlynas šviesos diodas apgaubiamas geltonu liuminoforu).

Mes pasirinkome pirmąjį atvejį: maišome raudono, žalio ir mėlyno šviesos diodų spinduliuotes.

Bendra matematinio modelio sudarymo schema yra:

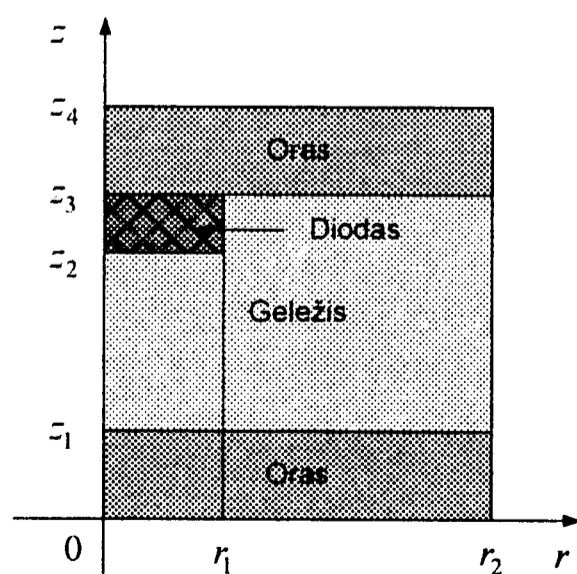
$$\frac{\partial u}{\partial t} = D\Delta u + F,$$

$$u|_{\Gamma} = u_0,$$

$$u|_{t=0} = u_0,$$

$$F = \begin{cases} 0, & x, y, z \notin G, \\ C, & x, y, z \in G, \end{cases}$$

čia $u(t, x, y, z)$ – temperatūra, D – difuzijos koeficientas, u_0 – kambario temperatūra, F – šilumos šaltinis, G – diodų sritis.



2 pav. Vieno diodo sistemos pjūvis.

Kadangi n diodų matematinio modelio nagrinėjimas reikalauja daug aritmetinių veiksmų o, iš kitos pusės modelis yra tiesinis, tai paprastumo dėlei sudarome vieno diodo matematinį modelį (2 pav.). Jį naudojame galutiniam temperatūros režimo įvertinimui. Matematinis modelis sudaromas cilindrinėse koordinatėse. Remiantis gautais skaičiavimo rezultatais, konstruojame bendrą kietakūnės apšvietimo lempos vaizdą.

Diodo ir metalinės plokštelės išorėje yra oro sluoksnis, kurio temperatūrą aprašome diferencialine lygtimi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_0 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right),$$

kai $\Omega_4 = \{0 < r < r_2, 0 < z < z_1\}$ ir $\Omega_5 = \{0 < r < r_2, z_3 < z < z_4\}$.

Diodo viduje temperatūrinį režimą aprašome diferencialine lygtimi su šilumos šaltiniu:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) + F, \quad \text{kai } \Omega_3 = \{0 < r < r_1, z_2 < z < z_3\}.$$

Geležinės plokštelės temperatūrinis režimas aprašomas:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_1 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right),$$

kai $\Omega_1 = \{0 < r < r_1, z_1 < z < z_2\}$ ir $\Omega_2 = \{r_1 < r < r_2, z_1 < z < z_3\}$.

Apibrėžiame pradinę ir kraštines sąlygas:

$$u(0, r, z) = u_0, \quad \bar{\Omega} = \bar{\Omega}_1 \cup \bar{\Omega}_2 \cup \bar{\Omega}_3 \cup \bar{\Omega}_4 \cup \bar{\Omega}_5; \quad u(t, r, 0) = u_k, \quad \text{kai } 0 < r < r_2;$$

$$D_1 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_1 \\ 0 < r < r_2}} = D_0 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_1 \\ 0 < r < r_2}}; \quad D_2 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_2 \\ 0 < r < r_1}} = D_1 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_2 \\ 0 < r < r_1}};$$

$$D_2 \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{\substack{r=r_1 \\ z_2 < z < z_3}} = D_1 \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{\substack{r=r_1 \\ z_2 < z < z_3}}; \quad D_0 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_3 \\ 0 < r < r_1}} = D_2 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_3 \\ 0 < r < r_1}};$$

$$D_0 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_3 \\ r_1 < r < r_2}} = D_1 \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{\substack{z=z_3 \\ r_1 < r < r_2}}; \quad u(t, r, z_4) = u_k, \quad \text{kai } 0 < r < r_2;$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{\substack{r=0 \\ 0 < z < z_4}} = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{\substack{r=r_2 \\ 0 < z < z_4}} = 0.$$

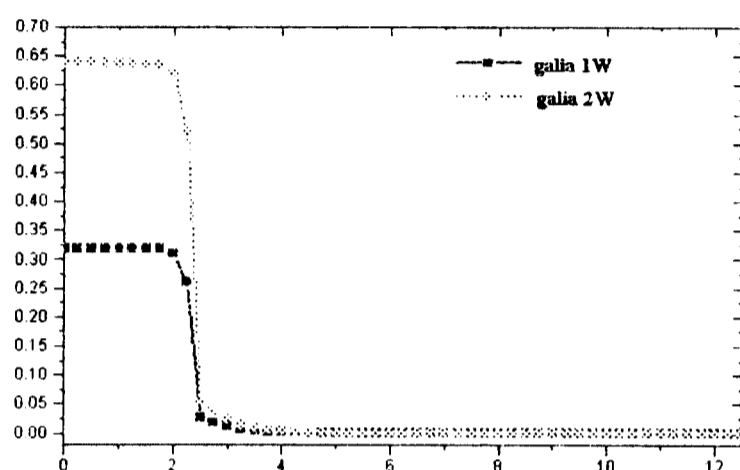
Kadangi daugumą fizikinių, inžinerinių problemų analiziškai išspręsti sudėtinga, tai matematinio modelio diskretizacijai buvo naudojamas baigtinių skirtumų metodas [2]. Buvo pasirinkta išreikštinė baigtinių skirtumų metodo schema.

Rezultatai

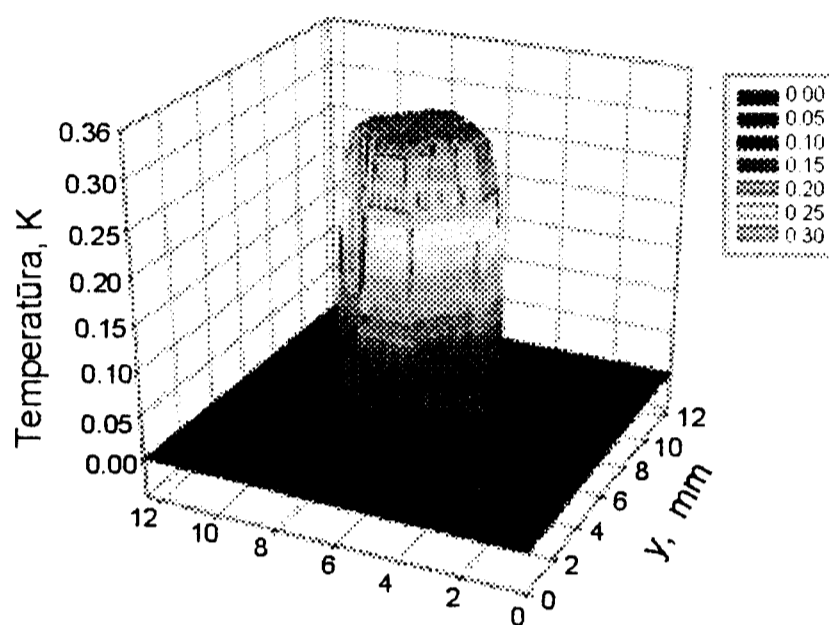
Modeliavimo uždavinys buvo atliktas su geležine plokštele, kurios plotis 25 mm, aukštis 8 mm, ilgis 25 mm. Ant geležinės plokštelės buvo pritvirtintas vienas diodas,

1 lentelė. Medžiagų parametrai

Medžiaga	Tankis g/mm ³	Specifinė šiluma J/g · K	Šilumos laidumo koeficientas W/mm · K
Oras	0,00000129	1,02	0,0241
Geležis	0,00788	0,44	0,074
Diodas-safyras	0,00717	0,5	0,003

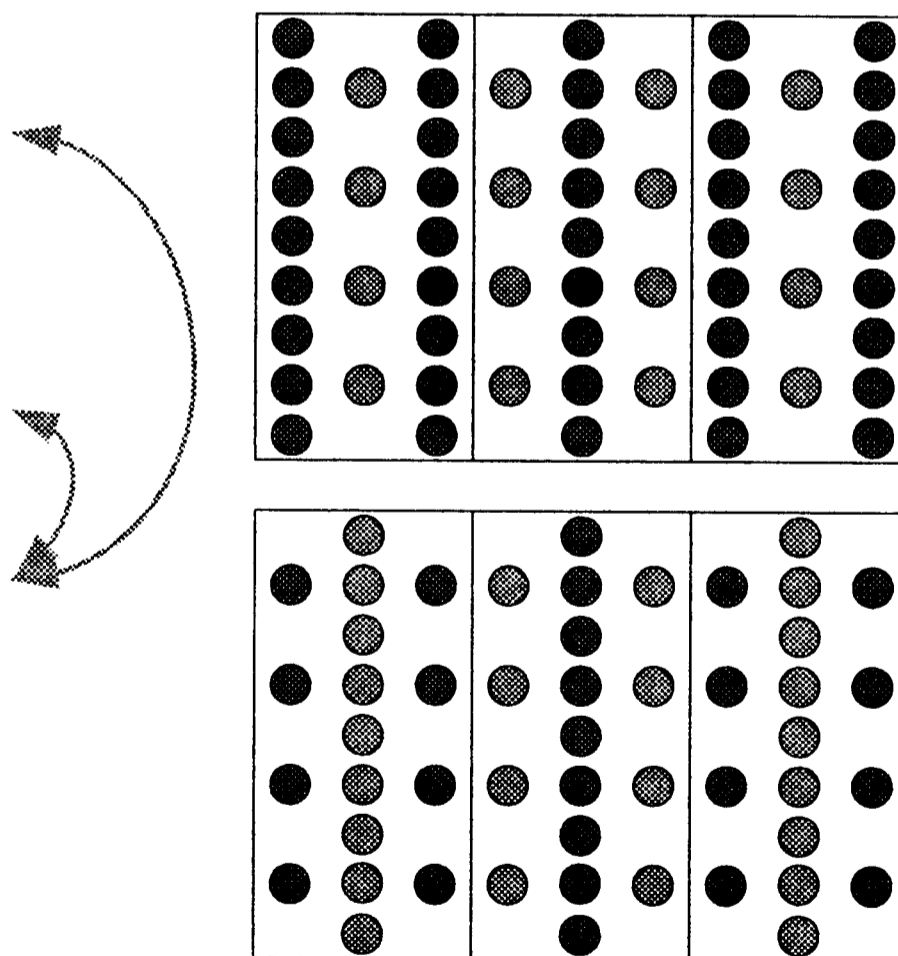


3 pav. Temperatūriniai diodų režimai.



4 pav. Sukonstruotas paviršius.

Nr.	Išdėstymas	Diodų kiekis plokštelėje	Temperatūrinis gradientas
1	1-1 121	18-1W 4-2W	73.85
2	121 1-1	18-1W 5-2W	79.53
3	121 121	18-1W 9-2W	102.25
4	-2- 121	8-1W 9-2W	73.85
5	121 -2-	10-1W 9-2W	79.53
6	-1- 212	9-1W 8-2W	71.01
7	212 -1-	9-1W 10-2W	82.37
8	2-2 212	4-1W 18-2W	113.61
9	212 2-2	18-1W 5-2W	116.45
10	212 212	9-1W 18-2W	127.81



5 pav. Skaičiavimų rezultatų lentelė ir sukonstruotų lempų pavyzdžiai.

kurio skersmuo 5 mm ir aukštis 5 mm. Geležinė plokštelė iš viršaus ir apačios buvo ribojama oru. Skaičiavimuose naudojamų medžiagų (oro, geležies ir safyro) parametrai yra pateikti 1 lentelėje.

Šilumos šaltiniu buvo pasirinkta tokia konstanta: $F = \frac{4,5P}{Q_2 \cdot \rho_2 \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot (z_3 - z_2)} = 18,27$,
čia galia – $P = 1$ W. Pradinėje ir kraštinėje sąlygose naudojama kambario temperatūra: $u_0 = 0$ K, $u_k = 20^\circ\text{C} = 293$ K.

Tyrimo tikslas buvo $\min_W \max_{0 \leq r \leq R} |\text{grad } u|$ ir $\min_W \max_{0 \leq r \leq R} |u|$, čia W – galimų PD išdėstymo aibė.

Vieno diodo uždaviniai buvo išspręsti dviejų tipų diodams (1 ir 2 W). Buvo gauti kiekvieno iš diodų atskirai temperatūriniai režimai (3 pav.). 4 pav. pavaizduotas vieno diodo atvejo sukonstruotas paviršius, gautas iš temperatūros priklausomybės nuo geležinės plokštelės pločio kreivės sukinio.

Gautus paviršius dėliojome ant plokštelės vieną šalia kito, po tris vienoje eilutėje, ir skaičiavome gaunamus temperatūrinius gradientus. Ieškojome optimalaus diodų išdėstymo, siekiant gauti minimalų temperatūrinį gradientą. 5 pav. lentelėje yra užrašyti tik pirmų dviejų eilučių išdėstymai, sekančios eilutės kartoja tą patį išdėstymo variantą. Minimalius gradientus gavome, kai ant plokštelės talpinome daugiau 1 W negu 2 W galios diodų. Sukonstruotų kietakūnių apšvietimo lempų, duodančių minimalius temperatūrinius gradientus, pavyzdžiai yra pateikti 5 pav.

Sukonstravus tokią puslaidininkinę lempą, temperatūrinius gradientus galime dar labiau sumažinti stumiant vieną diodą arčiau ar toliau kito. Optimaliau yra kai postūmių santykis x ir y ašimis yra kuo artimesnis vienetui.

Išvados

1. Pasiūlyto 3D puslaidininkinio diodo matematinio modelio skaičiavimo rezultatai atitinka fizinius eksperimentus.
2. Mažesnio temperatūros gradiento radimui postūmių x ir y ašimis santykis turi būti kuo artimesnis vienetui.

Literatūra

1. A. Žukauskas, M.S. Shur, R. Gaska, *Introduction to Solid State Lighting*, John Wiley and Sons (2002).
2. A.A. Samarskii, *The Theory of Difference Schemes*, Nauka, Moscow (1989).

SUMMARY

J. Dabulytė, F. Ivanauskas, A. Žukauskas. The modeling of LED's disposition

The goal of this work is to construct the scheme of constructing light – emitting diodes system. The mathematical model was written for a light-emitting diodes lamp. The finite difference technique was used for the discretization of mathematical model.

Keywords: light emitting diode, diode disposition, difference scheme.