

AUKŠTOSIOS MOKYKLOS AUDITORIJŲ APŠVIETIMO TYRIMAS

Algimantas Andriušis¹, Daiva Stanelytė^{1,2}, Karolis Venckus¹, Linas Kidykas¹

¹ Klaipėdos valstybinė kolegija, ² Kauno technologijos universitetas

Anotacija. Atliktas Klaipėdos valstybinės kolegijos mokomosios auditorijos apšvietimo tyrimas. Išmatuota dirbtinė apšvieta tamsiuoju paros metu, naudojant programinę įrangą „Dialux“ sumodeliuotas esamas ir reikiamas patalpos apšvietimas. Apskaičiuotas LED ir liuminescencinių šviestuvų skaičius ir galia bei atsiperkamumo laikas. Nustatytas ekonomiškai efektyvus šviestuvų tipas.

Raktiniai žodžiai: apšvieta, liuksmetras, „Dialux“ programa.

Įvadas

Šiandien pasauliniu mastu intensyviai diskutuojama apie visų rūšių energijos taupymą, siekiant išsaugoti gamtinius išteklius. Pagal atliktus skaičiavimus pastatams aptarnauti tenka 40 proc. pasaulinių energijos sąnaudų bei 30 proc. visų emisijų (Hidalgo, Villacres, Hechavarría, Moya, 2017).

Darbo kokybė, jo produktyvumas priklauso ir nuo darbo vietos apšvietimo. Blogas apšvietimas, netinkamai suprojektuotas šviestuvų išdėstymas, neoptimaliai parinktas jų kiekis, netinkami šviesos šaltiniai – visa tai neigiamai veikia žmogaus sveikatą ir darbingumą. Dauguma darbo našumui įvertinimo metodų yra pagrįsti kiekybiniais atliekamų operacijų duomenimis. Bet gali būti sunku, o kartais net ir neįmanoma įvertinti darbo našumo, kai darbo pobūdis reikalauja intensyvaus žinių naudojimo, o įdėtos pastangos yra sunkiai išmatuojamos kiekybiškai (Gou, Lau, Ye, 2014). Tyrimais nustatyta, kad prastas apšvietimas gali sumažinti žmogaus darbingumą iki 20 proc. (TRILUX. Šviestuvų katalogas). Šiuo metu kai kuriuose tarptautiniuose standartuose numatytas 500 lx apšvietos lygis, reikalingas įprastiems biuro darbams – rašyti, spausdinti, skaityti, duomenų apdorojimui atlikti (Gou, Lau, Ye, 2014). Reikalavimus dirbtiniam apšvietimui reglamentuoja Lietuvos higienos norma HN 98:2014. „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos mažiausios ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“.

Lietuvos Respublikos metrologijos įstatyme nurodyta, kad apšvietos matavimo tikslumas priklauso nuo daugelio veiksnių: naudojamos matavimų metodikos, apšvietos reikalavimų, matavimo vietos, taškų skaičiaus bei jų išsidėstymo, matavimo prietaiso tikslumo klasės ir kt. Matavimo prietaisai turi būti sertifikuoti bei patikrinti matų kontrolės įstaigoje.

Pastatų apšvietimo srityje pastaraisiais metais buvo pasiūlyta naujų energijos vartojimo efektyvumo

ir atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimo metodų: 1) šviestuvų kokybės gerinimas, užtikrinant energijos vartojimo efektyvumą; 2) atsinaujinančios energijos šaltinių integravimas į pastatų aptarnavimą; 3) apšvietimo modeliavimas projektuojant pastatą (objektą), šios priemonės leidžia sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, o jų teikiama nauda gali būti apčiuopiamesnė, kai minėtos technologijos sukuria pagrindą energijos taupymo technologijoms, integruotoms, pavyzdžiui, į apšvietimo sistemas (Hidalgo, Villacres, Hechavarría, Moya, 2017).

Tyrimu siekiama patikrinti, ar auditorijos apšvieta atitinka Lietuvos higienos normos HN 98:2014 reikalavimus, suprojektuoti ir parinkti tinkamus šviestuvus bei apskaičiuoti jų investicijų atsiperkamumą.

Tikslas – KVK mokomosios auditorijos dirbtinio apšvietimo tyrimas.

Tyrimo objektas – Klaipėdos valstybinės kolegijos (toliau KVK) mokojoji auditorija.

Uždaviniai:

1. Išmatuoti mokomosios auditorijos dirbtinę apšvietą.
2. Sumodeliuoti esamą ir reikiamą auditorijos apšvietą naudojant „Dialux“ programą.
3. Apskaičiuoti patalpos apšvietos galią ir parinkti reikiamus šviestuvus.
4. Parinkti ekonomišką šviestuvų tipą.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė, eksperimentas, modeliavimas.

Mokomosios auditorijos apšvietimo tyrimas

Apšvietimas aukštųjų mokyklų auditorijose yra itin svarbus vykdant akademinę veiklą. Be to, apšvietimui sunaudojama energija sudaro 29 proc. visų aukštųjų mokyklų energijos sąnaudų. Tinkamai įrengti auditorijų apšvietimą, atsižvelgiant į suvartojamos energijos taupymo galimybes bei galimą atsinaujinančių energijos šaltinių integravimą į energijos tiekimo aukštųjų mokyklų pastatams sistemą. Apšvietimo kokybę galima nustatyti,

naudojant apšviestumo izolinių ir izoliukų, jungiančių vienodo apšviestumo taškus, metodu. Izolinijos taip pat pavaizduoja šviesos pasiskirstymą ir lygį erdvėje. Apšvietos lygis matuojamas liuksais, išreiškiančiais santykį tarp šviesos srauto ir apšviesto paviršiaus. Akademinei veiklai reikalinga vidutinė 300–700 liuksų apšvieta (Hidalgo, Villacres, Hechavarria, Moya, 2017).

Natūrali ir dirbtinė apšvieta matuojama specialiais prietaisais – liuksmetrais, kurie turi būti naudojami pagal gamintojų instrukcijas. Apšvietimas turi būti matuojamas įprastinio darbo proceso sąlygomis. Matuojant šviesos srautas turi būti neužstotas matavimą atliekančio asmens ar kitų objektų (Jonikaitis, Gečas, Stanelytė, 2015). Patalpos apšvietimas priklauso nuo daugelio veiksnių: šviestuvų konstrukcijos, būklės, eksploataavimo laiko bei išdėstymo.

Reikalavimai matavimo prietaisams yra reglamentuojami CIE direktyvomis – pagal tai prietaisai skirstomi į A, B, C klases. A klasės prietaisai naudojami preciziniams matavimams, B – techniniams matavimams, C – orientaciniams matavimams (*TRILUX. Šviestuvų katalogas*). Dirbtinio apšvietimo matavimai mokomojoje auditorijoje atlikti naudojant liuksmetrą *PROTEC.class.*, kuris atitinka B klasę.

Šio prietaiso tikslumas ± 4 proc. matuojamos reikšmės ir ± 1 proc. nuo visos skalės. Temperatūros įtaka $\pm 0,1$ proc./C. Prietaisas gali būti naudojamas esant $0...+ 45$ °C temperatūrai ir 75 proc. drėgmei.

Matuojant apšvietimą patalpose, kuriose įrengtas tik bendrasis apšvietimas, pvz. biurai, auditorijos, sandėliai, vertinama tik bendroji apšvieta – patalpos suskirstomos į mažus vienodo dydžio kvadratus ir matavimai atliekami mažųjų kvadratų viduryje. Kai patalpos plotas yra didesnis kaip 50 m², rekomenduojama patalpą suskirstyti į 25 kvadratus, kai daugiau kaip 100 m² – į 36 kvadratus (Lietuvos higienos normos HN 98:2014).

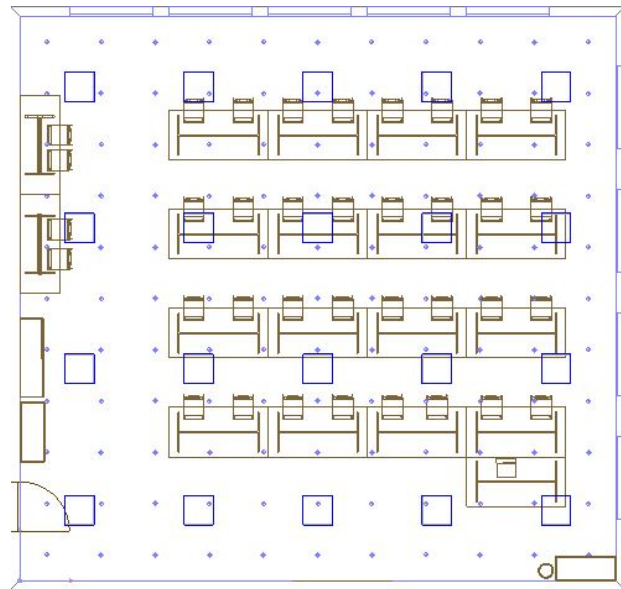
Vidutinė apšvieta pagal (*TRILUX. Šviestuvų katalogas*) apskaičiuojama:

$$E_{vid.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

kur n – matavimo taškų skaičius,

E_i – matavimo taško apšvieta, lx

Tyrimai buvo atlikti KVK mokomojoje auditorijoje. Auditorijos baldų ir šviestuvų išdėstymo schema pateikta 1 pav. Tiriamoje auditorijoje sumontuoti kvadrato formos šviestuvai su AL reflektoriais ir keturiomis liuminescencinėmis lempomis po 18W.



1 pav. Bendras mokomosios auditorijos planas

2017 m. spalio 13 dieną tamsiu paros metu buvo atlikti auditorijos dirbtinio apšvietimo matavimai.

Apšvieta matuota 25–iuose taškuose: darbo stalo 0,8 m aukštyje; šalia sienos esančių stalų ir prie sienos pritvirtintos lentos. Dirbtinė apšvieta matuota įjungus visus dirbtinio apšvietimo įtaisus.

Pasinaudojant matavimo rezultatais 1 lentelėje pateikiamos apskaičiuotos vidutinės apšvietos reikšmės. Pagal išmatuotus duomenis teorinių paskaitų auditorijoje darbo stalo paviršiaus aukštyje vidutinė apšvieta – 350 lx.

1lentelė. Mokomosios auditorijos apšvietos matavimo rezultatai.

| Eil. Nr. | Matavimo vietas | Lempų rūšis | E _{vid} , lx |
|----------|--|------------------|-----------------------|
| 1. | Darbo stalo paviršiaus aukštyje (0,8 m). | Liuminescencinės | 350 |
| 2. | Prie sienos darbo stalų aukštyje. | | 249 |
| 3. | Prie sienos pritvirtintos lentos. | | 171 |

Iš 1 lentelėje pateiktų duomenų matoma, kad auditorijos apšvietimas neatitinka higienos normos reikalavimų.

Mokomosios auditorijos apšvietimo modeliavimas Dialux programa

Norint tiksliai nustatyti priežastis, dėl kurių auditorijoje apšvieta neatitinka higienos normos reikalavimų, būtina sumodeliuoti auditorijos apšvietimą su esamais šviestuvais. Tam tikslui naudojama apšvietimo projektavimo „Dialux“ programa. Skaičiavimų rezultatai pateikiami (2 lentelėje).

2 lentelė. Auditorijos esamo apšvietimo skaičiavimų rezultatai.

| Eil. Nr. | Matavimo vietos | Lempų rūšis | E _{vid} , lx |
|----------|--|------------------|-----------------------|
| 1. | Darbo stalo paviršiaus aukštyje (0,8 m). | Liuminescencinės | 439 |
| 2. | Prie sienos darbo stalų aukštyje. | | 360 |
| 3. | Prie sienos pritvirtintos lentos. | | 267 |

Vertinant gautus rezultatus galima teigti, apskaičiuota vidutinė auditorijos apšvieta yra 439 lx ir netenkina reikiamos mažiausios 500 lx vertės. Iš gautų duomenų galima daryti išvadą, kad apšvietimas buvo suprojektuotas netinkamai, be to, mažesnę apšvietą nei apskaičiuotoji lemia šie veiksniai: lempų šviesos srauto mažėjimas dėl eksploataavimo laiko, per mažas šviestuvų skaičius arba netinkamai parinkti šviestuvai, blogas išdėstymas bei netinkama šviestuvų priežiūra (nenuvalytos dulkės ir t.t.).

Rekomendacijos apšvietimui auditorijoje pagerinti

Projektuojant mokomosios auditorijos apšvietimą Dialux programa buvo lyginami šviestuvai su skirtingais šviesos šaltiniais – liuminescencinės lempos ir LED. Pirmame modelyje buvo naudojami įprasti liuminescenciniai šviestuvai. Pagal programos pateiktus pirminius skaičiavimus, norint pasiekti reikiamą apšvietą, reikia galingesnių šviestuvų arba didesnio jų kiekio (3 lentelė), todėl įrengimo ir eksploataavimo kaina būtų didelė.

3 lentelė. Liuminescencinių ir LED šviestuvų kiekio ir galios palyginimas

| Tipas | Kiekis, vnt | Galia, kW |
|------------------------|-------------|-----------|
| Liuminescencinės 4x18W | 24 | 2,016 |
| LED 4x14W | 20 | 1,08 |

Nors liuminescencinės lempos yra pigesnės, tačiau jų tarnavimo laikas yra daug mažesnis: LED – 50000 valandų, liuminescencinės – 8000÷16000 valandų (Rinkevičienė, 2004). Per pastaruosius kelerius metus LED lempų kaina sumažėjo. LED šviesa mažiau vargina akis, šviestuvų efektyvumas yra didesnis. Lyginant šių tipų šviestuvus, norint pasiekti vienodą šviesos srautą reikia įvertinti, kad liuminescencinės lempos šviesos srautas yra mažesnis, dėl to suvartoja daugiau energijos (Gayral, 2016). Atsižvelgiant į efektyvumą antrame modelyje buvo naudoti LED šviestuvai.

Auditorijos suprojektuoto apšvietimo rezultatai su liuminescenciniais šviestuvais pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Auditorijos suprojektuoto apšvietimo rezultatai su liuminescenciniais šviestuvais

| Eil. Nr. | Matavimo vietos | Lempų rūšis | E _{vid} , lx |
|----------|--|------------------|-----------------------|
| 1. | Darbo stalo paviršiaus aukštyje (0,8 m). | Liuminescencinės | 524 |
| 2. | Prie sienos darbo stalų aukštyje. | | 412 |
| 3. | Prie sienos pritvirtintos lentos. | | 326 |

Auditorijos suprojektuoto apšvietimo rezultatai su LED šviestuvais pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Auditorijos suprojektuoto apšvietimo rezultatai su LED šviestuvais.

| Eil. Nr. | Matavimo vietos | Lempų rūšis | E _{vid} , lx |
|----------|--|-------------|-----------------------|
| 1. | Darbo stalo paviršiaus aukštyje (0,8 m). | LED | 537 |
| 2. | Prie sienos darbo stalų aukštyje. | | 437 |
| 3. | Prie sienos pritvirtintos lentos. | | 378 |

Vertinant atliktus tyrimus galima padaryti išvadą, kad tiriamos auditorijos apšvieta neatitinka higienos normos ir auditorijos apšvietimą būtina modernizuoti, pasirenkant vieną iš 3 lentelėje nurodytų apšvietimo variantų. Vienas iš pasirinkimo kriterijų yra ekonominio atsiperkamumo vertinimas.

Auditorijos apšvietimo modernizavimo atsiperkamumas

Ekonominis atsiperkamumas apskaičiuojamas įvertinant liuminescencinių ir LED šviestuvų kainą bei elektros energijos suvartojimą. Planuojamų investicijų paprastasis atsipirkimo laikas (toliau PAL) apskaičiuojamas:

$$PAL = \frac{I}{S}$$

kur I – investicijos, Eur.

S – sutaupymai, Eur/per met.

Atliekant skaičiavimus nebuvo vertinami eksploataciniai kaštai, nors LED šviestuvų jie yra daug mažesni nei šviestuvų su liuminescencinėmis lempomis. Iš 3 lentelės galima nustatyti, kad LED šviestuvai elektros energijos suvartoja dvigubai mažiau negu liuminescenciniai šviestuvai. LED šviestuvų kiekis yra mažesnis 4 vienetais, tačiau apšvieta atitinka higienos normos reikalavimus (500 lx) ir yra šiek tiek didesnė nei liuminescencinių šviestuvų apšvieta.

Mokomojoje auditorijoje vidutiniškai per metus, atsižvelgus į sezono laikotarpį, šviestuvai yra įjungti apie 1500 valandų. Naudojant LED 4x14 W šviestuvus elektros energijos suvartojimas sudarytų 1620 kWh per metus, o liuminescencinių 4x18 W – 3024 kWh. 1 kWh elektros energijos kaina Lietuvoje yra 0,114 Eur. Žinant elektros energijos suvartojimą per metus galima apskaičiuoti jos kaštus (6 lentelė).

6 lentelė. LED ir liuminescencinių šviestuvų eksploataavimo kaštai per metus

| Šviestuvai | Kiekis, vnt. | Bendra galia, kW | Elektros energija per metus, kWh | Elektros energijos kaštai, Eur. |
|-------------------------|--------------|------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| LED 4x14W | 20 | 1,08 | 1620 | 184,68 |
| Liuminescenciniai 4x18W | 24 | 2,016 | 3024 | 344,73 |

Pasinaudojant internetinėse parduotuvėse pateikiamomis šviestuvų kainomis, galima apskaičiuoti apytikrį apšvietimo modernizavimo PAL, kai šviestuvai yra įjungti apie 1500 valandų per metus. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 7 lentelėje.

Išvados

1. Atlikus apšvietos matavimus mokomojoje auditorijoje, nustatyta vidutinė apšvieta – 350 lx, kuri neatitinka Lietuvos higienos normos HN 98:2014 reikalavimų. Neatitiktai įtakos turi netinkamai suprojektuotas šviestuvų išdėstymas, neoptimaliai parinktas jų kiekis bei liuminescencinių lempų šviesos srauto sumažėjimas.
2. Naudojant „Dialux“ programą buvo sumodeliuota esama ir reikiama auditorijos apšvieta. Sumodeliavus apšvietimą su esamais liuminescenciniais šviestuvais buvo gauta apšvieta 439 lx, kuri taip pat neatitiko HN 98:2014 reikalavimų mokymosi patalpoms 500 lx. Norint pasiekti reikiamą apšvietą reikėtų papildomai keturių liuminescencinių šviestuvų. Skaičiuojant

7 lentelė. LED šviestuvų PAL

| Šviestuvai | Elektros energijos kaštai, Eur. | Įren-gimo kaina, Eur. | Sutau-pymai per metus, Eur. | Atsipir-kimo laikas, metai |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| LED 4x14W | 184,68 | 1810,0 | 160,5 | 7,8 |
| Liuminescenciniai 4x18W | 344,73 | 554,2 | | |

Pagal gautus rezultatus, naudojant LED šviestuvus vietoj liuminescencinių paprastasis atsipirkimo laikas yra 7,8 metai. Nors PAL laikas yra didelis, bet atsižvelgus į eksploataavimo trukmę LED šviestuvus naudoti yra ekonomiškiau. Lyginant tarnavimo laiką su LED šviestuvais, liuminescenciniuose po 5 – 7 metų darbo lempų šviesos srautas bus sumažėjęs ir apšvieta tikėtina neatitiks minimalių higienos normų reikalavimų, kai LED šviestuvų šviesos srautas bus sumažėjęs tik 4-5 proc. Be to, skaičiuojant LED šviestuvų tarnavimo trukmę, nebuvo vertinami eksploataciniai kaštai. Šviestuvų su liuminescencinėmis lempomis eksploataciniai kaštai yra daug didesni nei LED, todėl faktinis LED šviestuvų atsipirkimo laikas yra mažesnis nei apskaičiuotasis.

- auditorijos apšvietą su LED šviestuvais, kurie atitinka minimalius HN 98:2014 reikalavimus, jų reikėtų 20 vnt., t.y. tiek pat, kiek ir dabar yra liuminescencinių šviestuvų.
3. Atlikus skaičiavimus buvo gauta, kad pakeitus liuminescencinius 4x18 W šviestuvus, LED 4x14 W šviestuvais, apšvietimo apkrova sumažės nuo 2,016 kW iki 1,08 kW, t.y. beveik du kartus.
4. Atsižvelgus į ilgalaikę eksploataavimo perspektyvą ir šviestuvų charakteristikas, rekomenduojama instaliuoti LED 4x14 W šviestuvus, kurių tarnavimo laikas (50000 h, L80B30) yra 4÷6 kartus ilgesnis nei liuminescencinių šviestuvų. Pagal atliktus skaičiavimus LED 4x14 W šviestuvų atsipirkimo laikas – 7,8 metų.

Literatūra

1. Rinkevičienė, V. (2004). Apšvietimo sistemos apšvietos tyrimas. Vilnius.
2. Jonikaitis, M., Gečas, J., Stanelytė, D. (2015). Klaipėdos apskrities viešosios I. Simonaitytės bibliotekos skaityklos apšvietimo tyrimas. Verslo ir technologijų žurnalas, 1 (6), 44–51.
3. Lietuvos higienos norma HN 98:2014 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos mažiausios ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“, patvirtinti Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2014 m. balandžio 30 d., įsakymu Nr. V-520. TAR, 2014-05-06, Nr. 5119 Informacijos centras [žiūrėta 2017 m. spalio 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/2f7d7690d52311e3bb00c40fca124f97>
4. Gayral, B. (2016). LEDs for lighting: Basic physics and prospects for energy savings. Comptes Rendus Physique, 18 (7-8), 453-461.
5. Ešviesa. Šviestuvų katalogas. [žiūrėta 2017-10-22]. Prieiga per internetą: <http://esviesa.lt/lt/153-levanto-led.html#/>
6. Gou, Z., Lau, S.S.Y, Ye, H. (2014). Visual alliesthesia: The gap between comfortable and stimulating illuminance settings. Building and Environment, 82, 42-49.
7. Hidalgo, A., Villacres, L., Hechavarria, R., Moya, D. (2017). Proposed integration of a photovoltaic solar energy system and energy efficient technologies in the lighting system of the UTA-Ecuador. Energy Procedia, 134, 296-305.
8. TRILUX. Šviestuvų katalogas. [žiūrėta 2017-10-22]. Prieiga per internetą: <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/>
9. Lietuvos higienos normos HN 98:2014 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“ taikymas. Metodinės rekomendacijos. (2016). Vilnius: Verslo linija.
10. Lietuvos Respublikos metrologijos įstatymo 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 19, 22, 23 straipsnių pakeitimo ir papildymo įstatymas. 2013 m. gruodžio 19 d. Nr. XII-697 Vilnius [žiūrėta 2017-10-22]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/95b6e080747611e3b675ad30753d4b1b>

STUDY OF CLASSROOM LIGHTING

Summary

The study of lighting was conducted at a classroom of Klaipėda State College. The illumination during the dark time of the day has been measured, and the current and required lighting of the room was modelled using Dialux software. The number of LED and fluorescent lamps, their power and pay-off time have been calculated. The economically efficient type of lamps has been presented.

Key words: lighting, luximeter, Dialux software.

Informacija apie autorius

Algimantas Andriušis. Klaipėdos valstybinės kolegijos Elektros ir mechanikos inžinerijos katedros lektorius. Mokslinių tyrimų laukas: energetika, automatika.
El. pašto adresas: a.andriusis@kvk.lt

Daiva Stanelytė. Klaipėdos valstybinės kolegijos Elektros ir mechanikos inžinerijos katedros lektorė. Mokslinių tyrimų laukas: informatika, elektra, energetika.
El. pašto adresas: d.stanelyte@kvk.lt

Karolis Venckus. Klaipėdos valstybinės kolegijos Elektros ir mechanikos inžinerijos katedros studentas. Mokslinių tyrimų laukas: energetika.
El. pašto adresas: karolisvenckus21@gmail.com

Linas Kidykas. Klaipėdos valstybinės kolegijos Elektros ir mechanikos inžinerijos katedros studentas. Mokslinių tyrimų laukas: energetika.
El. pašto adresas: linas.kidykas@gmail.com