



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

**Nerijus Beniušis**

INFRARAUDONŲJŲ SPINDULINIŲ ŠILDYTUVŲ SU REFLEKTORIUMI  
ENERGETINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS  
Magistro darbas

**Vadovas**

Doc. dr. Gediminas Valiulis

ŠIAULIAI, 2016

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

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas  
doc. dr. Dainius Balbonas

2016

INFRARAUDONŲJŲ SPINDULINIŲ ŠILDYTUVŲ SU REFLEKTORIUMI  
ENERGETINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS  
Magistro darbas

**Vadovas**  
Doc. dr. Gediminas Valiulis

2016

**Atliko**  
EM-14 grupės studentas  
Nerijus Beniušis

2016

**Recenzentas**

ŠU Technologijos, fizinių ir biomedicinos mokslų fakulteto

Elektronikos ir elektros inžinerijos katedra  
doc. dr. Arūnas Grigaitis  
2016

ŠIAULIAI, 2016

## **SUMMARY**

Beniušis N. Energy characteristics study of infrared heaters with reflector: Master's work in study program Energy Engineering / supervisor doc. dr. Gediminas Valiulis; Šiaulai University, Faculty of Technology, Physical and Biomedical Sciences. Department of Electronics and Electric Engineering. Šiauliai, 2016 – 59 p.

Energy characteristics study of infrared heaters with reflector is presented in this paper. Seeking to understand main features which influence effective heating, two different researches were accomplished. At first, six heaters were analyzed in terms of electrical characteristics; thermographic photos were taken to find the most effective one. Secondly, program code was created to help us analyze features of reflector in terms of shape and position.

## **SANTRAUKA**

Beniušis N. Infraraudonųjų spindulinių šildytuvų su reflektoriumi energetinių charakteristikų tyrimas: Elektros energetikos magistro baigiamasis darbas / darbo vadovas doc. dr. Gediminas Valiulis; Šiaulių Universitetas, Technologijos, fizinių ir biomedicinos mokslų fakultetas. Elektronikos ir elektros inžinerijos katedra. Šiauliai, 2016 – 59 p.

Šiame darbe nagrinėjama infraraudonųjų spindulinių šildytuvų su reflektoriumi energetinės charakteristikos. Siekiant išsiaiškinti, kokios pagrindinės savybės nulemia efektyvesnį šildytuvo veikimą, buvo atlikti du eksperimentai. Pirmajame eksperimente atlikta šešių šildytuvų elektrinė analizė, fiksuotos jų termografinės nuotraukos ir nustatyta, kuris šildytuvas veikia efektyviausiai. Antrajame eksperimente sukurtas programinis kodas, kurio dėka galėjome matyti, kaip keičiasi šiluminis atsispindėjimas nuo reflektoriaus, keičiant reflektoriaus formą ir kaitinimo elemento padėtį.

Paveikslėlių sąrašas:

<b>1.1 pav.</b> Radiatorių tipai.....	11
<b>1.2 pav.</b> Radiatoriaus įrengimo schema .....	11
<b>1.3 pav.</b> Šilumos srautai naudojant radiatorių šildymą .....	12
<b>1.4 pav.</b> Rekuperatoriaus veikimo schema.....	13
<b>1.5 pav.</b> Grindų šildymo sistema.....	15
<b>1.6 pav.</b> Elektrinis grindų šildymas.....	16
<b>1.7 pav.</b> Šildymo kabelio sandara. ....	16
<b>1.8 pav.</b> Šildymo kabelio kilimėlis.....	17
<b>2.1 pav.</b> Infraraudonasis elektrinis šildytuvas .....	22
<b>2.2 pav.</b> Šildymo ploto skaičiavimai šildytuvams.....	23
<b>2.3 pav.</b> Kelių šildytuvų šildymo ploto schema .....	23
<b>2.2 pav.</b> IR šildytuvų panaudojimas skirtinguose vietose. ....	27
<b>3.1 pav.</b> Šildytuvų elektrinės galios palyginimas, kai $U_{\text{mait}} = 230\text{V}$ .....	31
<b>3.2 pav.</b> Šildytuvų elektrinės galios priklausomybė nuo maitinimo įtampos .....	31
<b>3.3 pav.</b> Šildytuvų elektrinės varžos priklausomybė nuo maitinimo įtampos.....	32
<b>3.4 pav.</b> Ekranu termografinė vaizdai ir vidutinės temperatūros skaičiavimo plotas .....	33
<b>3.5 pav.</b> Šildytuvų palyginimo rezultatai, kai galia 1500 W .....	48
<b>3.7 pav.</b> Skirtingos parabolės formos reflektoriai .....	51
<b>3.8 pav.</b> Dvigubos parabolės ir trikampio formos reflektoriai .....	51
<b>3.9 pav.</b> Kaitinimo elemento tiriamos padėties.....	51
<b>3.10 pav.</b> Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje prie reflektoriaus .....	52
<b>3.11 pav.</b> Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje.....	52
<b>3.12 pav.</b> Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje.....	52
<b>3.14 pav.</b> Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje apatinėje dalyje .....	52
<b>3.15 pav.</b> Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje prie reflektoriaus .....	53
<b>3.16 pav.</b> Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje viduryje reflektoriaus .....	53
<b>3.17 pav.</b> Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje viduryje reflektoriaus .....	53
<b>3.18 pav.</b> Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje apatinėje reflektoriaus dalyje .....	53
<b>3.19 pav.</b> Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje prie reflektoriaus .....	54
<b>3.20 pav.</b> Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje .....	54

<b>3.21 pav.</b> Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje .....	54
<b>3.22 pav.</b> Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje reflektoriaus apačioje .....	54
<b>3.23 pav.</b> Dvigubos parabolės formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje prie reflektoriaus .....	55
<b>3.24 pav.</b> Dvigubos parabolės formos .....	55
reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje .....	55
vidurinėje dalyje .....	55
<b>3.25 pav.</b> Dvigubos parabolės formos .....	55
reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje .....	55
vidurinėje dalyje .....	55
<b>3.26 pav.</b> Dvigubos parabolės formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje apatinėje dalyje .	55
<b>3.27 pav.</b> Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje viršuje.....	56
<b>3.28 pav.</b> Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje .....	56
<b>3.29 pav.</b> Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje .....	56
<b>3.30 pav.</b> Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje apatinėje dalyje .....	56

## Lentelių sąrašas

<b>2.1 lentelė.</b> IR šildytuvų klasifikacija pagal bangos tipą.....	26
<b>3.1 lentelė.</b> Tyrimo metu naudoti šildytuvai .....	30
<b>3.2 lentelė.</b> Šildytuvų elektrinės galios esant skirtingoms maitinimo įtampoms .....	30
<b>3.3 lentelė.</b> Šildytuvų varžos .....	32
<b>3.4 lentelė.</b> Šildytuvų elektrinės galios esant skirtingoms maitinimo įtampoms su galios skaičiavimo empirine formule. ....	33
<b>3.5 a lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.2</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas) .....	34
<b>3.5 b lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.2</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas) .....	35
<b>3.6 a lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.3</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas) .....	36
<b>3.6 b lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.3</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas) .....	37
<b>3.7 a lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.1</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas) .....	38
<b>3.7 b lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.1</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas) .....	39
<b>3.8 a lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.6</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas) .....	40
<b>3.8 b lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.6</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas) .....	41
<b>3.9 a lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.4</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas) .....	42
<b>3.9 b lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.4</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas) .....	43
<b>3.10 a lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.5</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas) .....	44
<b>3.10 b lentelė.</b> Šildytuvo <b>NR.5</b> spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas) .....	45
<b>3.11 lentelė.</b> Šildytuvų termografinių charakteristikų palyginimas .....	46
<b>3.12 lentelė.</b> Šilumos perdavimo ekranui vidutinės temperatūros vertės.....	48

## TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. ESAMOS ŠILDYMO SISTEMOS .....	9
1.1 Šildymas radiatoriais.....	10
1.2 Rekuperatorinis šildymas.....	13
1.3 Šildymas grindyse.....	14
1.4 Skyriaus apibendrinimas .....	18
2. Infraraudonųjų spindulių šildymo lempos .....	19
2.1 Dujiniai šildytuvai.....	20
2.2 Elektriniai šildytuvai .....	21
2.3 Pagrindinės infraraudonųjų šildytuvų charakteristikos.....	24
2.4 Šildytuvų panaudojimas.....	27
2.5 Skyriaus apibendrinimas .....	28
3. Tyrimų aprašomoji dalis.....	29
3.1 Infraraudonųjų spindulinių šildytuvų energetinio efektyvumo tyrimas .....	29
3.2 Reflektoriaus šilumos atspindėjimo galimybės .....	50
3.3 Skyriaus apibendrinimas.....	58
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI .....	59
LITERATŪROS SĄRAŠAS:.....	61
PRIEDAI .....	63

## IVADAS

Gamybinių, gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų šildymui plačiausiai yra naudojamos tradicinės rekuperatorių, grindų šildymo ir radiatorių sistemos. Tokios sistemos dažniausiai susiduria su keliomis pagrindinėmis problemomis. Viena iš pagrindinių problemų yra tai, kad visos šios sistemos naudoja papildomus šilumos pernešėjus, tokius kaip vanduo ar oras. Jų paruošimui reikia naudoti papildomus įrenginius: karšto oro generatorius arba vandens šildymo katilus. Tarpinio šilumos pernešėjo paskirstymui, jo nuvedimui iki šildymo prietaisų arba į šildomą patalpą, naudojami tam pritaikyti vamzdiniai, parametrų matavimo ortakių sistemos. Todėl tokias sistemas įsirengti ir išlaikyti yra ypač brangu. Kita problema yra ta, kad, naudojant paminėtas šildymo sistemas, yra šildomas oras, kuris konvekcijos būdu maišosi su patalpoje esančiu oru ir taip yra sušildomas patalpas. Tokiu atveju, naudojant tradicines šildymo sistemas, šildomos ne žmonių darbo vietos, bet darbo vietoje esantis oras, kas reikalauja didžiulių energijos kiekių. Aukštose patalpose dėl vadinamų *Archimedo jėgų* prie lubų kaupiasi oras, kurio temperatūra būna gerokai aukštesnė (24-28°C) už dirbančių žmonių buvimo vietą. Todėl yra patiriami dideli šilumos nuostoliai – per stogus, langus, stoglangius, tai pat iš viršutinės patalpų dalies ventiliacijos, yra netenkama daug šilumos[6].

Užtikrinant šiluminį komfortą darbo zonoje, būtina parinkti tokią šildymo metodą, kuris tiektų šilumą į tas zonas, kurias reikia apšildyti. Tokius reikalavimus atitinka infraraudonųjų spindulių šildymo sistemos. Spindulinės šildymo sistemos skiriasi nuo tradicinių šildymo sistemų tuo, kad infraraudonieji spinduliai sklindantys nuo šildytuvų šildo ne patalpos orą, bet objektus, kurie yra jų veikimo zonoje. Spindulinis šildymas puikiai tinka, kai patalpos yra naudojamos periodiškai ir taip pat, kada reikia šildyti tik atskiras darbo vietas, esančias patalpose[6].

Norint kuo geriau išnaudoti infraraudonuosius šildytuvus, reikia žinoti šildytuvų pagrindines savybes ir jų charakteristikas.

**Darbo tikslas** yra ištirti infraraudonųjų spindulių šildymo su reflektoriumi energetines charakteristikas. Siekiant kuo geriau tai atlikti, buvo išsikelti žemiau išvardyti darbo tikslai:

- Apžvelgti esamas šildymo sistemas;
- Aptarti infraraudonųjų spindulių šildymo pagrindines savybes ir jų charakteristikas;
- Atlikti eksperimentus, siekiant nustatyti infraraudonųjų šildytuvų elektrines charakteristikas ir jų savybes;
- Ištirti reflektorių šilumos atsispindėjimo galimybes.



# 1. ESAMOS ŠILDYMO SISTEMOS

Vienas iš svarbiausių pastato projektavimo etapų yra apsispręsti, kokį šildymo būdą pasirinkti. Iš esmės nuo šito priklauso šeiminingų savijauta bei kokia atmosfera vyraus patalpoje. Dauguma šiandien siūlomų šildymo sistemų yra labai kokybiškos, tačiau jų kainos, sudedamosios dalys ir funkcionalumas labai skiriasi, todėl yra patartina viską kruopščiai apsvarstyti, įvertinti kiekvieno jų privalomus bei trūkumus taip pat įsitikinti, ar tai, ką nusprendžiate įsigyti, atitiks jūsų keliamus reikalavimus, bei lūkesčius.[3] Todėl renkantis šildymo būdą, reikia atsižvelgti į keletą pagrindinių faktorių:

- Šildymo kaštai;
- Įrengimo kaina;
- Aptarnavimas;
- Komfortas.

Įprastinės būsto šildymo sistemos, dažniausiai susideda iš gravitacinės ventiliacijos ir tradicinio centrinio vandens šildymo. Tačiau jos neužtikrina oro judėjimo patalpoje. Dėl to drėksta sienos, taip gali atsirasti pelėsių bei grybelių. Pasaulinės sveikatos organizacijos duomenimis, žmogus uždaroje patalpose praleidžia daugiau nei 80% savo laiko. Todėl, projektuojant pastatą, būtina atsižvelgti į vidaus patalpų oro kokybės problemą.[4] Lietuvoje labiausiai paplitę yra šie šildymo būdai:

- Grindinis šildymas;
- Šildymas radiatoriais;
- Rekuperacinis šildymas.

Vis didesnę pagreitį įgauna ir tokie šildymo būdai kaip:

- Spindulinis šildymas;
- Geoterminis šildymas.

Šilumos pernešėjai dažniausiai būna:

- Oras;
- Vanduo;
- Dujos;
- Kita.

Radiatorių šildymo sistema geriausiai žinoma ir labiausiai paplitusi. Tačiau supratimas apie šią sistemą, kaip apie gremėzdišką su neišvaizdziais vamzdžiais ir ketiniais radiatoriais, jau tampa

praeitimi. Radiatoriai gali būti labai įvairūs: standartinių dydžių plieniniai – veikiantys maišymo ir spinduliavimo principu, arba surenkami iš skirtingų elementų, tokių kaip aliuminio, keto.

Kita labai populiari šildymo sistema Lietuvoje – grindinis šildymas. Kuo patalpa yra mažesnė, tuo investicijos į grindų šildymo įrengimą yra didesnės, ir atvirkščiai – kuo patalpa yra didesnė, tuo šis skirtumas darosi mažesnis. Čia nereikėtų painioti investicinių sąnaudų į sistemos įrengimą su sistemų eksploatacijos sąnaudomis, kurios beveik nesiskiria. Grindinė šildymo sistema skirstoma į:

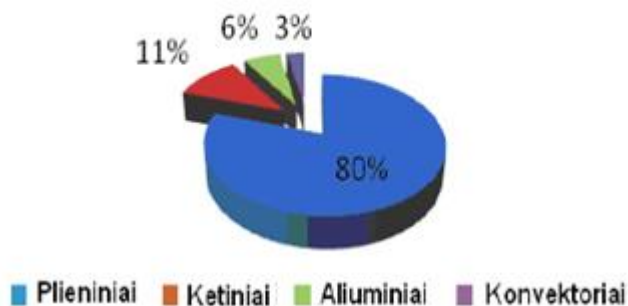
- Šildomas grindis;
- Grandinį šildymą.

Šildomos grindys dar yra vadinamos komfortinėmis grindimis. Nors grindinio šildymo įrengimas yra net 2 kartų brangesnis už šildymą radiatoriais, bet oro temperatūros pasiskirstymas patalpoje yra artimesnis idealiam (sveikiausiam žmogaus organizmui). Dėl palankesnio temperatūrų pasiskirstymo per patalpos aukštį galima gauti 1–2 laipsniais žemesnę vidutinę oro temperatūrą, lyginti su radiatorių šildymu, ir taip sutaupyti iki 10% kuro. [5]

Šildymas, oro kondicionavimas ir vėdinimas – tai trys pagrindiniai komforto uždaviniai, kuriuos sprendžiami galime pasirinkti tinkamiausią sistemą ir įrangą. Vienas iš pagrindinių šildymo rekuperatoriumi privalumas – tai galimybė šildymo sistemą suderinti su oro kondicionavimu ir vėdinimu. Toks metodas tiekia šviežią ir tinkamai išvalytą orą, kuris yra reikiamos temperatūros ir drėgmės. Panašiai kaip ir vėdinimo sistemoje, šiltas oras į patalpas yra tiekiamas per ortakius. Vasaros metu tais pačiais ortakiais į patalpas tiekiamas atvėsintas oras, tokiu būdu galime vykdyti patalpų kondicionavimą. Šiltas oras žiemą mažu greičiu patenka į patalpas per lubose arba grindyse įrengtas groteles [1,7]. Toks šildymo būdas yra labai patogus patalpose, kurios turi didelius vitrininius langus. Gamybinės paskirties patalpose, dideliame prekybos centre ar ekspozicijų salėje pritaikius šį šildymą, greitai sukuriama patogi darbo aplinka.

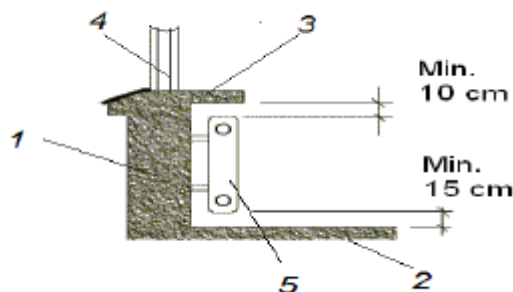
## 1.1 Šildymas radiatoriais

Šildymas radiatoriais yra geriausiai žinoma ir labiausia paplitusi sistema. Apie 80% radiatorių rinkos užima plieniniai sieniniai radiatoriai, o likę ketiniai, aliuminiai ir konvektoriai – tik apie 20%. (1.1 pav.).



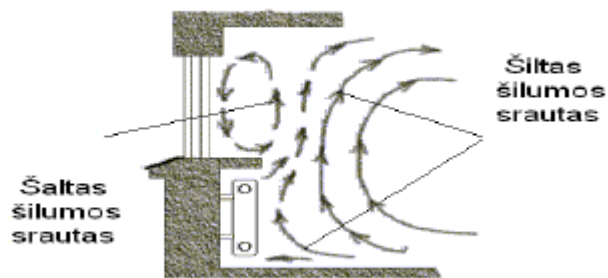
### 1.1 pav. Radiatorių tipai

Tinkamos šildymo sistemos pasirinkimui labai svarbus etapas yra radiatoriaus tipo nustatymas ir jo įrengimo vietos parinkimas. Radiatorius turi būti tokios galios, kad užtikrintų reikalingą patalpos šilumos poreikį. Jis įrengiamas prie lauko sienos atitvaro. Radiatoriaus ilgis turi būti ne mažesnis nei lango plotis, tam, kad kylanti šilto oro srovė apimtų visą nuo lango stiklo krintantį šalto oro srautą, kurio buvimas sudarytų nemalonią vėsaus oro trauką per kojas prie pat grindų [3,7]. Reikia atsiminti, kad reiks palikti 15 cm tarpą tarp grindų ir radiatoriaus apačios ir 10 cm tarpą nuo radiatoriaus viršaus iki palangės (1.2 pav.).



**1.2 pav.** Radiatoriaus įrengimo schema: 1 – lauko siena; 2 – grindys; 3 – vidaus palangė; 4 – langas; 5 – radiatorius;

Radiatoriaus aukštis turi būti kiek įmanoma didesnis, kad uždengtų didžiąją dalį sienos tarp palangės ir grindų. Tai svarbu todėl, kad radiatorius galėtų maksimaliai užtikrinti spinduliavimo keliu atiduodamą į patalpą šilumos dalį, kuri didina žmogaus, išspinduliuojančio savo kūno šilumą į šalčiausius patalpos paviršius, komforto jausmą. Radiatoriai montuojami po langais tam, kad sudarytų "šilumos užuolaidą". Šiltas oras nuo radiatoriaus kyla į viršų ir blokuoja šalto oro srautą nuo lango (1.3 pav.).



### 1.3 pav. Šilumos srautai naudojant radiatorių šildymą

Negerai radiatorius uždengti dekoratyvinėmis grotelėmis, nes tada prarandama didelė dalis šilumos. Kuo didesnis grotelių plotas tuo daugiau šilumos prarandama [8].

Net 49% savo kūno šilumos žmogus išspinduliuoja. Įvykdžius šias sąlygas gali pasirodyti, kad radiatorius yra per didelio dydžio ir galios, bet reikia atminti, kad radiatoriaus dydis, priešingai nei mano daugelis namų statytojų, jokių būdu nereiškia padidėjančių energijos sąnaudų (aišku, kai kalbama apie automatizuotą šildymo sistemą). Vadinasi, tam, kad radiatorių šildymo sistema būtų ekonomiškai, šildymo sistemoje cirkuliuojančio vandens temperatūros turi būti žemesnės nei yra įprasta tradiciškai. Tai yra tiekiamo ( $t_1$ ) ir grįžtančio ( $t_2$ ) vandens temperatūrų santykis turėtų būti  $t_1/t_2 = 65/50$  °C arba  $55/45$  °C. Įvykdžius šias sąlygas radiatorių šildymo sistema bus ekonomiškai. Vanduo šildymo sistemoje, radiatoriuose cirkuliuoja dėl slėgių skirtumo tarp šilto ir šalto vandens [8]. Šiltas vanduo kyla aukštyn, o šaltas leidžiasi žemyn. Jei atstumas tarp katilo ir šildomų patalpų yra labai dideli, turi būti įrengiami siurbliai, kurie padėtų vandens cirkuliacijai, ir patalpos būtų šildomos tolygiai [8].

#### **Pagrindiniai radiatorių šildymo sistemos plusai:**

- Patalpų temperatūra visą dieną išliks pastovi;
- Galima naudoti drėgnose patalpose;
- Patalpos neteršiamos dujomis, smalkėmis, dūmais.

#### **Sistemos trūkumai:**

- Prasta estetinė išvaizda;
- Masyvūs šildymo prietaisai;
- Darbui imlus montavimas;
- Užšalimo pavojus;
- Brangus įrengimas.

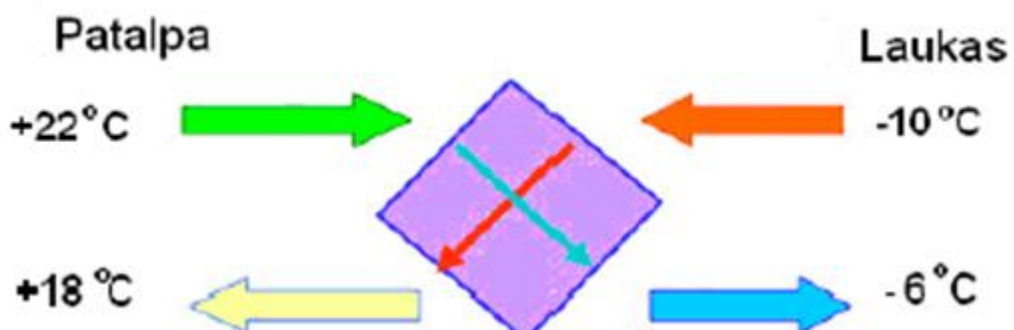
## 1.2 Rekuperatorinis šildymas

Norint taupyti šilumos sąnaudas rekuperatoriai yra vienas iš geriausių sprendimų. Naudodami išmetamą šiltą orą, jie šildo lauko tiekiamą orą. Energetinio ekonomiško atžvilgiu jie gali sudaryti net apie 90%. Lygiai tai pat vasarą galima naudojant šiltą lauko orą kondicionuoti išilusias patalpas. Tokia vėdinimo sistema labai plačiai naudojama gyvenamosiose namuose.[9]

Rekuperacinės vėdinimo sistemos sudedamieji elementai:[9]

- Valdymo pultas;
- Šilumokaičiai, kurie šilumą verčia iš vienos oro srovės į kitą oro srovę;
- Ventiliatoriai, kuriu dėka yra paskirstomas oras patalpose ir lauke;
- Ortakių tinklas, kuris suskirsto gaivų orą visame name, o tvankų orą gražina į rekuperatorių;
- Vamzdžiai, kuriais pro siurblius ištraukiamas nereikalingas oras ir į traukiamas reikalingas;
- Šildymo mechanizmai;
- Filtrai;

Rekuperatorių veikimo principas. Rekuperatorius yra tarsi radiatorius, į kurį skirtingais kanalais patenka du oro srautai: vienoje pusėje teka šaltas oras, o kitoje šiltas oras kuris šildo patį rekuperatorių, tai pat sušildo šaltą orą. (1.4 pav.) Viską labai gerai suderinus, tai yra rekuperatoriaus konstrukciją, oro srautų judėjimo greičius bei kryptis galime pasiekti labai gerą energetinį efektą: sutaupyti net iki 90%. šilumos.[10]



1.4 pav. Rekuperatoriaus veikimo schema

Galimi trys rekuperatorių tipai:

- Atskirų srautų (skystiniai);
- Rotorinių;
- Plokštelių (kryžminiai).

Dažniausia pasitaikantis ir labiausiai naudojamas yra rotorinis rekuperatorius. Jo pagrindiniai privalumai lyginant su aukščiau paminėtoms šildymo sistemoms:

- Labai geras efektyvumo koeficientas;
- Maži gabaritai;
- Labai gerai išsaugo oro drėgnumą;
- Labai maža tikimybė, kad rekuperatorius gali užšalti.

### 1.3 Šildymas grindyse

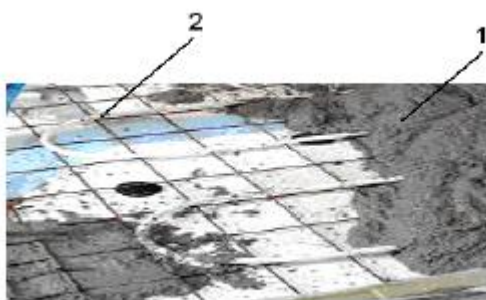
Dabar Lietuvoje labai populiarėja šildymas grindų pagalba, tai yra kai sušildytos grindys sušildo visą patalpos orą. Šildant grindis yra pasiekiamas labai malonus komforto lygis, kojoms šyla, o galva labai stipriai neperkaista, tačiau tai yra labai brangus šildymo būdas, nes tokį šildymo būdą labai brangu įsirengti. Tokiu atveju į patalpą patenkantis šilumos kiekis labai mažas. Sušildyti grindis galima kelias būdais. [9]

- Per grindyse esančius kanalus pučiant šiltą orą;
- Elektriniais kabeliais;
- Jose sumontuoti vamzdeliais, kuriuose cirkuliuoja šiltas vanduo.

Norint pasiekti labai gerą temperatūrų pasiskirstymą patalpoje, turi būti labai gerai atlikti techniniai šilumos skaičiavimai, o darbai vykdomi laikantis atliktų skaičiavimų ir atitinkamų technologijų. Pagrindinė priežastis kodėl atliekami techniniai skaičiavimai yra nustatyti vandens, kuris teką vamzdžiais temperatūrą ir horizontalų atstumą tarp grindų konstrukcijoje išdėstytų vamzdelių. Tai yra du patys pagrindiniai parametrai, kurie parodo grindų paviršiaus temperatūrą ir pačių grindų įšilimo temperatūrą, bei įšilimo tolygumą. Vandens temperatūra vamzdžiuose gali būti nuo 35°C iki 55°C, o atstumas tarp vamzdelių nuo 10 cm iki 30 cm. Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad prie visų stiklinių paviršių tokių kaip langai ar panašiai, vamzdelių grindyse turi būti kur kas daugiau. Taip yra daroma 1 m atstumu nuo stiklinio paviršiaus, tokiu būdu yra siekiama išvengti šalto oro srovių, krintančio nuo įstiklinto paviršiaus, įtakos visos patalpos temperatūrai

pasiskirstymui. Neįrengus tokio grindų ruožo, galime jausti nemalonus pojūčius tai yra šalto oro sroves prie grindų. [1]

Būtina atkreipti dėmesį ir į betono stori užpilant grindis. Jis negali būti labai plonas, nes tada gali susidaryti karšti ruožai vamzdelių paklojimo vietose ir betonas perkais, o jei betonas yra per storas didžiąją dalį šilumos akumuliuos betono masė, todėl didės energetinės sąnaudos norint išgauti didesnę oro temperatūrą kambaryje, tai pat oro temperatūros valdymas bus kur kas sudėtingesnis. Nustatyta, kad geriausias betono sluoksnis yra apie 6,5 cm. Tokiu atveju betono sluoksnis virš vamzdelių yra apie 4,5 cm. Tai pat į užliejamo betono masę reikėtų įdėti plastifikuojančių priedų, kad betonas taptų vienalyčiu, būtų pašalinti visi oro burbuliukai ir sumažinta skilinėjimo tikimybė. (1.5 pav.) [9]



**1.5 pav.** Grindų šildymo sistema: 1 – betonas; 2 – šildymo vamzdis [9]

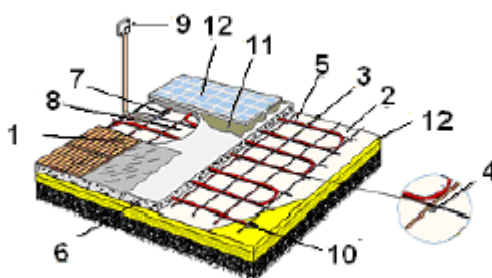
### **Patikima ir saugi**

- Nėra perkaitimo pavojaus;
- Kabeliai gali būti klojami arti vienas kito;
- Nereikia daug priežiūros.

### **Taupanti energiją**

• Reguluojant šilumą pagal norimą kambario temperatūrą, energijos suvartojimas gali būti labai stipriai sumažintas.

Kalbant apie elektroninį grindų šildymą, jos pagrindinis privalumas yra tai, kad nereikia atskiro šilumos šaltinio. Toki grindinį šildymą labai patogu instaliuoti ne tik visuose grindyse, bet ir atskiruose jos dalyse. Labai tikslus, veiksmingas, lengvas ir greitas valdymas, vienodas bei tolygus paviršiaus įšilimas, tai pat gerokai lengviau montuoti ir aptarnauti lyginant su vandeniniu šildymu. Turint tokias šildomas grindis beveik nėra rizikos, kad baigsis medžiagos, kuriomis grindys yra šildomos, todėl mažiau rizikos, kad sistema suges užšalus grindims, tai pat vamzdžiai neprakurs ir iš jų neišsilies vanduo. Pačią sistemą gerai atvaizduoja 1.6 pav.[9]



**1.6 pav.** Elektrinis grindų šildymas: 1– grindų danga 5–10 cm; 2 – hidroizoliacinė plėvelė; 3 – armavimo tinklas; 4 – plastikiniai intarpai kabelio atstumui nuo izoliacijos išlaikyti; 5 – šildymo kabelis; 6 – cementinis skiedinys; 7 – šildymo ir jungiamojo kabelio mova; 8 – plastikinis temperatūros daviklio vamzdelis; 9 – grindų temperatūros reguliatorius; 10 –kabelio galinė mova 5–7 cm; 11 –išlyginamasis sluoksnis, klijai; 12 – šiluminė izoliacija.



**1.7 pav.** Šildymo kabelio sandara: 1 – šildymo bei jungiamasis laidininkai; 2 – atskira kiekvienam laidininkui izoliacija; 3 – poliesterio apvalkalas; 4 – varinė pynė; 5 – apvalkalas.

Elektrinių šildymo kabelių nepatartina montuoti po baldais, kurie į grindis remiasi visu savo plotu. Tai pat vonios kambaryje ar virtuvėje jų negalima montuoti po viryklėmis, indaplovėmis, šaldytuvais, įvairiais santechniniais vamzdžiais, skalbimo mašinomis tai yra po tuo kas trukdo sklisti šilumai. Naudojant tokį šildymą tai pat labai svarbu yra tinkama patalpų šilumos izoliacija, nes neįmanoma patalpose labai greitai keisti šildymo temperatūros. Tai pat patariama šilumos izoliacija ir po šildomų grindų sistema, nes galimi šilumos nuostoliai. Jį galima įrengti po keramikinėmis plytelėmis, kilimine danga, medinėmis ar akmeninėmis grindimis. Tačiau reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad visos medžiagos kurios bus naudojamos klojant dangą turi būti laidžios šilumai (klijai, dažai, lakas). Šiluminius parametrus nurodo gamintojas, o kiliminės dangos būna pažymėtos ar jos tinkamos grindų šildymui. Terminio laidumo grindys, tokios kaip kad keraminės plytelės yra gan vėsios. [9]

Šildymo kabelio kilimėlis dažniausiai yra montuojamas išlyginamajame cementiniame skiedinyje arba į plytelių klijų sluoksnį tiesiogiai po keramikinėmis plytelėmis, parketu ar kita danga. Kilimėlis dažniausia uždengia 1 – 7 kvadratinį metrų plotą. Jie klijuojami prie švariai nuvalyto



tvirto pagrindo. Tokius kilimėlius daug lengviau montuoti, nei vieno laidininko ar kilimėlio sistemas, nes nereikia grįžti su laidu iš tolimojo kampo su jungiamuoju laidu. (1.8 pav.)



**1.8 pav.** Šildymo kabelio kilimėlis: 1 – grindys; 2 – kabelio kilimėlis

Grindų šildymo kabeliai bei kilimėliai yra jungiami per 0,03 A ar dar mažesnę srovės nuotėkio relę. Relė yra naudojama kaip papildomą priemonę apsaugai nuo elektros smūgio ar gaisro. Sistema yra labai saugi. Grindys atsparios vandeniui, jomis galima vaikščioti basam. [9]

#### **Privalumai grindinės šildymo sistemos [11]:**

- Labai gerai tinka patalpoms su aukštomis lubomis, nes šiluma palaikoma žmogaus veiklos aukštyje.
- Tolygi šiluma – geras pasiskirstymas visoje patalpoje;
- Mažas alerginis poveikis – mažiau dulkių pernešama konvenciniais oro srautais, grindinis šildymas neleidžia kauptis dulkėms grindų dangoje;
- Energetiškai efektyvi „nematoma“ šiluma – mažesnės eksploatacijos išlaidos palyginti su šildymo radiatoriais sistemomis;
- Saugu vaikams, senyviems ir neįgaliems – jokių karštų paviršių, keliančių pavojų nudegti;
- Geras suderinamumas su kondensaciniais vandens šildytuvais – grindiniam šildymui reikalinga mažesnė vandens temperatūra nei sistemoms su radiatoriais;
- Betriukšmis veikimas – nėra jokie vandens tekėjimo radiatoriais sukeliama triukšmo;

#### **Minusai:**

- Labai brangus įsirengti;
- Jei patalpa nešildoma, galimas vamzdžių užšalimas.

## 1.4 Skyriaus apibendrinimas

Visos Šildymo sistemos yra renkamos lyginant visus jų variantus pagal ekonominius ir techninius rodiklius, atsižvelgiant į higieninius reikalavimus bei eksploataavimo ypatumus. Vienas iš svarbiausių vertinimo kriterijų yra jų patikimumas. Tai yra savybė palaikyti tinkamą temperatūrą patalpose per visą nustatytą laikotarpį. Geriausia patikimumą, kuris remiasi ilgaamžiškumu ir sistemos veikimu, turi vandens šildymo sistemos, jos gali tarnauti net iki 60 m. tai pat, jos ganėtinai paprasto ir nesunkiai eksploatuojamos. Pagal tokį rodiklį joms artimos ir vietinės vandens bei oro šildymo sistemos, kurios veikimą galime labai lengvai automatizuoti. Mažiau patikimos yra garo šildymo sistemos, kurių labai sudėtinga konstrukcija bei aptarnavimas ir be to, trumpas tarnavimo laikas, tik apie 10 m. Nepasižymi geru patikimumu ir centrinės oro šildymo sistemos, dėl galimų oro paskirstymo pažeidimų (skardos kanalai trumpa amžiai, o kitos medžiagos plytos ar betonas nepakankamai hermetiški). Sekantis rodiklis yra temperatūros gradientas tam tikrame aukštyje. Geriausios šildymo sistemos, kuriose temperatūros gradientas yra pats mažiausias. Didžiausias temperatūrų pokytis būna oro šildymo sistemose, kuriose viršutinė patalpos dalis perkaitinama, o apatinė – blogai šildoma.[11]

Visų statinių šildymo sistemos turėtų atitikti valstybės norminių dokumentų priešgaisrinius, higieninius ir saugios eksploatacijos reikalavimus. Kiti aspektai, tokie kaip ekonominiai, estetiniai, konstrukciniai priklauso tik nuo vartotojo ar kitų statybos dalyvių susitarimo. Visos sistemos turi būti tokios, kad vartotojas galėtų reguliuoti viso pastato ir atskirų patalpų šilumos sąnaudas. Sistemos turi užtikrinti pakankamą arba komfortinę šiluminę aplinką žmogui, jos neturi būti gaisro ir sprogimo priežastis arba gaisro ar sprogimo plitimo takas. Šildymo sistemoms veikiant iš jų vidaus į patalpą neturi patekti, nei ant jų paviršiaus neturi susidaryti kenksmingos medžiagos. Ant paviršiaus neturi kauptis pavojingas sveikatai mikroorganizmų kiekis[2].

## 2. Infraraudonųjų spindulių šildymo lemos

Kūnai nutolę vienas nuo kito šilumą perduoda spinduliavimo būdu. Skirtingai negu kiti šilumos perdavimo būdai, spinduliavimas gali vykti ir vakuume. Bet koks kūnas (įskaitant ir žmogaus), kurio temperatūra yra aukštesnė negu 0 K, skleidžia tam tikrą spinduliuotę. Šie spinduliai tos pačios prigimties, kaip regimoji šviesa, tik bangos ilgis yra ilgesnis, jų sritis yra už raudonųjų spindulių, todėl jie ir yra vadinami infraraudonaisiais spinduliais (lot. *infra* - po). Priklausomai nuo to kokia yra kūno temperatūros, keičiasi ir spinduliuotės intensyvumas bei spektrinė sudėtis, todėl labai dažnai mūsų akys jos nepriima kaip regimos spinduliuotės. Įvairūs paviršiai geba nevienodai spinduliuoti arba sugerti šiluminę energiją. Kūnas, kuris sugeria visų dažnių spinduliuotes, vadinamas absoliučiai juodu kūnu. Tokių kūnų gamtoje nėra, ši sąvoka yra abstrakcija [4]. Kūnai, kurie turi mažesnę nei vienetą sugerties faktorių ir sugertiems faktorius nepriklauso nuo šviesos bangos ilgio, vadinami pilkaisiais. Gamtoje tokių kūnų taip pat nėra, tačiau tam tikri kūnai, tam tikrame bangos ilgių intervale sugeria ir spinduliuoja kaip pilkieji kūnai. Pavyzdžiui, kartais žmogaus kūną galime laikyti kaip pilkąjį kūną. Juodojo kūno energinį šviesį aprašo Stefano ir Bolcmano dėsnis [11]:

$$R_e = \sigma T^4 \text{ (juodam kūnui); ( 2.1 )}$$

$$R_e = \alpha \sigma T^4 \text{ (pilkam kūnui). ( 2.2 )}$$

čia  $\sigma$  – Stefano ir Bolcmano konstanta, J/K;

$\alpha$  – sugerties faktorius.

Iš šio dėsnio matome, kad energinis šviesis yra proporcingas termodinaminės temperatūros ketvirtajam laipsniui, taigi, daugiau įkaitęs kūnas gali intensyviau spinduliuoti [4].

Kitas šiuos procesus aprašantis dėsnis – Vyno dėsnis:

$$\lambda_{\max} = b/T; \text{ ( 2.3 )}$$

čia  $\lambda_{\max}$  – bangos ilgis, m;

$b$  – Vyno konstanta, m·K.

Tai labai gerai iliustruoja toks pavyzdys: kambario temperatūroje šilumos kūnų spinduliavimas vyksta infraraudonojoje srityje ir žmogaus akis jo nefiksuoja. Temperatūrai pakilus, kūnai šviečia tamsiai raudonai, o temperatūrai pakilus dar labiau, kūnai pradeda šviesti melsvu ar baltu atspalviu. Geriausiai spinduliuotę yra sugerama juodo matinio paviršius, o blogiausiai – poliruoto metalinio paviršius. Kai spinduliuotė yra sugerama uždaroje erdvėje, kaip pavyzdžiui,

šiltnamyje, tuomet kūnai sugeria Saulės spinduliuotę ir pakartotinai išspinduliuoja jau mažesnės energijos spinduliuotę, kuri negali prasiskverbti pro stiklą. Panašų barjerą atmosferoje suformuoja ir anglies dioksidas, kuris pastaruoju metu didėja, todėl oras pamažu šiltėja [4].

Galia, kurios netenka žmogus sąveikaudamas su jį supančia aplinka gali būti apskaičiuota taip:

$$P = P_1 - P_0 = S\delta(T_1^4 - T_0^4); \quad (2.4)$$

čia  $T_0$  ir  $T_1$  – atitinkamai aplinkos ir žmogaus kūno paviršiaus temperatūros;

$\delta$  – spinduliavimo koeficientas;

$S$  – kūno paviršiaus plotas,  $m^2$ .

Apsirengusiam žmogui  $T_1$  suprantama kaip rūbų paviršiaus temperatūra. Pavyzdžiui, nusirengęs žmogus, esant  $18^\circ C$  aplinkos temperatūrai, o jo odos temperatūrai  $33^\circ C$ , kiekvieną sekundę nuo  $1,5 m^2$  paviršiaus spinduliavimo būdu netenka  $122 J$  energijos, kai apsirengęs medvilniniais rūbais (odos temperatūra  $24^\circ C$ ) – tik  $37 J$  [6].

Žmogaus komforto teorija sako, kad žmogus komfortiškai jaučiasi, kai jo kūnui prie tam tikros fizinės veiklos, atiduodamas tam tikras ribotas kiekis šilumos. Žmogui prarandant daug šilumos (šaltoje aplinkoje, mažai apsirengus, prie šaltų paviršių), žmogus jaučia, kad jam darosi šalta. Žmogui esant šiltoje aplinkoje arba jį apšviečiant infraraudonaisiais spinduliais, šiluminis kūno ir aplinkos disbalansas sumažėja ir žmogus pradeda jaustis šiltai. Būtent dėl šitos priežasties kartais po pavasario saulutės spinduliais mes jaučiamės maloniai ir šiltai, nors oro temperatūra ir nėra labai didžiulė [4].

Infraraudonųjų spindulių šildymo sistemose dažniausia naudojamos šildymo lempos būna dujinės ir elektrinės.

## 2.1 Dujiniai šildytuvai

Spinduliniai dujiniai šildytuvai dažniausiai naudojami šildyti didelius darbinius plotus. Sukomplektavus juos su papildomais komponentais, galima apšildyti labai didelę patalpą. Infraraudonieji spinduliai sklinda žemyn nesusildydami oro ir tik pasiekus tiesiogiai žmogaus kūną ar daiktus pradeda juos šildyti. Dalis spindulių, kurie krenta tiesiai į daiktus, atsispindi nuo paviršių ir sušildo žmogų, sušilę daiktai galų gale pašildo ir orą patalpoje. Šildytuvuose pakankamai naudingai sudeginamas kuras, tai reiškia, kad apie 90% energijos yra paverčiama šilumine energija. Toks šildymas labai gerai apsaugo daiktus nuo korozijos ir drėgmės kaupimo. [5]

Kuo didesnio aukščio arba tūrio patalpose taikoma šildymo infraraudonaisiais spinduliais, tuo didesnę pranašumą gauname prieš šilumos perdavimą oro srautu. Tokiose patalpose kaip traukinių depai, lėktuvų angariai, sandėliai, automobilių techninės priežiūros dirbtuvės, aukštos sandėliavimo patalpos, stočių, sporto salių, taip pat patalpose, kur reikia šilumos paskirstymo zonomis, spindulinio šildymo sistema yra neabejotinai efektyviausia iš visų galimų šildymo sistemų.

Veikimo principas. Vamzdis įkaista iki labai aukštos temperatūros ir spinduliuoja šilumą. Siekiant, kad kuo didesnę dalis spindulių būtų nukreipiama į mums reikiamą zoną, virš šildytuvų įrengiami reflektoriai. Dujos yra uždegamos degiklio pagalba, degimo produktai dūmus ištraukiančiu ventiliatoriumi šalinami per kaminą iš patalpos. Viena iš svarbiausių infraraudonųjų spindulių šildytuvo savybių yra ilgas tarnavimo laikotarpis: garantinis laikas, laikantis montavimo technologijos, yra 25 metai nuo pardavimo dienos. Eksploatacijos laikas nuo sumontavimo dienos yra 50 metų ir daugiau. Toks ilgas tarnavimo laikotarpis pasiekimas todėl, kad esant darbinėje padėtyje, sudedamosios šildytuvo dalys yra tausojančios temperatūros diapazone. [4]. Sistema gali kontroliuoti šilumos kryptį praktiškai tokiu pat būdu, kaip tai darome su šviesa – šilumos srautas nukreipiamas tik į tas zonas, kur jos iš tikrųjų reikia ir naudojama tik tada, kada iš tikrųjų būtina. Šiluma yra lokalizuota toje zonoje, kur randasi žmonės – ji nedingsta ir neišsisklaido didelėje patalpų erdvėje ar atviroje lauko zonoje. Pagal šilumą spinduliuojančių paviršių temperatūrą yra skirstomi į [5]:

- Šviesaus spinduliavimo – kai vidutinė temperatūra daugiau 5000 °C;
- Tamsaus spinduliavimo – kai vidutinė temperatūra neviršija 5000 °C.

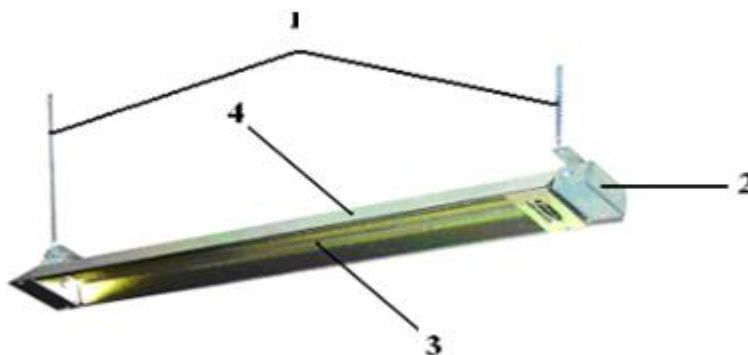
Reikia atkreipti dėmesį, kad išmetami į atmosferą degimo produktai gali pakeisti drėgmės kiekį patalpoje, priklausomai nuo oro kaitos patalpoje. Jei nėra išorinės degimo produktų pašalinimo sistemos, per ventiliacines angas turi būti pakankama oro cirkuliacija, užtikrinanti tinkamą šildytuvų darbą [3].

## 2.2 Elektriniai šildytuvai

Jie veikia visiškai kitu principu nei įprasti mums įprasti elektriniai šildytuvai (tepaliniai radiatoriai, kaloriferiai ir t.t.). Spinduliniai šildytuvai šildo labai panašiai kaip saulė. Jie nešildo oro, tačiau greitai orą pereina, sušildydami objektus, kurie yra jų šildomoje zonoje. Dėl to žmonės esantys toje zonoje yra šildomi tiesiogiai šildytuvo, o ne oro pagalba. Jie sukuria labai tolygų, galingą ir valdomą krypties šilumos srautą. Šildymas IR spinduliais paplito Norvegijoje, Švedijoje, Suomijoje ir kt. Firmos gamina spinduliuojančius šildytuvus, kabinamus ant sienų, statomus ant

grindų, taip pat tvirtinamus prie bet kokios klasės patalpų lubų: gamybinių, gyvenamųjų, žemės ūkio paskirties, drėgnų ir net tokių, kuriose gali įvykti sprogimas. IR spindulių šildytuvų spinduliuojamojo paviršiaus temperatūra gali būti nuo 80 °C iki 950 °C.[4] Gyvenamosioms patalpoms ir biurams, kurių lubų aukštis yra apie 3 m, rekomenduojama spinduliuojančiojo paviršiaus temperatūra gali būti apie 100 °C . Tai yra švelnesnis ir komfortiškesnis spinduliavimas, bei ne toks kenksmingas, negu laužo ar židinio šilumos spinduliavimas.

Nepriklausomų tyrinėtojų ir firmų gamintojų tyrimų rezultatai patvirtina, kad IR šildytuvams naudojami šiluminio spinduliavimo dažnių spektrai yra nekenksmingas [4]. Tai rodo ir Europos sertifikatai, kurie patvirtina šių šildymo prietaisų saugumą. IR spindulių šildytuvai užtikrina nekenksmingą šilumos režimą be sveikatai pavojingų “šilumos patrankų” ar ventiliatorių. Ekonomija siekia 50–80%, nes nereikia šildyti iki 80% tūrio, o šilto oro konvekcija visiškai nereikšminga. Vienas iš populiariausių infraraudonųjų elektrinių šildytuvų pavaizduotas (2.1 pav.).



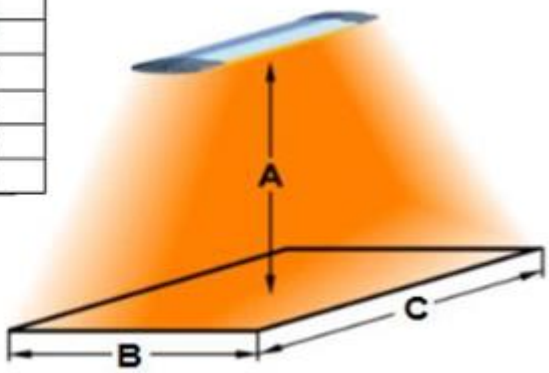
**2.1 pav.** Infraraudonasis elektrinis šildytuvas: 1 – laikikliai šildytuvo; 2 –valdymo blokas; 3 – liuminescencinė lempa; 4 –reflektorius

Dėl aukštesnio ekonomiškumo, efektyvumo bei paprastesnės priežiūros vakarų Europoje jie jau baigia pakeisti dujinius ar paprastus šildytuvus. Pastaruoju metu šios rūšies šildytuvais vis labiau domimasi ir Lietuvoje. Reikia išskirti, kad šildymo technologija sukuria šilumą per sekundę. Tokį efektyvų veikimą lemia šiuose profesionaliuose šildytuvuose naudojamos halogeninės IR lempos ir išskirtiniai aliuminio reflektoriai. Halogeninės infraraudonųjų spindulių lempos pasižymi labai ilgu veikimo laikotarpiu. Galima reguliuoti elektros srautą, taip išgaunant dar didesnę energetinį efektyvumą

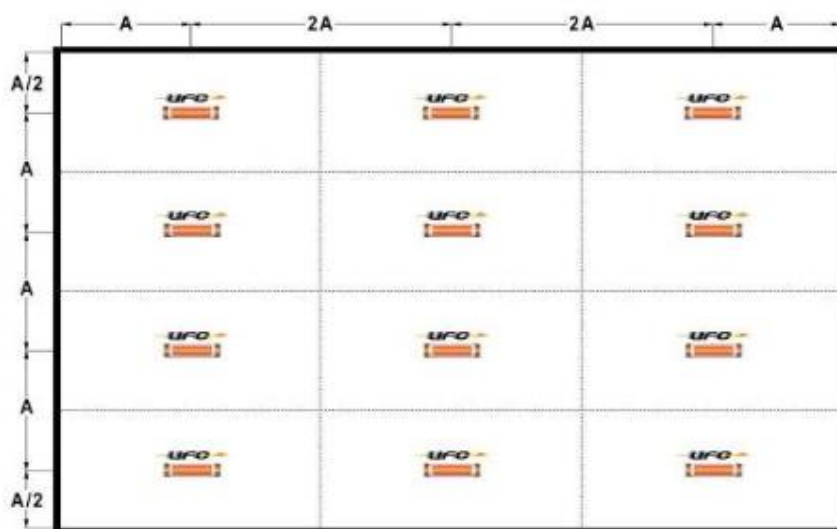
Rinkdamiesi šildytuvo modelį, visų pirmą reikia, apsiskaičiuoti bendrą galingumą, kuris bus reikalingas patalpų šildymui, o paskui apskaičiuojamas kiekvieno šildytuvo galingumas, tolygiam

šilumos pasiskirstymui. Tai daroma atsižvelgiant į patalpas, jų lubų aukštį, sienų medžiagas ir plotį, durų ir langų kieki, šiluminės izoliacijos ir patalpų pamatą (2.2 pav.).

Elektrinių šildytuvų šildomas plotas pagal galingumą				
Modelis	A	B	C	m <sup>2</sup>
UFO – 14	2,65 m	5,3 m	2,65 m	14
UFO – 18	3 m	6 m	3 m	18
UFO – 22	3,3 m	6,6 m	3,3 m	22
UFO – 26	3,6 m	7,2 m <td 3,6 m	26	
UFO – 30	3,85 m	7,8 m	3,85 m	30



2.2 pav. Šildymo ploto skaičiavimai šildytuvams[12]



2.3 pav. Kelių šildytuvų šildymo ploto schema [12]

**Pagrindiniai elektrinių infraraudonųjų spindulių šildytuvų privalumai [12]:**

- Nedidelė oro cirkuliacija patalpoje, dėl kurios nesusidaro skersvėjai, nejuda dulkių srautai;
- Nekenksmingi, o kai kuriais atvejais netgi naudingi žmonių sveikatai;
- Šildymo IR spinduliais sistemoms montuoti reikia nedaug lėšų ir laiko;

- Nėra gaisro pavojaus, veikia tyliai; Nesusaina oro ir nesudegina deguonies;
- Galima eksploatuoti drėgnose patalpose;
- Mobilumas: šildymo IR spinduliais sistemą galima nesunkiai ir greitai išmontuoti bei perkelti į kitą vietą;
- Ilgi eksploatavimo terminai: šildymo IR spinduliais sistemą galima eksploatuoti daugiau kaip 10 metų, neinvestuojant papildomų lėšų aptarnavimui;
- Šiuolaikiška šildymo valdymo sistema;
- Elektroninės automatinio valdymo sistemos leidžia visiškai kontroliuoti patalpų šildymo proceso laiką ir temperatūrą. Tikslus reguliavimas leidžia išvengti per didelio galingumo, užtikrina “ypatingą” šildymo sistemos lengvumą ir papildomą ekonomiškumą;
- IR spindulių šildytuvus galima įrengti ant lubų ir taip neužimti patalpos naudingo ploto;
- Galimybė šildyti zoniniu ar taškiniu būdu;
- Vidutiniškai 20–30% sumažėja energijos sąnaudos, palyginti su konvencinėmis (tradicinėmis) sistemomis, kurios šiuo metu dažniausiai vartojamos;
- Patalpos greitai įšyla, palyginti su paplitusiomis konvencinėmis šildymo sistemomis.

## 2.3 Pagrindinės infraraudonųjų šildytuvų charakteristikos

Pagrindinės charakteristikos:

- Šildytuvo galingumas;
- Spinduliuojamųjų bangų tipas arba kaitinimo elemento tipas;
- Reflektoriaus forma.

Šildytuvų galingumas gali kisti nuo keliasdešimt vatų iki kelių kilovatų. Kuo galingesnis šildytuvas tuo stipriau jis šildys, tačiau tuo pačiu naudos ir daugiau elektros energijos. Todėl dažnai geriau rinktis keletą mažiau galios turinčių šildytuvų nei vieną labai galingą.

Spinduliuojamųjų bangų ilgis:[12]

„Artimosios srities“, „IR-A“, „trumpųjų bangų“ ar „ryškieji“, „kvarciniai“ infraraudonųjų spindulių šildytuvai ir šildymo lempos veikia 780-1400 nm bangos ilgių intervale ir gali



pasiekti/atiduoti didesnę nei 1300°C temperatūrą. Šildytuvų šildymo lempos dažniausiai būna kvarcinės, kurios skleidžia ryškiai raudoną matomą šviesą. Lempos dažniausiai būna tiekiamos kartu su reflektoriumi tam, kad geriau paskirstytų ir atiduotų šilumą. Taip pat šio tipo šildytuvai gali būti ir dujiniai, kurie deginamo propano ar gamtinių dujų pagalba skleidžia to paties ilgio infraraudonuosius spindulius. Šio tipo šildytuvai yra montuojami atokiau/toliau nuo žmonių, nes skleidžiama šiluma yra per „aštri“ ir, esant arti šildytuvo, nesuteiktų jokie komforto. Šie šildytuvai suteikia „karšto viršugalvio“ efektą, taip pat gali sausinti akis, odą. Dažnai šio tipo šildytuvai ženklina abejotiniais ir klaidinančiais ženklais, kurie nurodo, kad jie nesukelia jokio šalutinio poveikio. Dėl to neretai žmonės nusivilia ir tapatina visus šildytuvus su šia šildytuvų kategorija. Taigi, jei artimosios srities infraraudonuosius spindulių šildytuvai (atkreipiant dėmesį į skverbimosi savybes) naudojami netinkamai ir yra pastatomi per arti žmonių, veikiant ilgai, gali lemti odos ir akių sausėjimą. Kvarciniai šildytuvai, kvarcinės šildymo lempos nėra ilgo gyvavimo laiko[12].

"Vidurinės infraraudonųjų spindulių srities", "IR-B" arba "vidurinės bangos", „halogeniniai“ infraraudonųjų spindulių šildytuvai veikia 1400-3000 nm intervale ir skleidžia/spinduliuoja apie 500-800°C temperatūrą. Tokio tipo šildytuvus, šildymo lempas naudoja natūralaus stiklo lydymo ar pūtimo procesuose, plastiko produktų gamybos sektoriuje. Žinoma, jie naudojami ir erdvių šildymui. Šildymo elementai gali būti gaminami iš anglies, keramikos, volframo. Šio tipo šildytuvai savo darbinę temperatūrą gali pasiekti labai greitai. Todėl tokio tipo šildytuvai naudojami ir gamyboje. Taip pat tokio tipo šildytuvai yra naudojami gyvūnų šildymui, maisto pramonėje. Vidurinės srities infraraudonųjų spindulių šildytuvai vis dažniau naudojami visuomeninių ir komercinių erdvių šildymui, nes šio tipo šildytuvai yra energetiškai efektyvūs bei saugūs, juos galima kabinti ant lubų, sienų, kitose neaukštose erdvėse. Taip pat šildymo elementų gyvavimo laikas yra kur kas ilgesnis nei kvarcinių elementų. Vidutinių bangų infraraudonieji šildytuvai nesukuria „aštrios“ šilumos pojūčio, todėl jie nekelti šalutinio poveikio, kaip tai daro artimųjų bangų šildytuvai. Taip pat jie sunaudoja daug mažiau energijos. Be minėtų savybių keramikiniai elementai dar neskleidžia ir jokios šviesos[12].

"Tolimųjų Infraraudonųjų spindulių", "IR-C", "tamsieji radiatoriai" arba "ilgųjų bangų" šildytuvai dirba intervale, didesniame nei 3000 nm. Tolimosios srities infraraudonųjų spindulių elementai skleidžia šilumą daug žemesnėje temperatūroje, paprastai maždaug apie 100°C ir be matomos šviesos. Dažniausiai šie elementai būna keramikiniai ar anglies pluošto. Dėl savo savybių tokio tipo šildytuvai taikomi buitinių, komercinių ir visuomeninių patalpų nuolatiniam ir papildomam šildymui. Tokio tipo elementai taip pat plačiai naudojami šiuolaikinėse IR spindulių saunose. Skleidžiama 100°C paviršiaus temperatūra yra labai svarbi tolimosios srities infraraudonųjų spindulių šildytuvų savybė, kurios dėka šiluma paskirstoma tolygiai ir tai leidžia

pasiekti itin aukštą energetinį efektyvumą. Taip pat labai svarbu paminėti, kad renkantis infraraudonųjų spindulių šildymo plokštę, reikalinga atkreipti dėmesį į darbinę plokštės temperatūrą. Jeigu plokštė veikia daugiau nei 100 ° C temperatūroje, tokia plokštė nebus itin efektyvi, kaip veikianti iki 100 ° C temperatūroje. Remiantis aukščiau išvardintais privalumais ir trūkumais, pateikiame lentelę, suskirstytą pagal šildytuvų tipus bei panaudojimo sritis[12].

**2.1 lentelė.** IR šildytuvų klasifikacija pagal bangos tipą [12].

<b>Bangos tipas</b>	<b>Elementų tipai</b>	<b>Savybės/Pritaikymas</b>
Artimųjų bangų	Kvarciniai Dujiniai šildytuvai	Toliau nuo žmonių Skleidžiama šiluma „aštri“ Šildymo elementų gyvavimo laikas trumpas (apie 5000 val.) Ilgą laiką būnant arti šildytuvo, galimas odos ar akių sausėjimas Didelių erdvių šildymą Reto cikliškumo šildymas Vietose, kur šildytuvai būtų pozicionuojami atokiau nuo žmonių Vietose, kur nėra tiesioginio šildytuvo poveikio odai ar akims
Vidutinių bangų	Keramikiniai Anglies pluošto Halogeniniai	Galima naudoti arčiau žmonių Gali skleisti arba neskleisti šviesos Galima pasiekti komfortabilią temperatūrą Ilgas elementų veikimo laikas (12000 val.) Didelių ir vidutinių erdvių šildymas Gyvūnų, fermų šildymas Buitinių, komercinių patalpų šildymas Zoninis šildymas
Tolimųjų bangų	Keramikiniai Anglies pluošto/masės	Neskleidžia šviesos (šildymo plokščių atveju) Galima pasiekti didelį energetinį efektyvumą Saugūs žmonėms Itin komfortiškas ir sveikas mikroklimatas Itin ilgas elementų veikimo laikas (15 metų ir daugiau) Mažų erdvių šildymas Buitinių, komercinių patalpų šildymas

Reflektoriaus forma nulemia kaip bus spinduliuojama šiluma, priklausomai nuo jo sklindančią šilumą galime koncentruoti į tam tikrą mažesnę vietą arba šildyti didesnę plotą. Taip pat

sklindančios šviesos srautas gali kisti ir nuo elemento padėties reflektoriuje. Apie tai plačiau bus rašoma reflektoriaus tiriamojame dalyje.

## 2.4 Šildytuvų panaudojimas

IR šildytuvai gali būti naudojami pačiuose įvairiausių vietose. Dažniausiai ten kur tradicinės šildymo sistemos būtų labai brangiai ar labai sunkiai įdiegiamos, bet žinoma labai gerai tinka ir standartinėse vietose.



**2.2 pav.** IR šildytuvų panaudojimas skirtinguose vietose.

Restoranų, kavinių, barų, įskaitant lauko kavines ir kitas atviras teritorijas šildymas;

- Rūkymo vietų šildymas;
- Paviljonų, laikinų statinių po atviru dangumi šildymas;
- Lauko terasų šildymas;
- Verandų, balkonų šildymas;
- Prekybos centrų ir turgaviečių šildymas;
- Pramoninių objektų šildymas;
- Parodų salių šildymas;
- Bažnyčių ir konferencijų salių šildymas;
- Atskirų darbo zonų šildymas viduje ar lauke;
- Sandėlių ir dirbtuvių šildymas;
- Šiltnamių šildymas;

- Zoologijos sodų, arklidžių šildymas;
- Šildymas siekiant išvengti apledėjimo ar kondensato;

Šildytuvai išsprendžia šias problemas [12]:

- Pašalina drėgmę;
- Sukuria ir palaiko reikiamą temperatūrą;
- Džiovina;
- Neleidžia vykti erozijos procesams;
- Pagerina žmonių savijautą; Pagreitina klijavimo procesus;
- Polimerizuoja plastiką;
- Pašildo medžiagą prieš pradedant ją naudoti.

## 2.5 Skyriaus apibendrinimas

IR šildytuvai gali būti skirstomi į dujinius ir elektrinius. Dujiniai dažniausiai naudojami norint apšildyti didesnes patalpas, nes jų įrengimas reikalauja didesnių išlaidų, tačiau įrengus pigiau išgaunama didesnė šildytuvo galia su mažesnėmis energijos sąnaudomis.

Elektrinių šildytuvų pagrindinis privalumas yra labai paprastas įrengimas. Tai lemia labai dideles panaudojimo galimybes, nuo vienos darbo vietos šildymo iki viso angaro šildymo. Priklausomai nuo to ką norime apšildyti elektriniai šildytuvai gali būti labai įvairūs. Gali skirtis jų galia nuo kelias dešimt vatų iki keliu tūkstančių vatų. Tai pat gali skirtis ir jų skleidžiamos bangos.

Renkantis IR šildytuvą labai svarbu atkreipti dėmesį kokiam tikslui jis bus naudojamas, kad išvengti nereikalingų energetinių nuostolių tokių kaip per didelės arba per mažus galios, netinkamos vietos šildymas.

## 3. Tyrimų aprašomoji dalis

### 3.1 Infraraudonųjų spindulinių šildytuvų energetinio efektyvumo tyrimas

#### Eksperimento tikslas:

- IR šildytuvų su reflektoriumi elektrinių charakteristikų (elektrinės galios ir varžos priklausomybė nuo įtampos) nustatymas ir jų palyginimas.
- Šilumos perdavimo ekranui pirminis nustatymas (temperatūros pasiskirstymas ekrane priklausomai nuo maitinimo įtampos ir atstumo nuo šildytuvo iki ekrano).
- Nustatyti kurie kaitinimo elementai šiluma skleidžia geriausiai.

#### Naudota įranga:

- Laboratorinis autotransformatorius Tufvassons OIEA8 (maitinimo tampa reguliuoti).
- Išmanusis energijos matuoklis Siemens PAC3200 (šildytuvo įtampai ir galiai matuoti).
- Termovizorius Fluke Ti100 (šilumos perdavimo termografinėms vaizdams gauti).
- Programinė įranga SmartView ir s\_analysis (termografinėms vaizdams apdoroti).

#### Vykdyti eksperimentai:

- Šildytuvų galios matavimas, keičiant maitinimo įtampą (200-250 V intervalas).
- Šilumos perdavimo ekranui eksperimentai (ekranas šildomas 10 min.), keičiant atstumą šildytuvams - ekranas (1.5 ir 2 m) ir maitinimo įtampą (200 ir 230 V) ir termovizoriumi fiksuojant ekrano vaizdą.

#### Atlikta analizė:

- Šildytuvų galios priklausomybės nuo maitinimo įtampos grafinių charakteristikų ir empirinių formulių nustatymas (3.4 lentelė).
- Termografinių vaizdų apdorojimas ir vidutinės temperatūros ekrano plote skaičiavimas.
- Šildytuvų elektrinių ir šiluminių charakteristikų palyginimas.
- Kaitinimo elemento efektyvumas.

Darbo eiga:

Tyrimo metu buvo naudojamos 6 skirtingos lempos, kurios sugrupuotos į didesnio galingumo lempos 1500 W ir mažesnio galingumo 1200 W. Buvo išskirti ir lempų kaitinimo elementai: halogeninis, keramikinis ir anglies pluošto. Visi kaitinimo elementai pasirinkti iš vidutinio nuotolio bangų spektro. Šio grupavimo esmė nustatyti, kuris iš kaitinimo elementų šilumą skleidžia geriausiai.

Tyrimo metu naudoti šildytuvai:

**3.1 lentelė.** Tyrimo metu naudoti šildytuvai

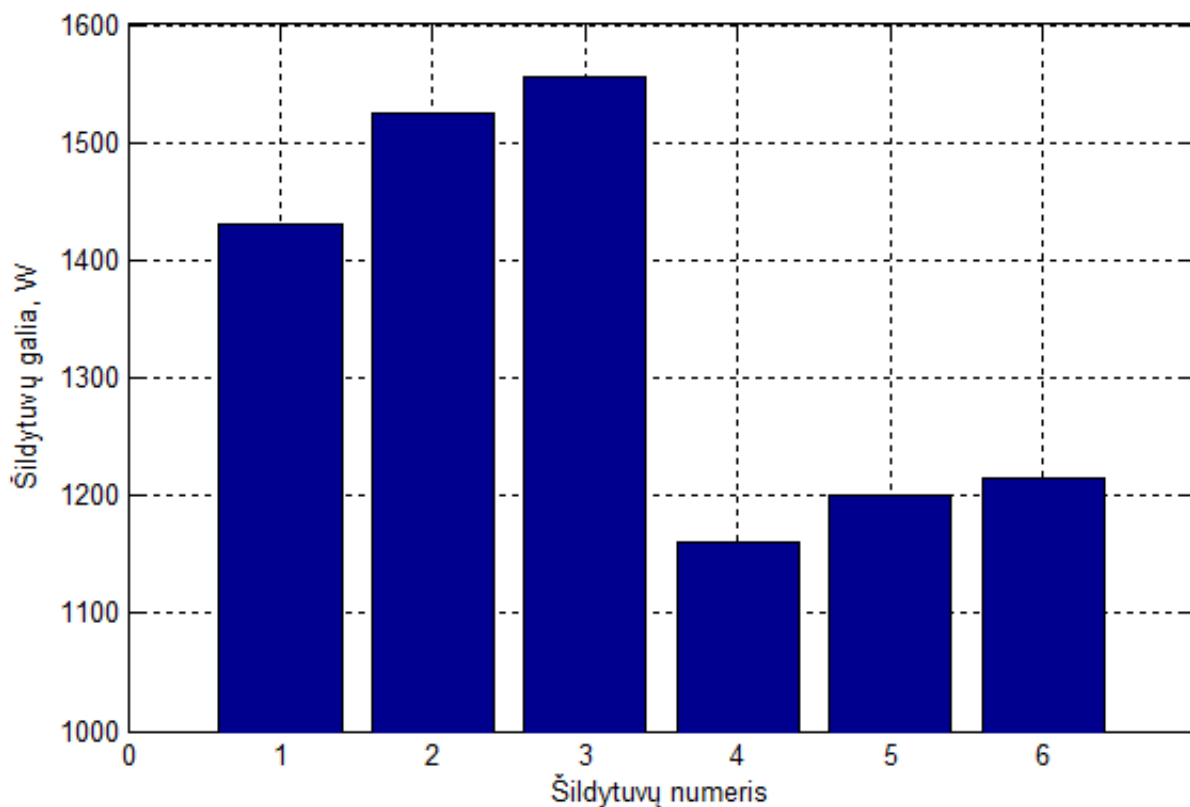
Šildytuvo nr.	Gamintojų nurodyta šildytuvo galia, W	Kaitinimo elemento tipas
1	1500	Halogeninis
2	1500	Keramikinis
3	1500	Anglies pluošto
4	1200	Halogeninis
5	1200	Keramikinis
6	1200	Anglies pluošto

Šildytuvų galios matavimas keičiant maitinimo įtampą:

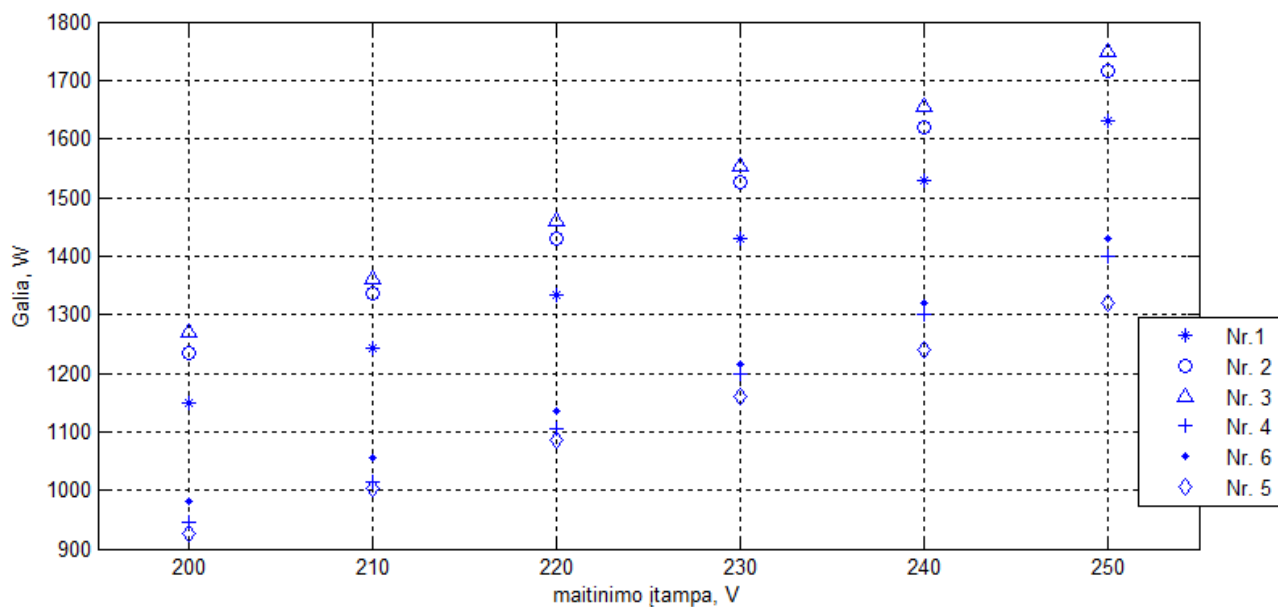
**3.2 lentelė.** Šildytuvų elektrinės galios esant skirtingoms maitinimo įtampoms

Šildytuvo nr.	Gamintojo galia, W	Išmatuota galia, W					
		200 V	210 V	220 V	230 V	240 V	250V
1	1500	1150	1243	1333	1430	1528	1630
2	1500	1235	1337	1430	1525	1620	1715
3	1500	1270	1360	1460	1555	1655	1750
4	1200	925	1004	1085	1160	1240	1320
5	1200	945	1015	1105	1200	1300	1400
6	1200	980	1055	1135	1215	1320	1430

Iš atliktų matavimų matyti, kad gamintojo nurodyta galia daugeliu atveju nesutampa su esančia. Mano atveju galima paklaida  $\pm 10\%$ .



3.1 pav. Šildytuvų elektrinės galios palyginimas, kai  $U_{\text{mait}} = 230\text{V}$



3.2 pav. Šildytuvų elektrinės galios priklausomybė nuo maitinimo įtamos

Norint sužinoti galios skaičiavimo empirine formule, mums reikia sužinoti šildytuvo varžą prie tam tikros maitinimo įtamos ir galios. Tam naudojama formulė:

$$P = U^2/R; \quad (3.1)$$

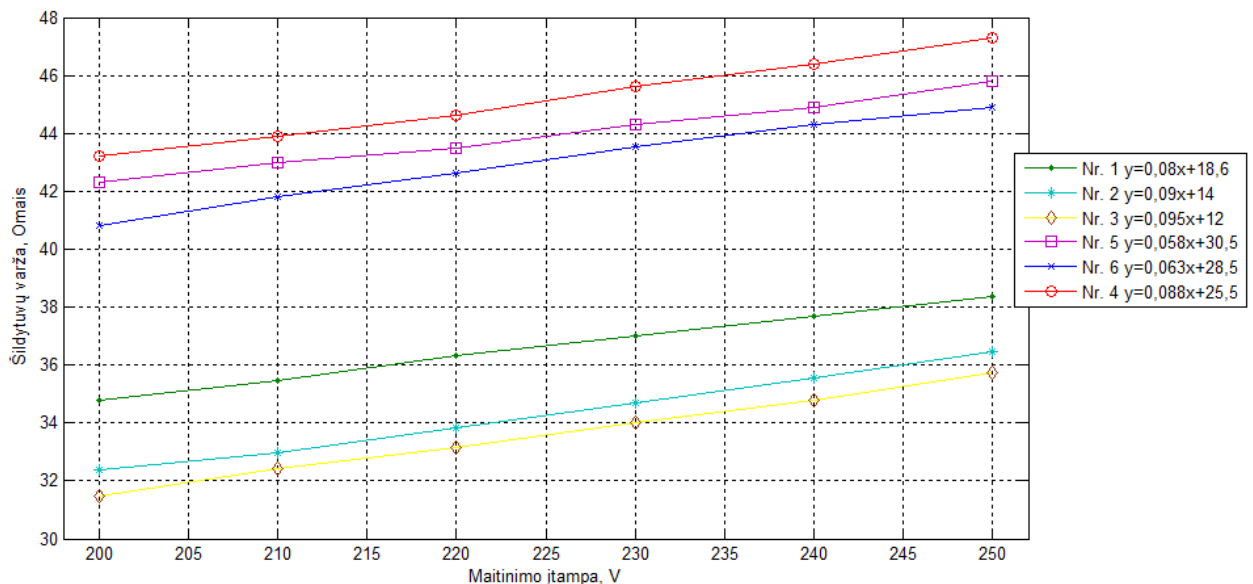
$$R = U^2/P \quad (3.2)$$

Formule įrašius į *Excel* programą gautos vertės parodytos 3.3 lentelėje.

**3.3 lentelė.** Šildytuvų varžos

Šildytuvo Nr.	Šildytuvų varžos prie skirtingų maitinimų, $\Omega$					
	200 V	210 V	220 V	230 V	240 V	250 V
1	35	35,5	36,3	37	37,7	38,3
2	32	33	33,8	34,7	35,6	36,4
3	31	32,4	33,2	34	34,8	35,7
4	43	43,9	44,6	45,6	46,5	47,3
5	42	43,4	43,8	44,1	44,3	44,6
6	41	41,8	42,6	43,5	43,6	43,7

Toliau norint gauti tikslią empirinę formulę ieškome varžos tiesinės priklausomybės nuo maitinimo įtampos.



**3.3 pav.** Šildytuvų elektrinės varžos priklausomybė nuo maitinimo įtampos

Gavus tiesinę priklausomybę formules galime surašyti į 3.1 formulę. Taip gauname galios skaičiavimo empirinę formulę, kuria būtų galima panaudoti norint apskaičiuoti šildytuvo galia, žinant kokią maitinimo įtampą šildytuvas bus maitinamas.

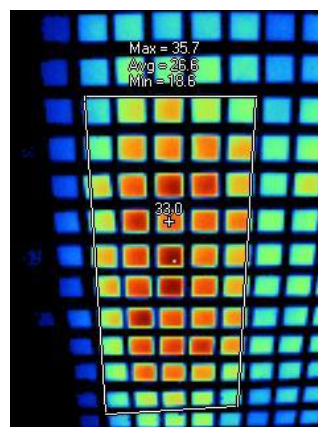
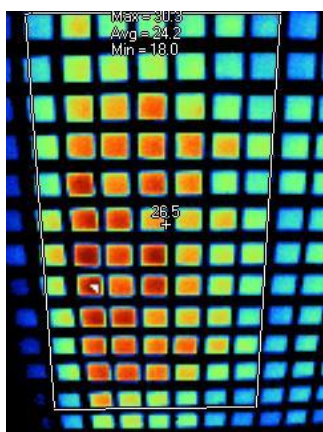


**3.4 lentelė.** Šildytuvų elektrinės galios esant skirtingoms maitinimo įtampoms su galios skaičiavimo empirine formule.

Šildytuvo nr.	Galios skaičiavimo empirinė formulė	Išmatuota galia, W					
		200 V	210 V	220 V	230 V	240 V	250V
1	$P = \frac{U^2}{0.080U + 18,6}$	1150	1243	1333	1430	1528	1630
2	$P = \frac{U^2}{0.090U + 14}$	1235	1337	1430	1525	1620	1715
3	$P = \frac{U^2}{0.095U + 12}$	1270	1360	1460	1555	1655	1750
4	$P = \frac{U^2}{0.088U + 25,5}$	925	1004	1085	1160	1240	1320
5	$P = \frac{U^2}{0.058U + 30,5}$	945	1015	1105	1200	1300	1400
6	$P = \frac{U^2}{0.063U + 28,5}$	980	1055	1135	1215	1320	1430

Atliekant šilumos perdavimo ekranui analizę, išskirti tokie aktyvūs plotai:

- 12x7 plokštelių (1.5x1 m) – atstumas nuo šildytuvo iki ekrano yra 2 m (3.4 pav. a).
- 10x5 plokštelių (1.25x0.7 m) – atstumas nuo šildytuvo iki ekrano yra 1.5 m (3.4 pav. b).

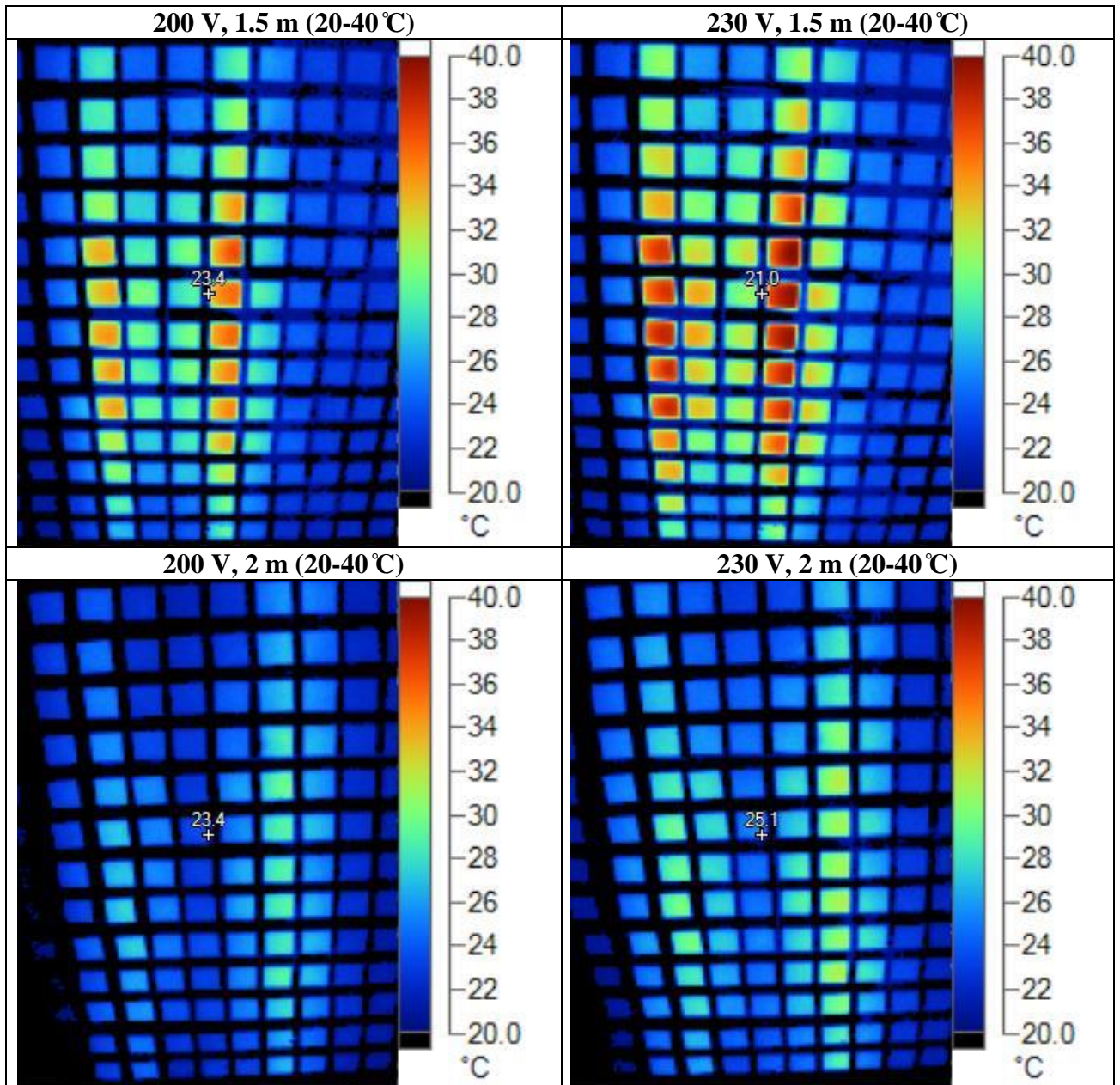


a) b)

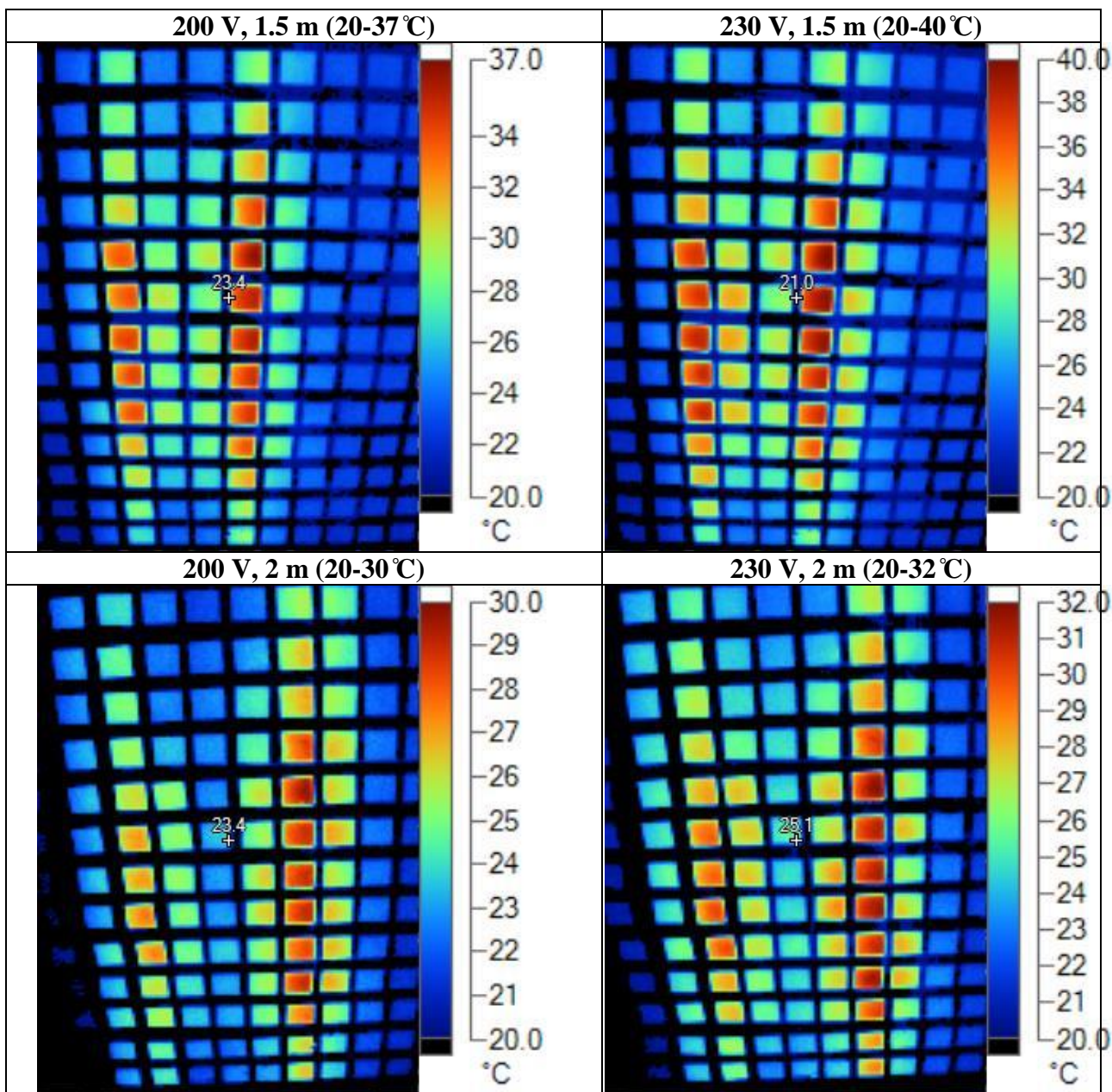
**3.4 pav.** Ekranu termografinė vaizdai ir vidutinės temperatūros skaičiavimo plotas (atstumas nuo šildytuvo iki ekrano: a – 2 m, b – 1.5 m)

Toliau bus pateiktos termografinės kiekvieno šildytuvo nuotraukos, kai maitinimas 200 V ir 230V, atstumas 1,5 m ir 2 m. Nuotraukos buvo daromos kai intervalas fiksuotas (20-40°C) ir kai nefiksuotas.

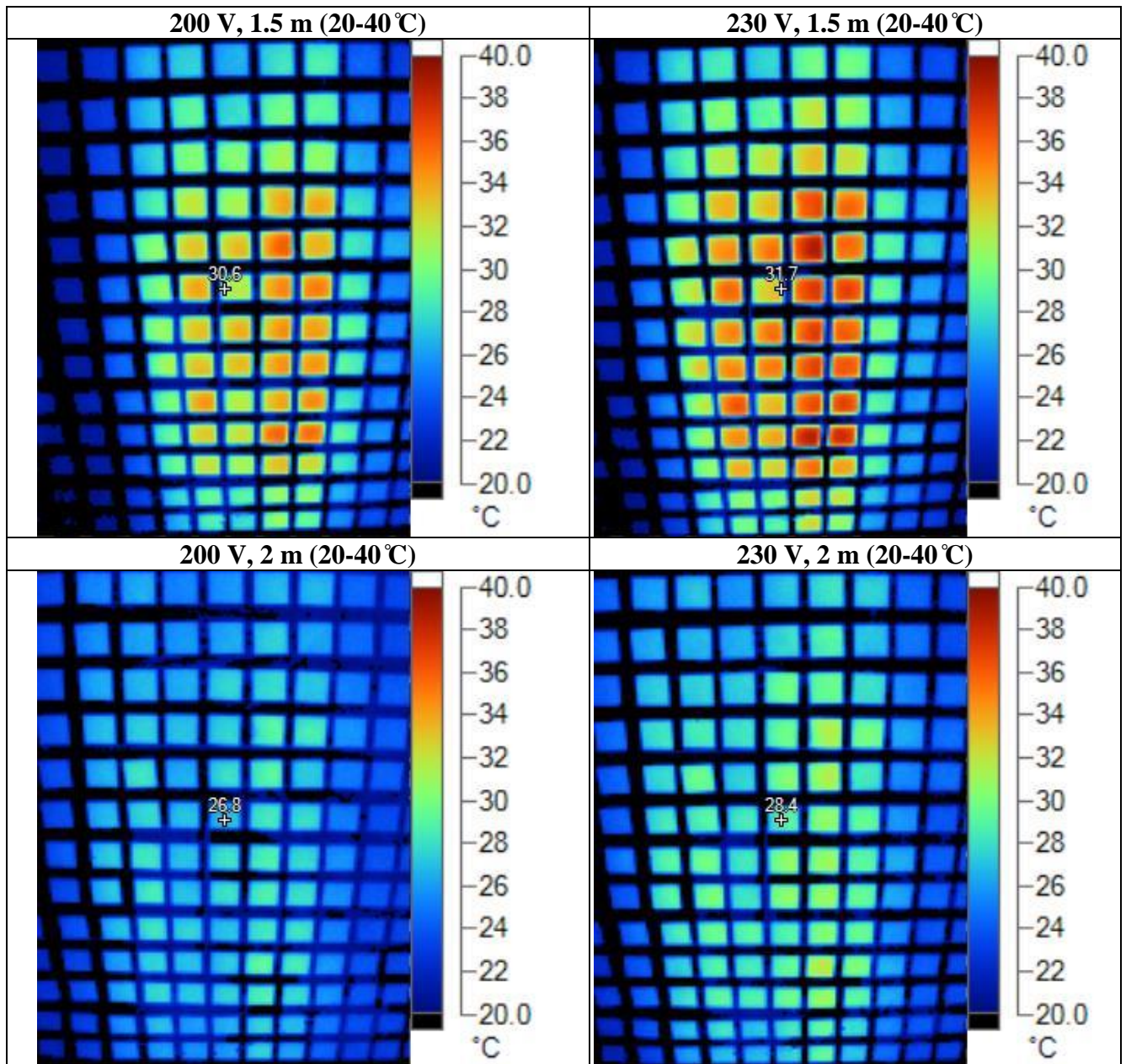
**3.5 a lentelė.** Šildytuvo NR.2 spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksuotas temp. intervalas)



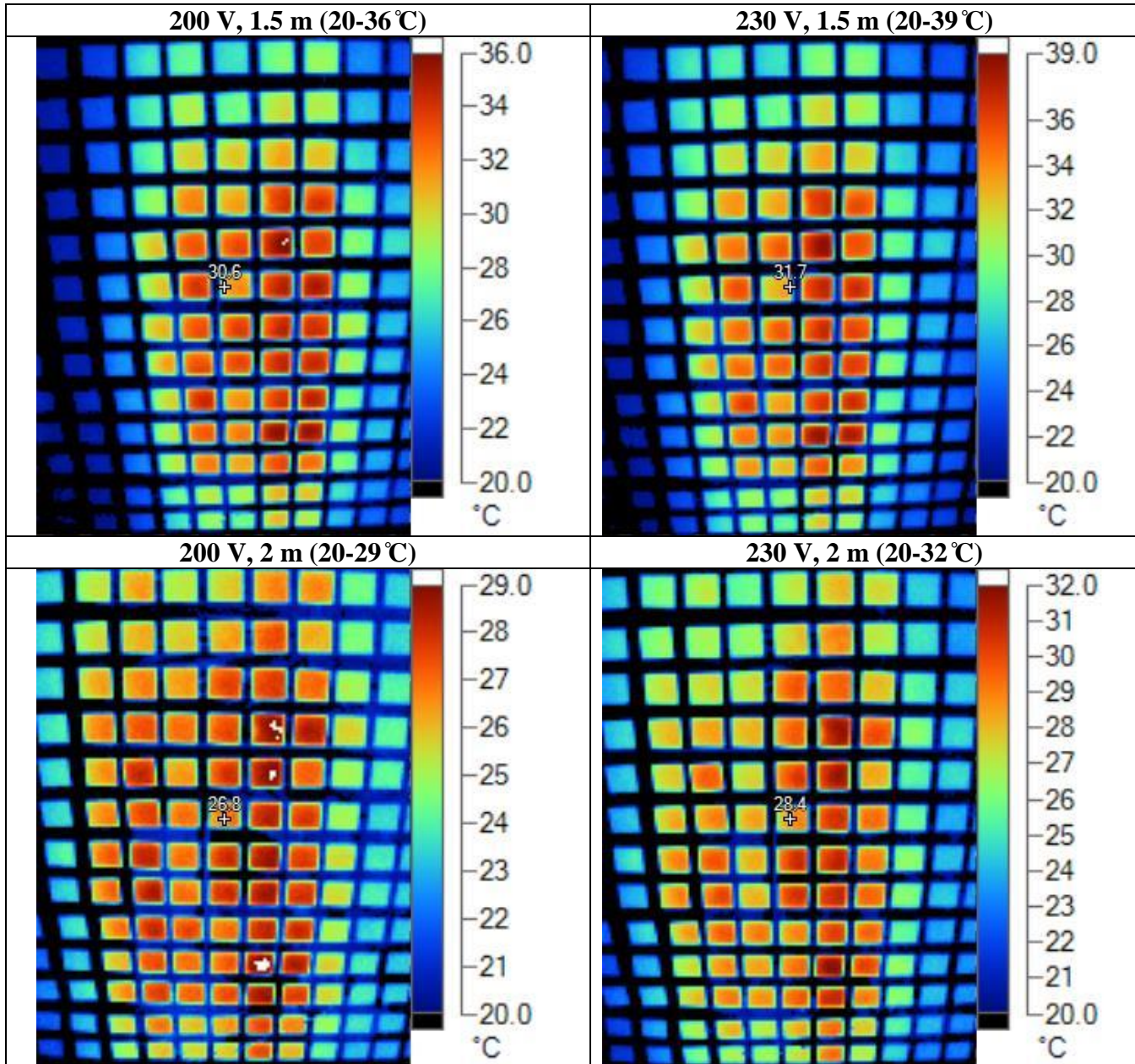
3.5 b lentelė. Šildytuvo NR.2 spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas)



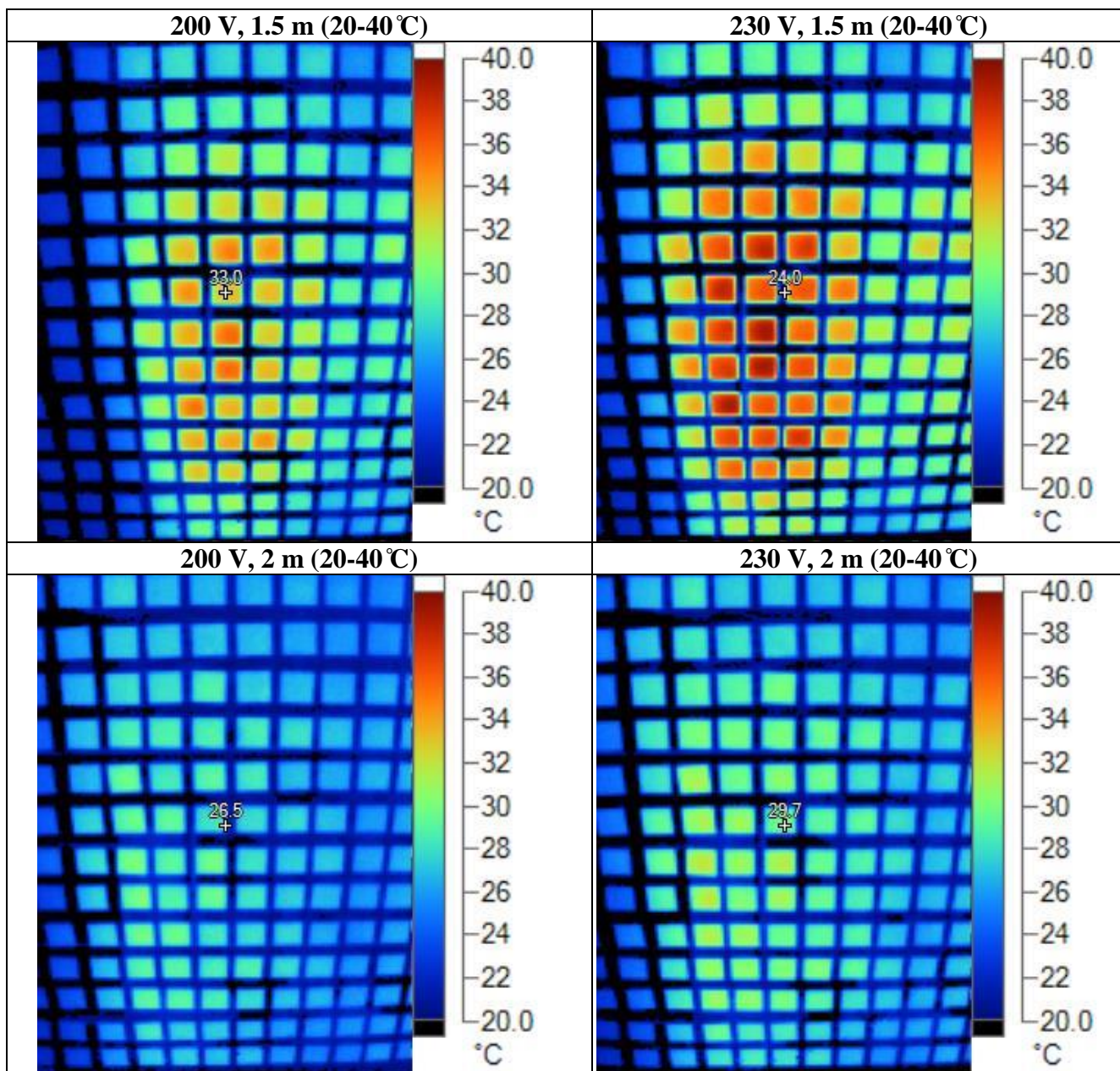
3.6 a lentelė. Šildytuvo NR.3 spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas)



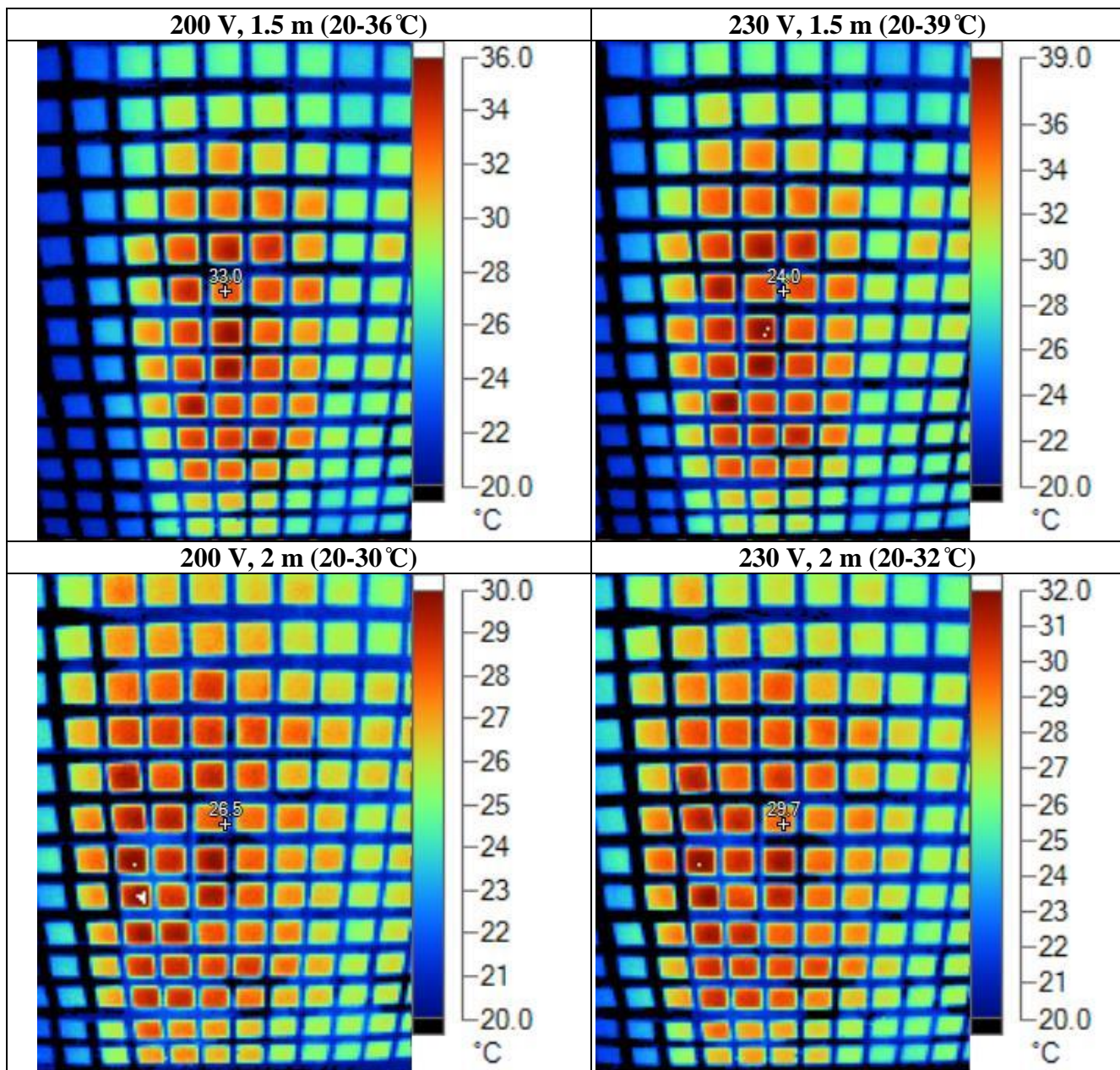
**3.6 b lentelė.** Šildytuvo NR.3 spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas)



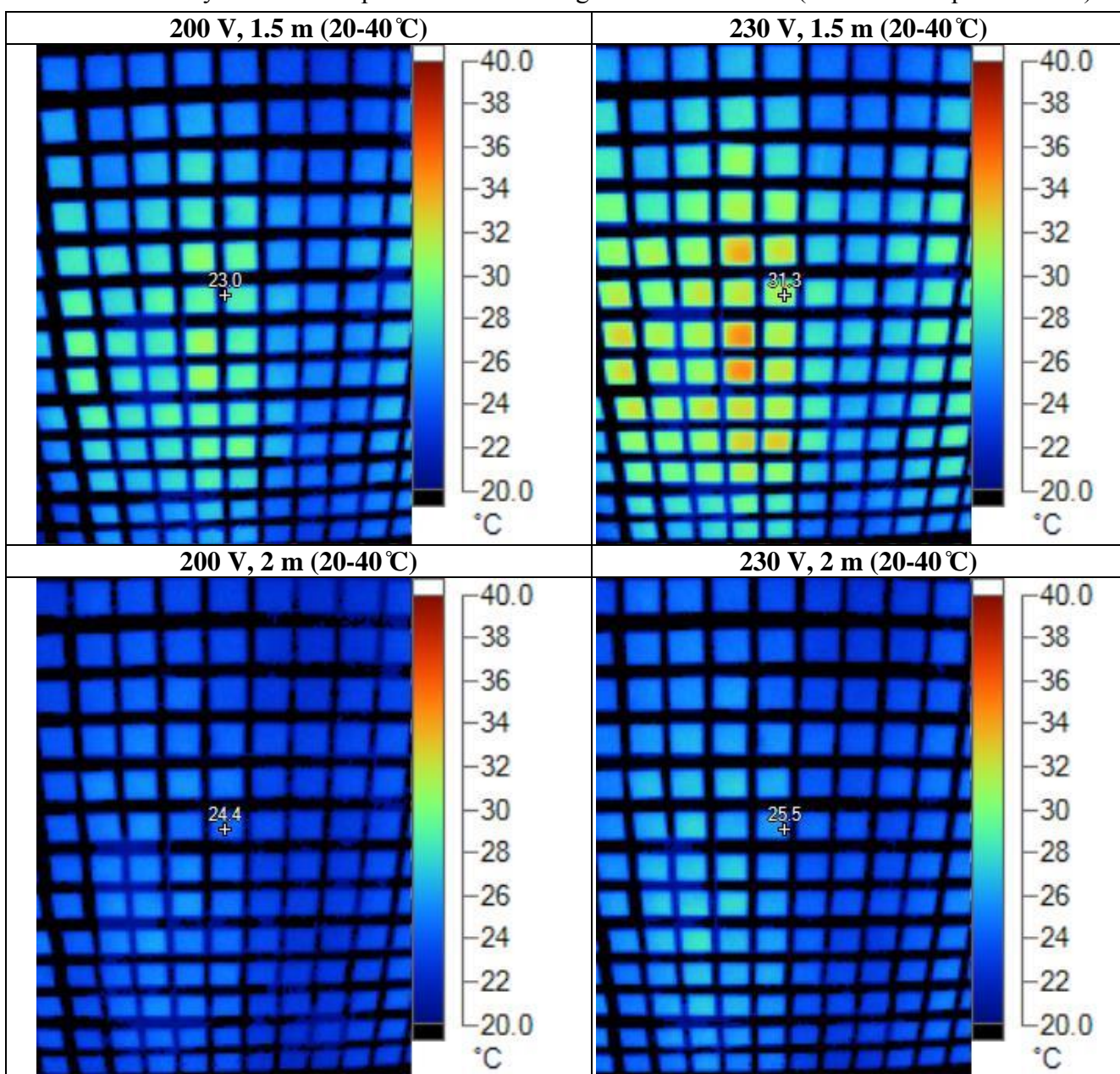
3.7 a lentelė. Šildytuvo NR.1 spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas)



3.7 b lentelė. Šildytuvo NR.1 spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas)

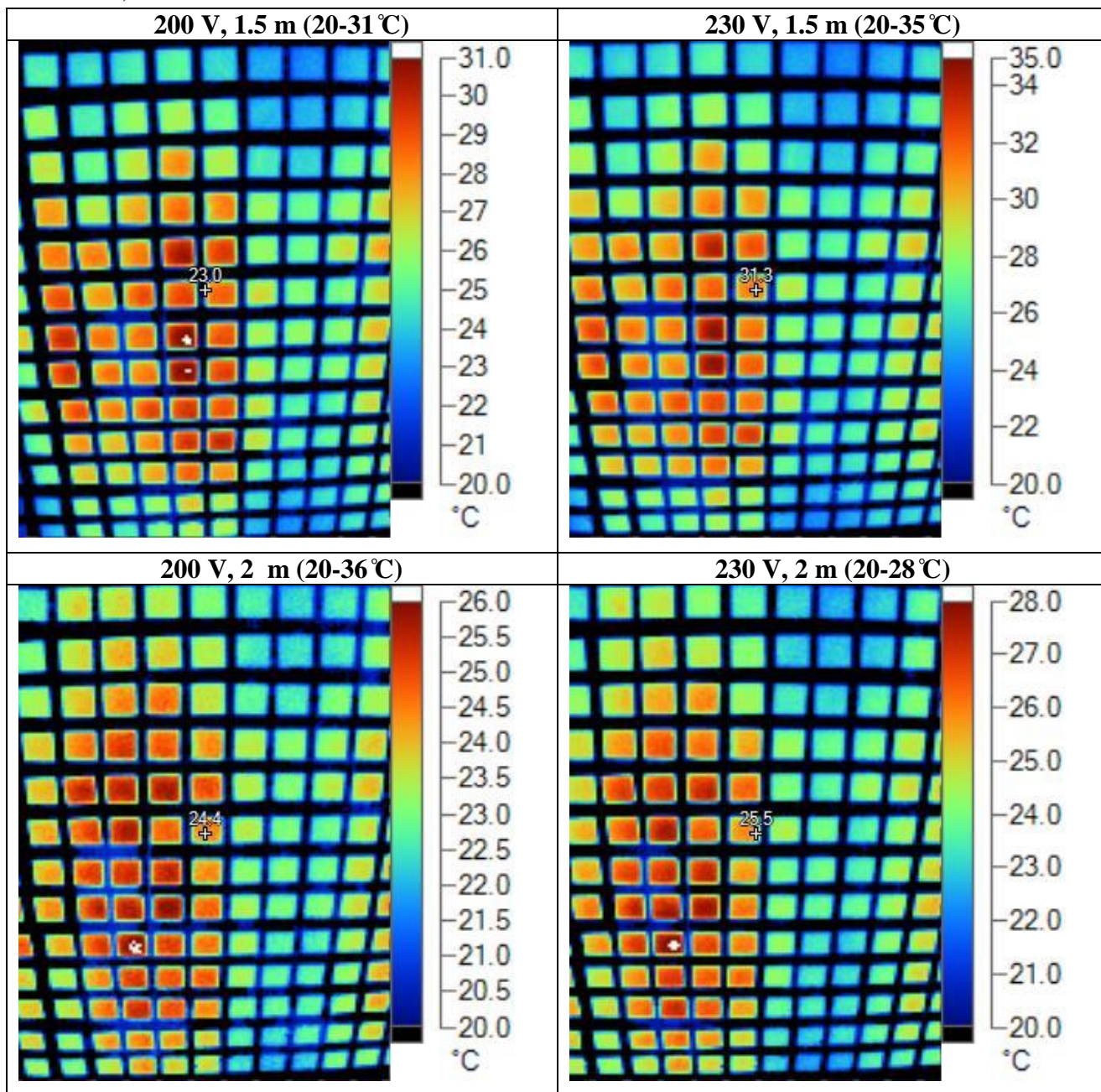


3.8 a lentelė. Šildytuvo NR.6 spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas)

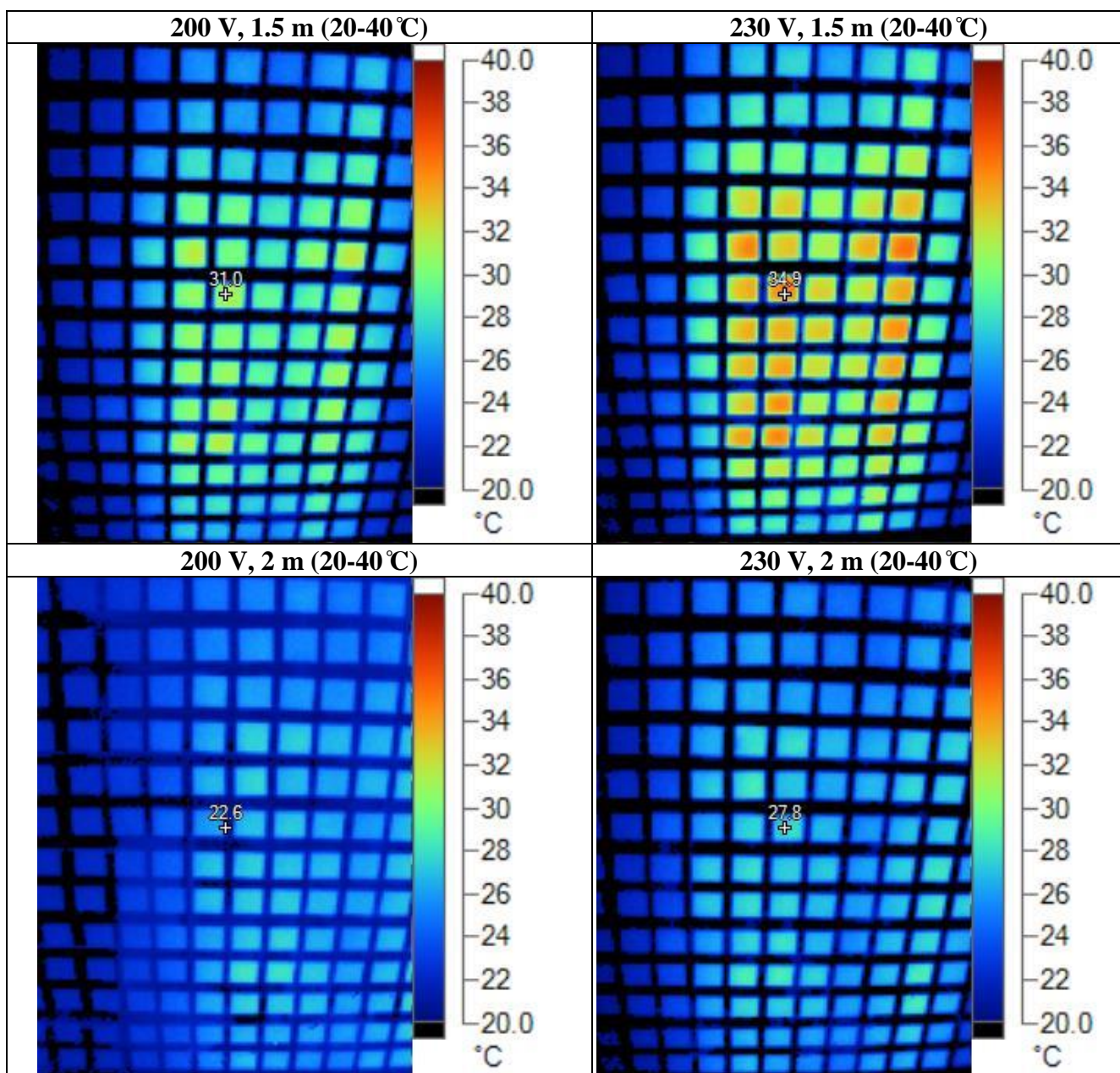




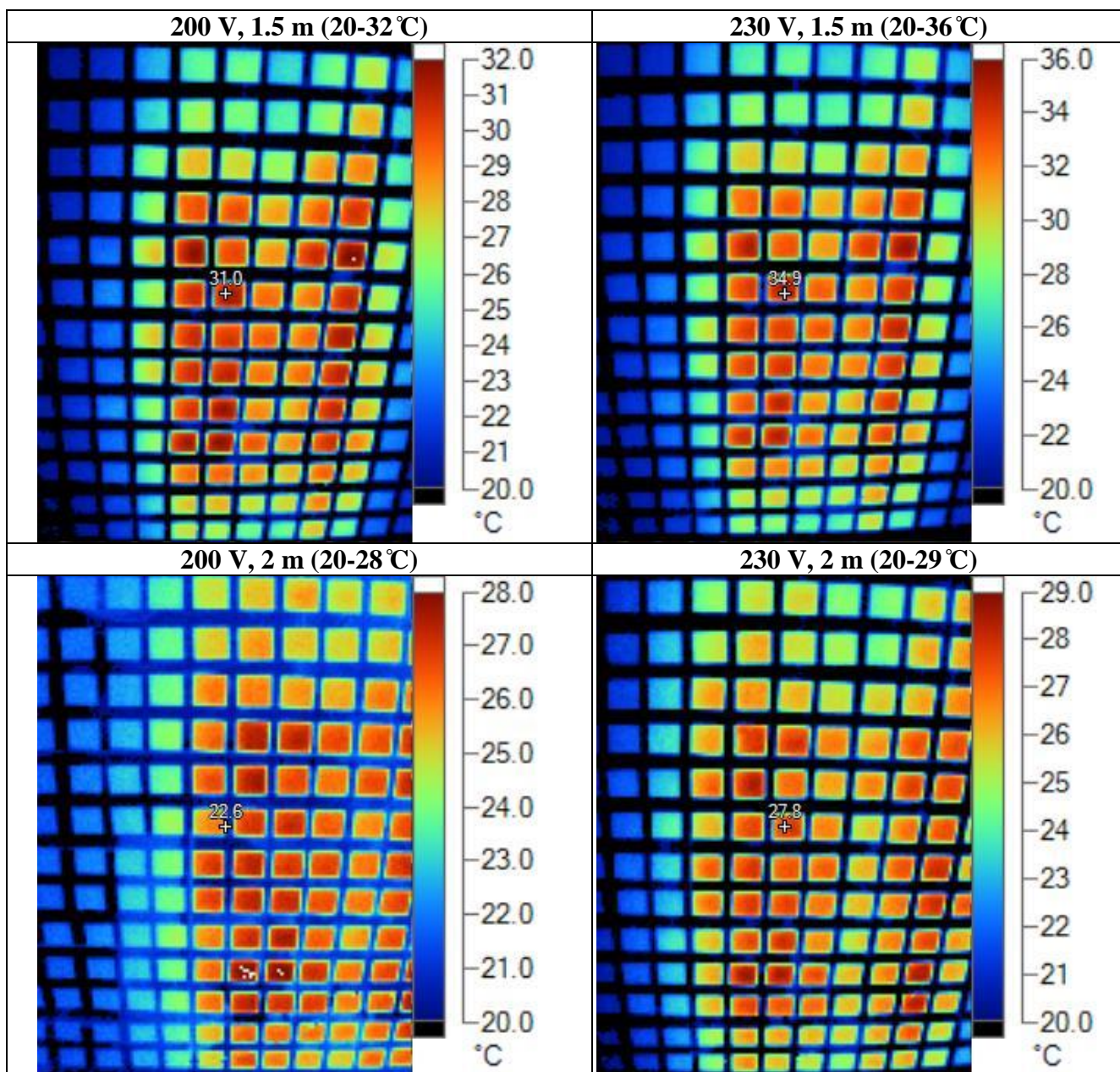
**3.8 b lentelė.** Šildytuvo NR.6 spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas)



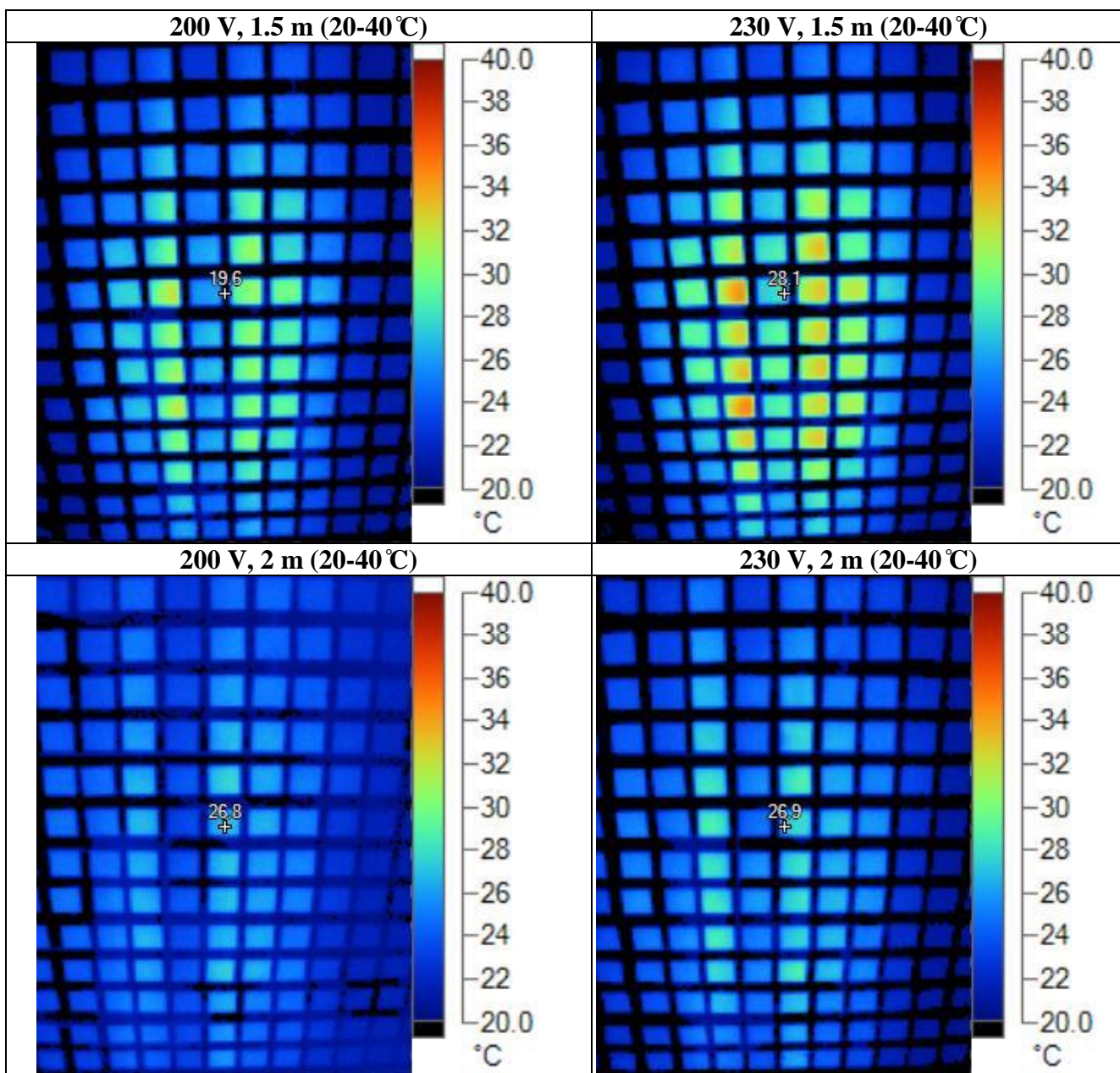
3.9 a lentelė. Šildytuvo NR.4 spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas)



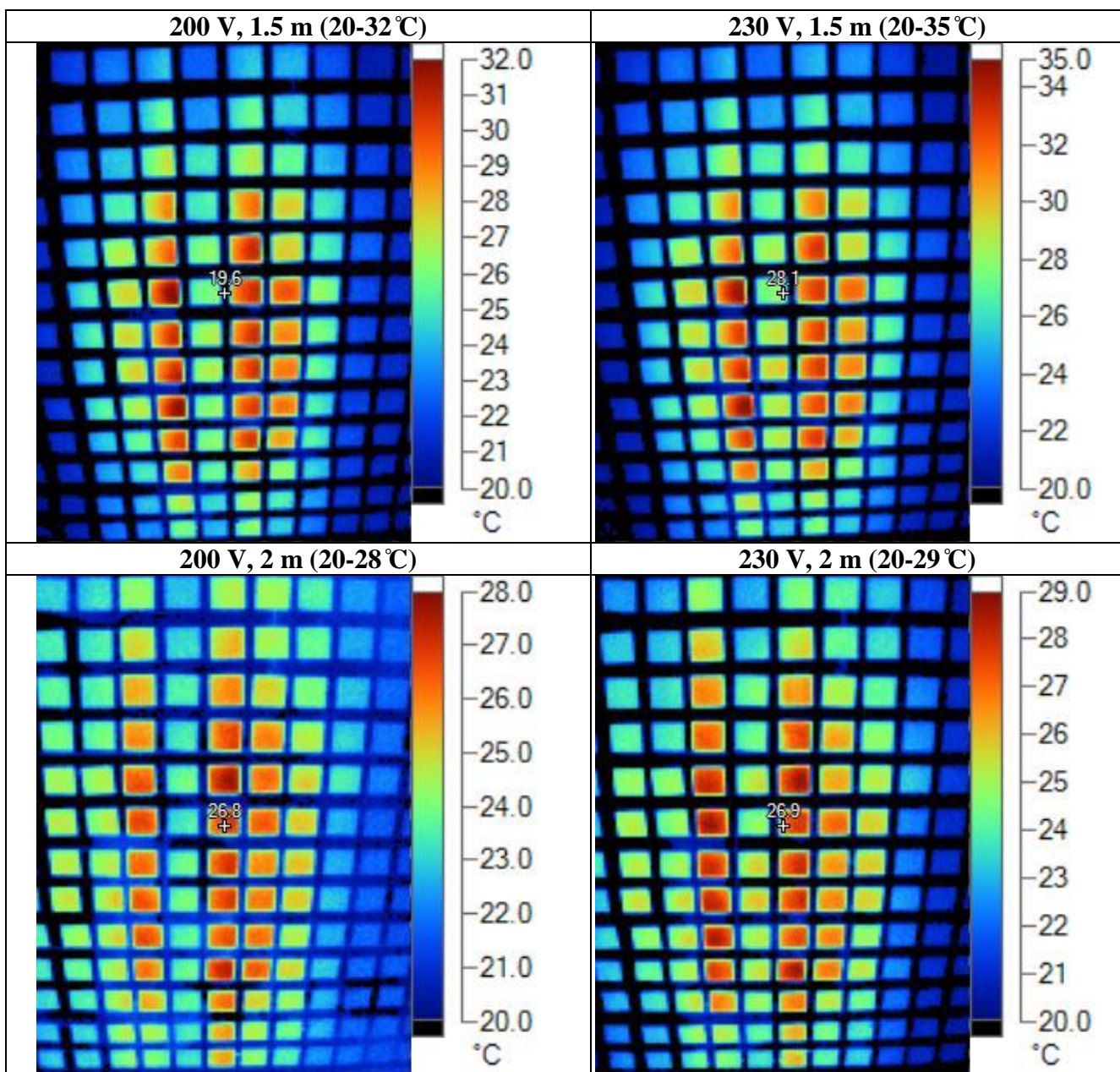
3.9 b lentelė. Šildytuvo NR.4 spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas)



**3.10 a lentelė.** Šildytuvo NR.5 spinduliavimo termografinės nuotraukos (fiksotas temp. intervalas)

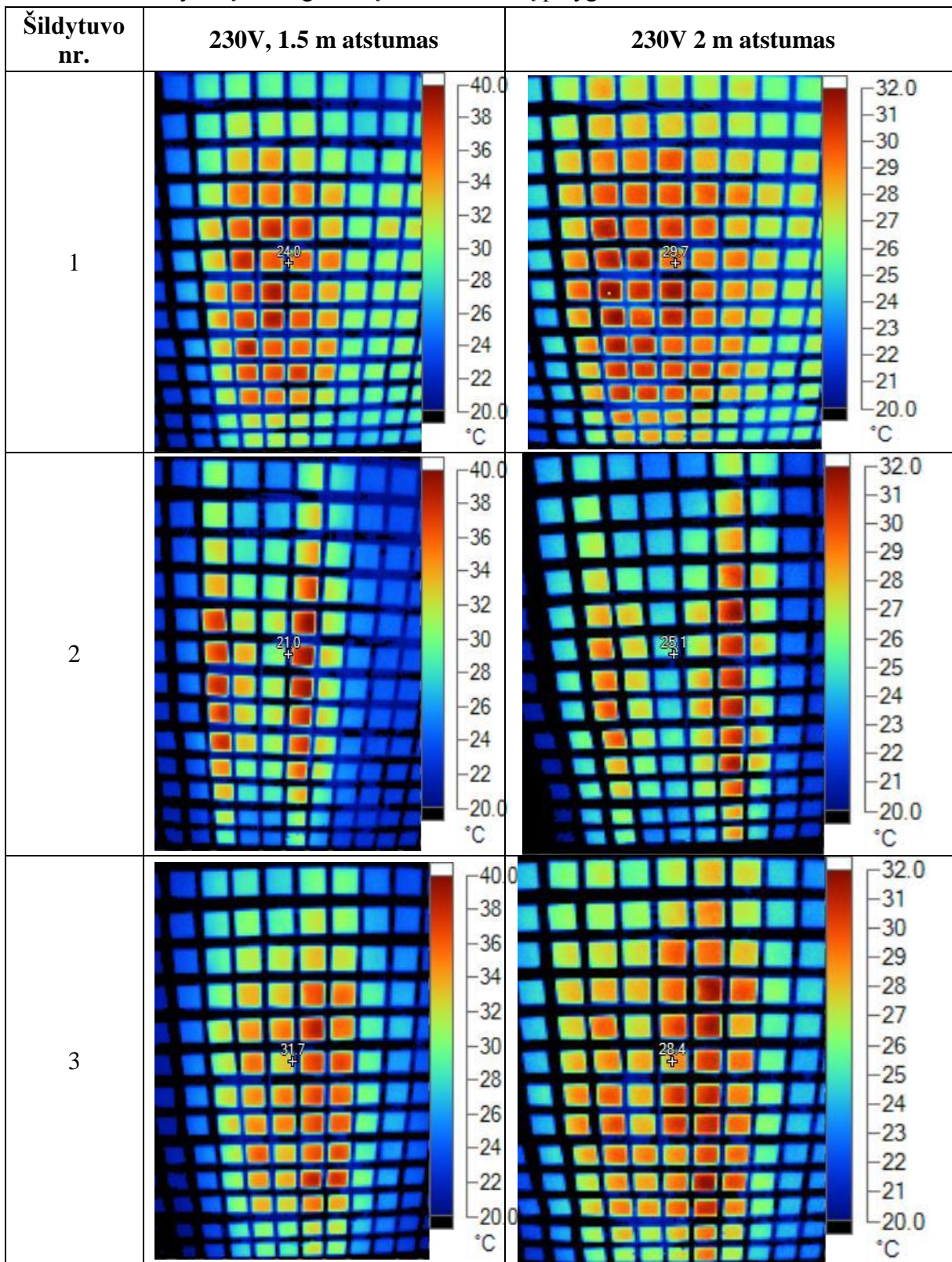


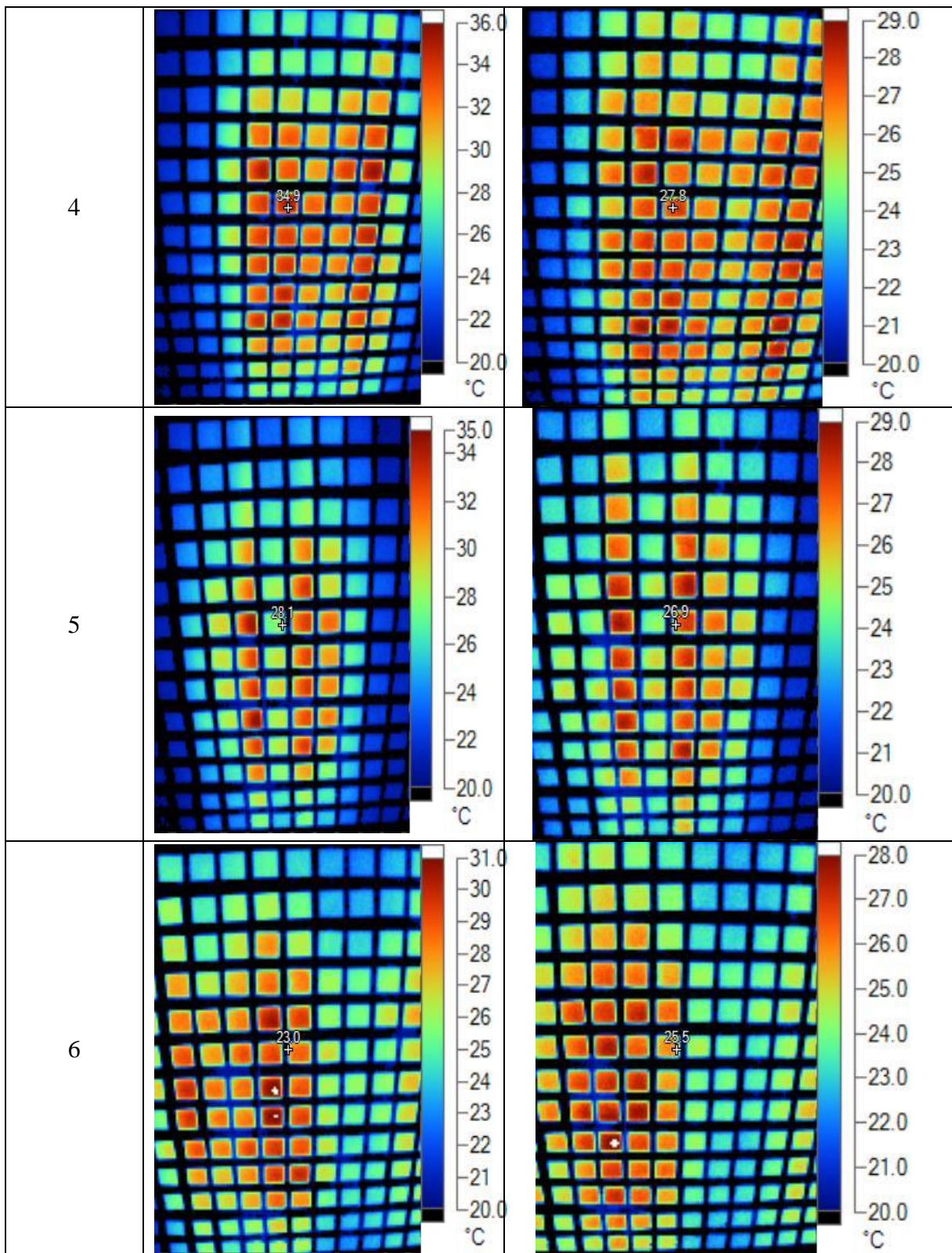
**3.10 b lentelė.** Šildytuvo NR.5 spinduliavimo termografinės nuotraukos (adaptuotas temp. intervalas)



Šildytuvų termografinių charakteristikų palyginimas, esant maitinimui 230 V.

3.11 lentelė. Šildytuvų termografinių charakteristikų palyginimas



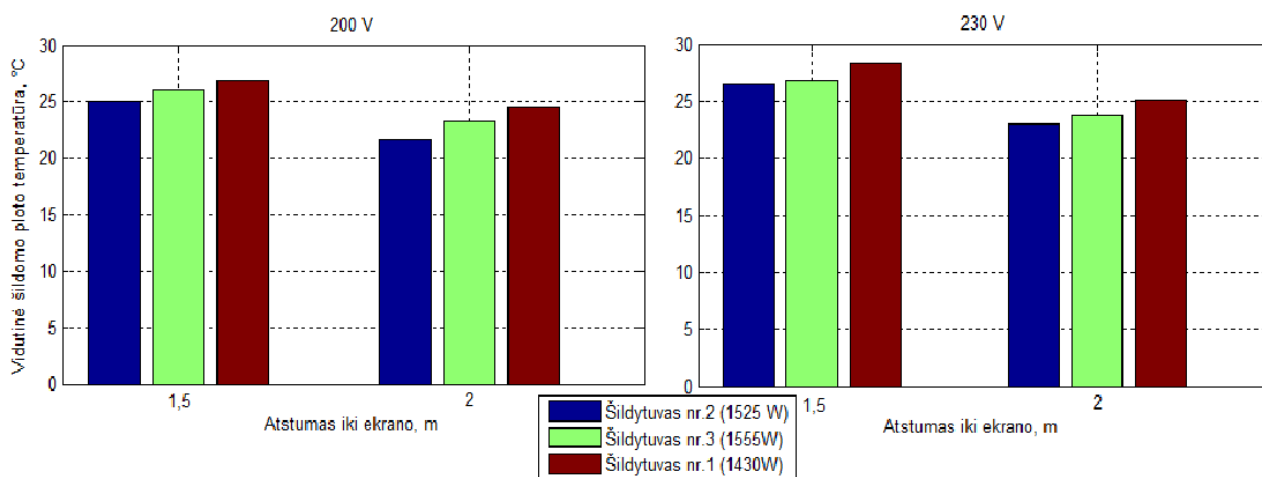


Gautus duomenis surašom į 3.12 lentelę.

3.12 lentelė. Šilumos perdavimo ekranui vidutinės temperatūros vertės

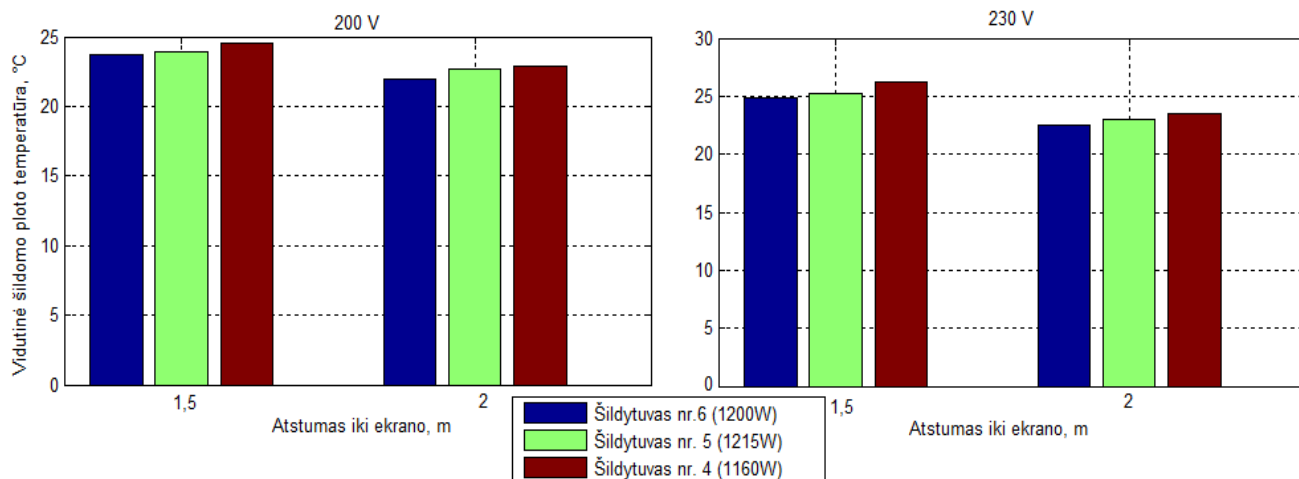
Šildytuvo nr.	Išmatuota šildytuvo galia, W	Ekranui vidutinė temperatūra, °C			
		200 V		230 V	
		1,5 m	2 m	1,5 m	2 m
1	1430	26,9	24,5	28,3	25,1
2	1525	25,0	21,7	26,5	23,0
3	1555	26,0	23,3	26,9	23,7
4	1160	24,5	22,9	26,2	23,5
5	1200	23,7	22,7	24,9	23,0
6	1215	23,9	22,0	25,2	22,5

Aiškesniam rezultatų supratimui viskas pateikta 3.5 pav. ir 3.6 pav. sugrupuojant šildytuvus pagal galią: 1200 W šildytuvai ir 1500 W galios šildytuvai.



3.5 pav. Šildytuvų palyginimo rezultatai, kai galia 1500 W





**3.6 pav.** Šildytuvų palyginimo rezultatai, kai galia 1200 W

Rezultatų apibendrinimas:

1. Eksperimento metu pastebėta, kad nurodyta galia dažniausiai būna didesnė, nei nominali galia, mano atveju gauta paklaida  $\pm 10\%$ , dėl to galima daryti išvadą, kad šildytuvas šildytu geriau, dažnu atveju tiesiog padidinama jo galia, o nurodoma mažesnė.

2. Lyginant elektrines charakteristikas buvo galima pamatyti, kad kylant maitinimo įtampai didėja ir varža, dėl to buvo sudarytos galio empirinės formulės, kurių dėka žinant šildytuvo maitinimo įtampą labai lengvai galime apskaičiuoti šildytuvo galia. Tai pat empirine formule galime panaudoti norint sužinoti tikslią šildytuvo galia, kai žinai savo tinklo maitinimą, nes daugeliu atveju šildytuvų galia nurodoma prie 230V, o realus maitinimas gali būti, nuo 200 V iki 250V. Iš 3.4 lentelės galime pastebėti, kad tai labai stipriai gali pakeisti realia šildytuvo galia, ji gali kisti net 200 W.

3. Lyginant galingesnių grupių šildytuvus geriausiai šildė šildytuvas NR.3, nors jo išmatuota galia buvo mažesnė net 10%. 1200 W grupėje geriausiai šildė šildytuvas NR.4, kurio galia buvo tai pat šiek tiek mažesnė, tai galėjo nulemti kaitinimo elementas, nes abiejų šildytuvų kaitinimo elementas buvo halogeninis.

4. Keičiant atstumą nuo šildytuvo iki šildomo ploto buvo galima pastebėti, kad visais atvejais arčiausiai esantis šildomas plotas įšyla stipriau, todėl perkant šildytuvą būtina atkreipti dėmesį į tai kokiame aukštyje jį reikia pakabinti siekiant apšildyti didžiausią plotą vienu šviestuvu.

5. Analizuojant termografines nuotraukas buvo pastebėta, kad daugelis šildytuvų šilumą koncentruoja, tik šildytuvai NR.1 ir NR.6 šilumą išsklaido. Tai pat matome, kad tolstant nuo šildytuvo šildomas plotas didėja, tai gali nulemti ir mažesne vidutine temperatūra šildytame plote,

tai priklauso nuo šildytuvo reflektoriaus ir kaitinimo elemento padėties reflektoriaus atžvilgiu, kadangi mano tyrimo metu nebuvo atsižvelgta į reflektoriaus forma ir kaitinimo elemento padėti platesnes išvadas sunku padaryti.

6. Taigi, šitas tyrimas parodė, kad geriausiai šildo halogeninis šildymo elementas, tačiau prie geresnio lempos šildymo dar gali prisidėti ir reflektoriaus forma, bei kaitinimo padėtis lemposje. Šiuo bandymo metu tai nebuvo analizuojama, todėl siekiant pažiūrėti, kuo svarbi reflektoriaus forma ir kaitinimo elemento padėtis lemposje buvo atliktas sekantis tyrimas.

### 3.2 Reflektoriaus šilumos atspindėjimo galimybės

Labai svarbu, kad reflektoriaus forma būtų tinkamos formos, o priklausomai nuo reflektoriaus formos būtų parinkta ir kaitinimo elemento vieta reflektoriuje, jei kaitinimo elemento vieta parinkta neteisingai gali būti, kad šiluma užsilaikys lemposje ir ji gali perkaisti. Todėl būtent šie du elementai yra patys svarbiausi norint tinkamai išnaudoti šildytuvo galia.[13]

Šių dienų rinkoje yra labai įvairių IR šildymo lempų. Jų paskirtis gali būti labai įvairi, todėl ir reflektoriaus formos gali būti įvairios. Dažniausiai naudojama reflektoriaus forma yra parabolė, tačiau ta pati parabolė gali turėti pačių įvairiausių formų. Taip pat atsiranda ir naujų formų tokių kaip trikampio formos, ar dvigubos parabolės. Kuo juos viena nuo kitos skiriasi pamatysime eksperimento metu.

#### Eksperimento tikslas:

- Reflektoriaus formos įtaka infraraudonųjų spindulių atspindėjime.
- Nustatyti geriausia kaitinimo elemento padėti reflektoriaus atžvilgiu.

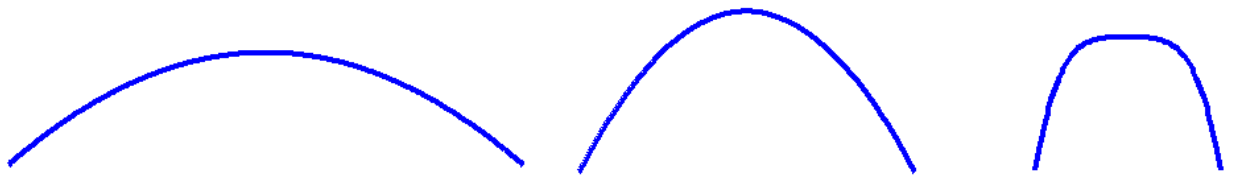
#### Naudota įranga:

- Eksperimentas buvo atliktas naudojant *Matlab* programinį paketą.(1 – 4 priedai)

#### Darbo eiga:

Programinėje įrangoje *Matlab* buvo suprogramuotas algoritmas, kuris leido keičiant kaitinimo elemento padėti reflektoriaus atžvilgiu stebėti kaip kinta atspindėjusių spindulių srautas.

Tyrimui buvo pasirinktos 5 skirtingos reflektoriaus formos pavaizduotos 3.7 pav. ir 3.8pav.



**3.7 pav.** Skirtingos parabolės formos reflektoriai



**3.8 pav.** Dvigubos parabolės ir trikampio formos reflektoriai

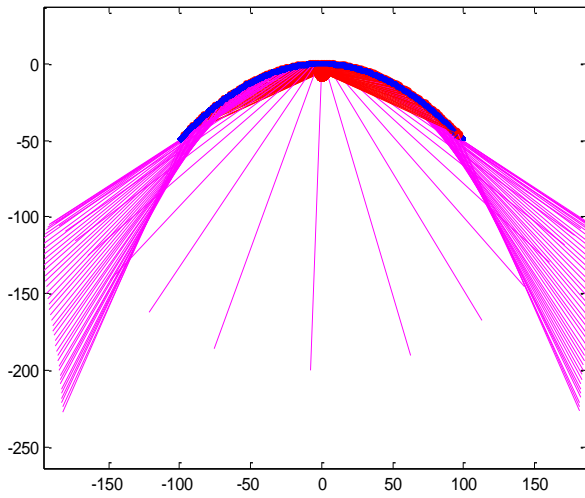
Tiriant kaitinimo elemento padėtį reflektoriuje buvo pasirinkti 4 skirtingi taškai, kaip pavaizduota 21 pav. vienas taškas prie reflektoriaus, kitas reflektoriaus pabaigoje ir du reflektoriaus viduryje.



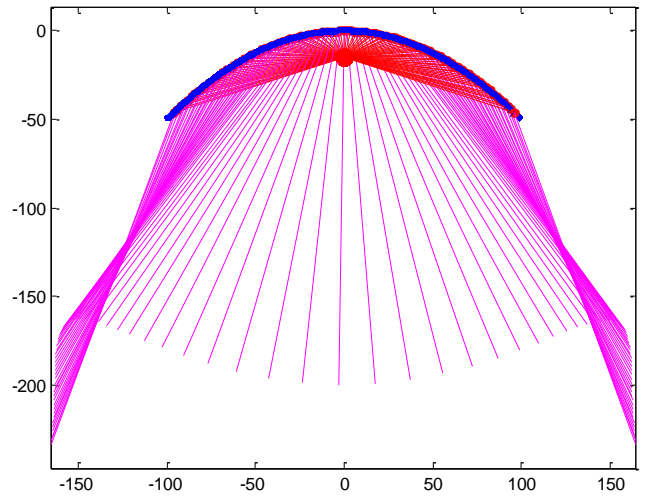
**3.9 pav.** Kaitinimo elemento tiriamos padėtys

Sekančiuose paveikslėliuose bus atvaizduoti visi minėti reflektoriaus ir visos minėtos kaitinimo elemento padėtys. Raudona spalva žymimi kaitinimo elemento spinduliai, violetine atsispindėję spinduliai. Reflektorių lengvesniam atskyrimui jie bus sunumeruoti nuo nr.1 iki nr.5.

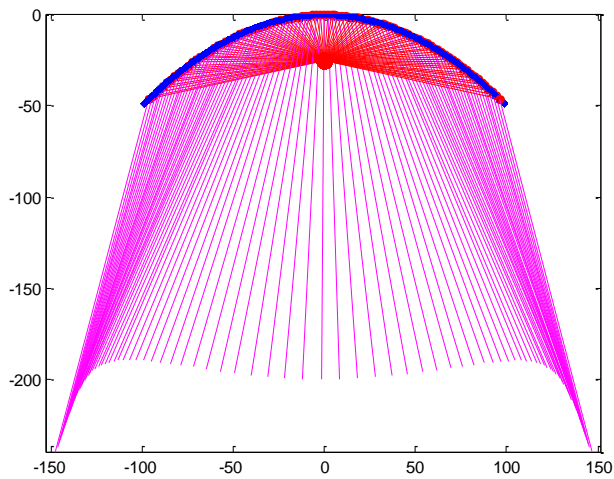
### Standartinės parabolės reflektoriaus grafikai (Nr.1)



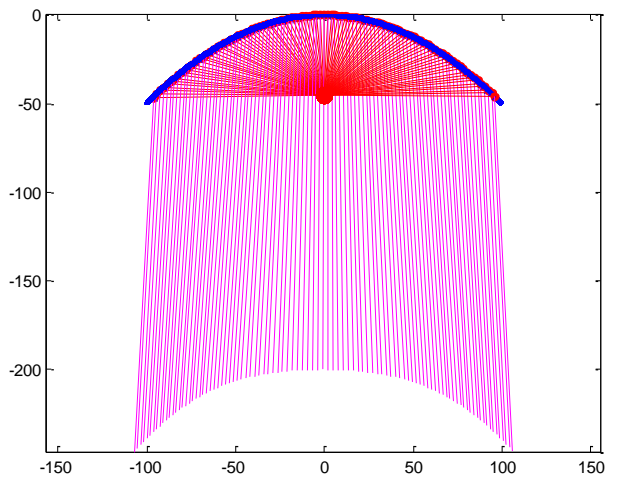
**3.10 pav.** Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje priekyje



**3.11 pav.** Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje

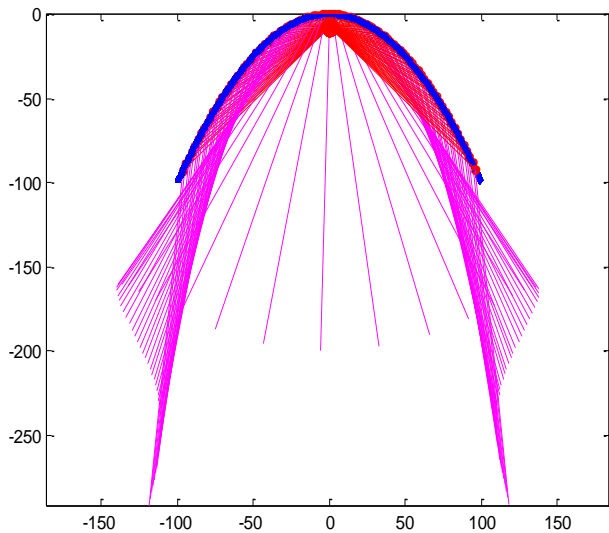


**3.12 pav.** Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje

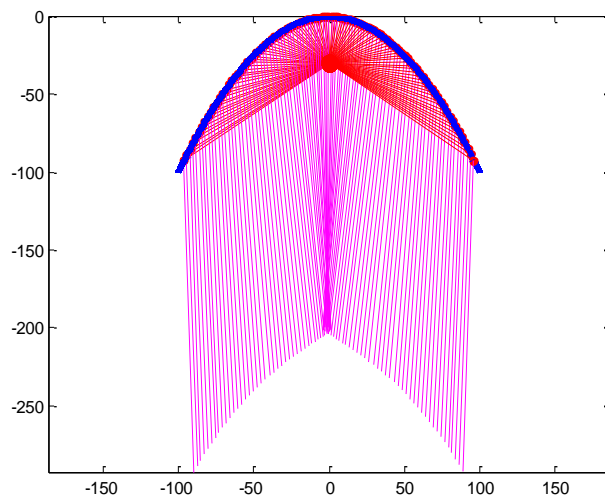


**3.14 pav.** Standartinės parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje apatinėje dalyje

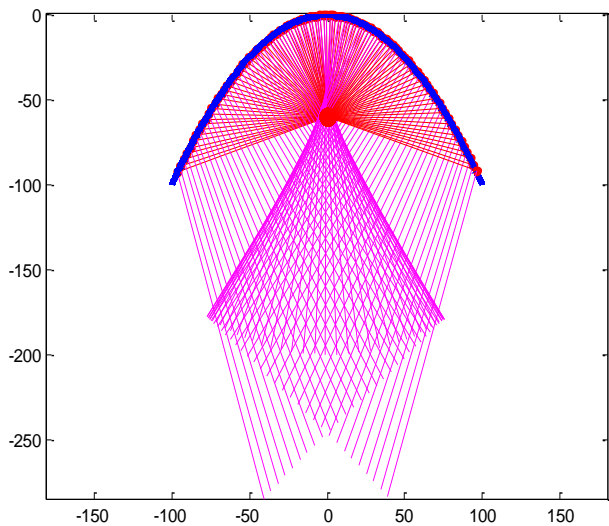
## Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus grafikai (Nr.2)



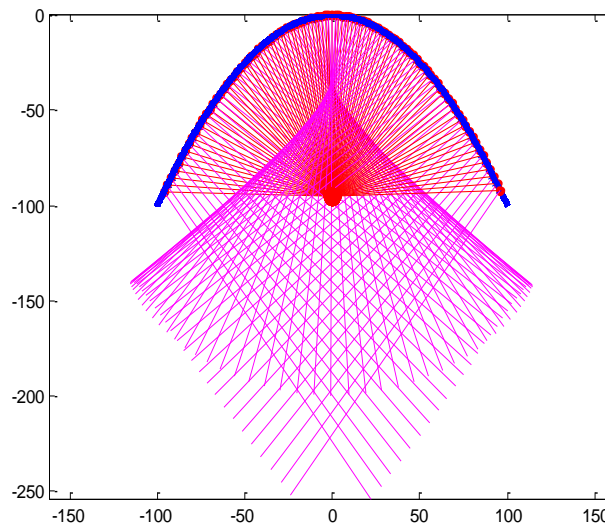
**3.15 pav.** Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atsispindėjimas, kai židinys prie reflektoriaus



**3.16 pav.** Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atsispindėjimas, kai židinys viduryje reflektoriaus

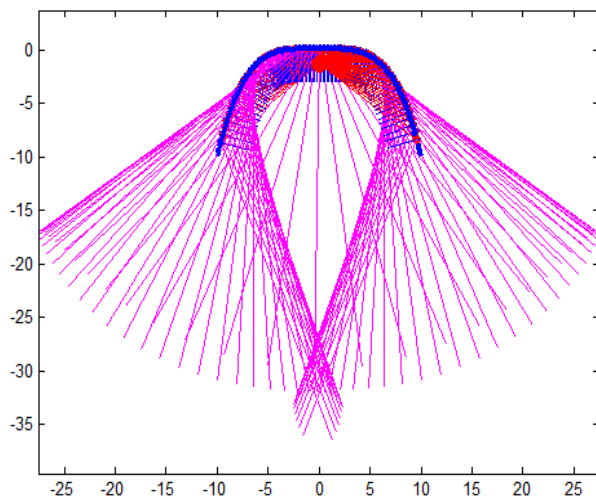


**3.17 pav.** Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atsispindėjimas, kai židinys viduryje reflektoriaus

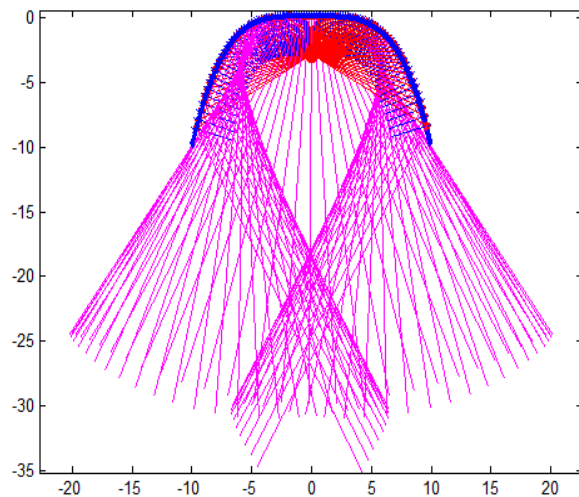


**3.18 pav.** Daugiau išlenktos parabolės reflektoriaus atsispindėjimas, kai židinys apatinėje reflektoriaus dalyje

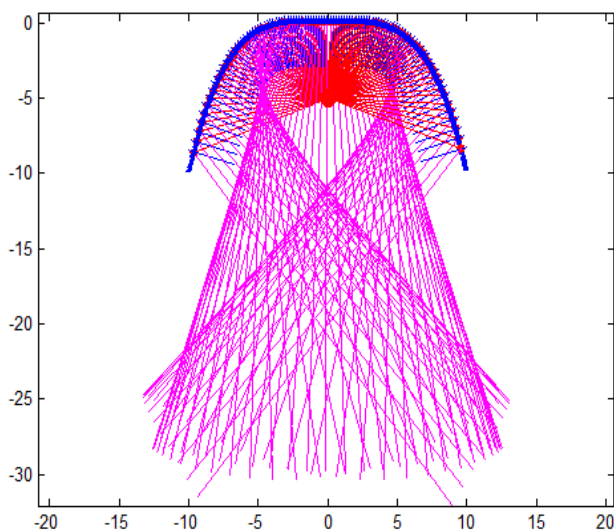
### Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus grafikai (Nr.3)



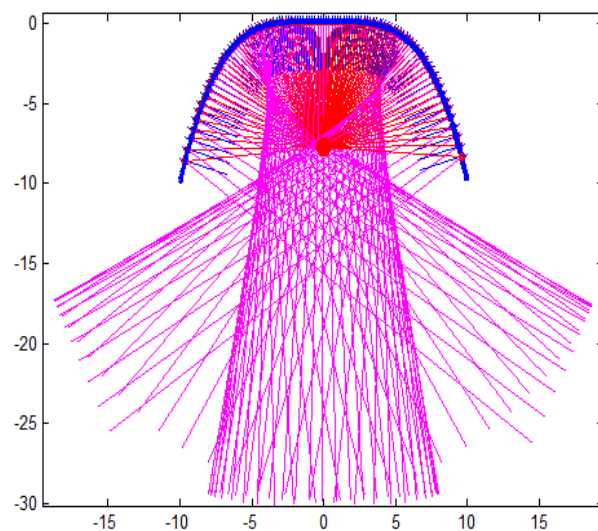
**3.19 pav.** Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje priekyje



**3.20 pav.** Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje

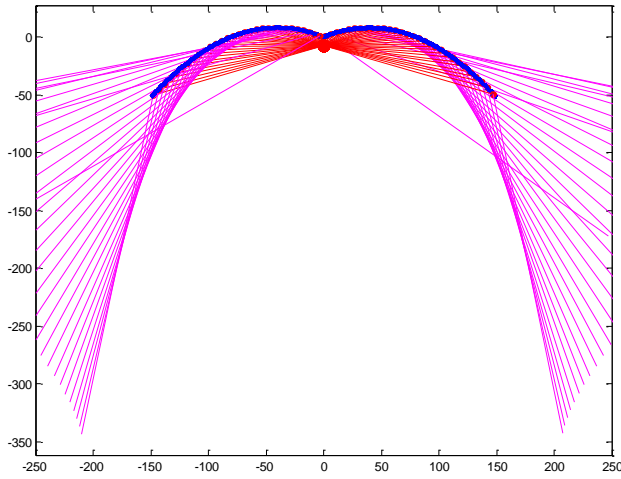


**3.21 pav.** Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje vidurinėje dalyje

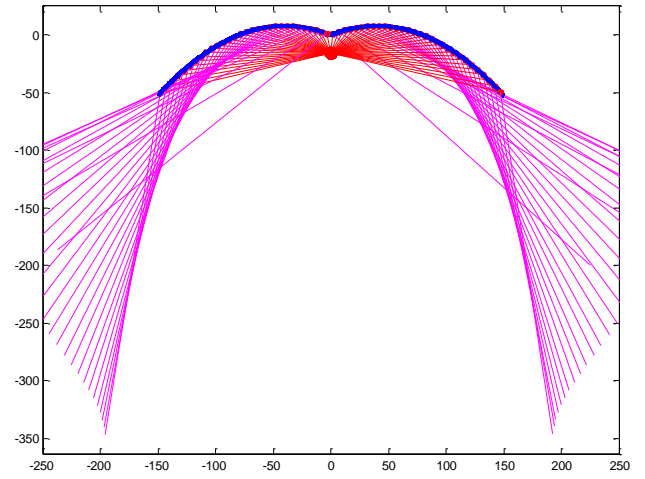


**3.22 pav.** Kvadratinės formos parabolės reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyje reflektoriaus apačioje

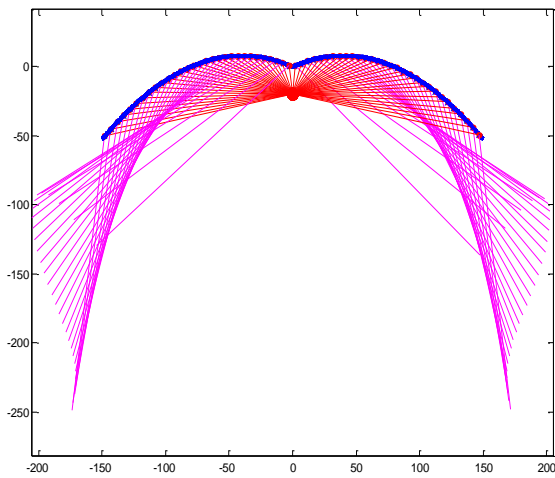
### Dvigubos parabolės reflektoriaus grafikai(Nr.4)



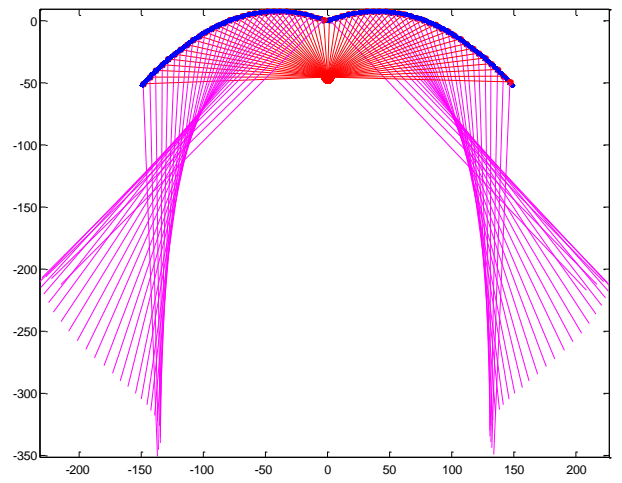
**3.23 pav.** Dvigubos parabolės formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyš prie reflektoriaus



**3.24 pav.** Dvigubos parabolės formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyš vidurinėje dalyje

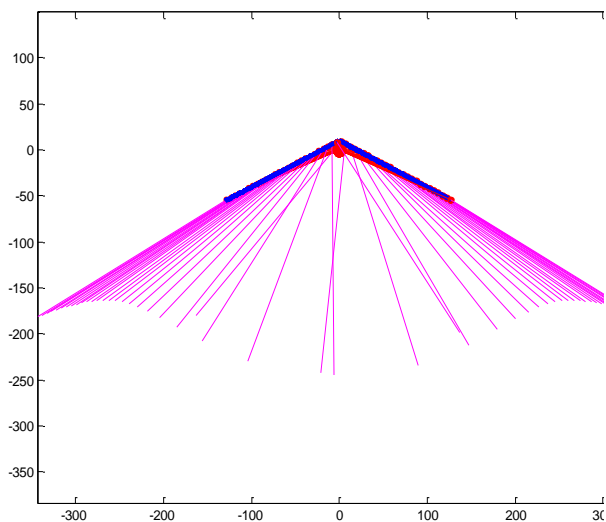


**3.25 pav.** Dvigubos parabolės formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyš vidurinėje dalyje

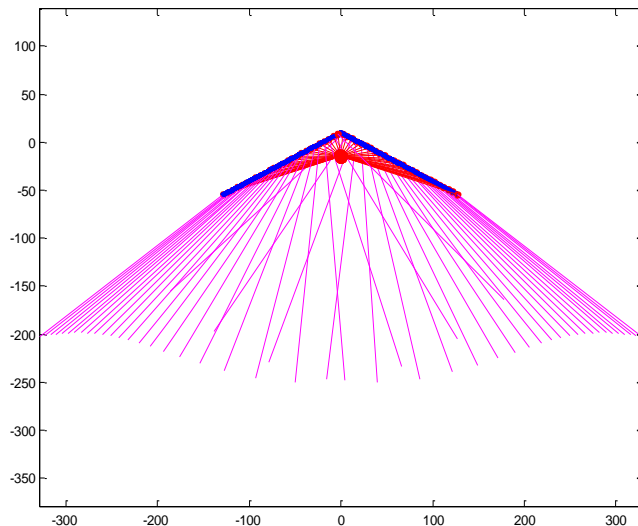


**3.26 pav.** Dvigubos parabolės formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židinyš apatinėje dalyje

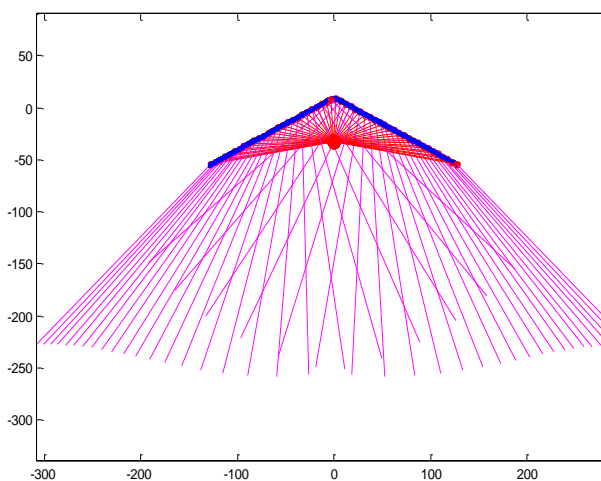
### Trikampio formas reflektoriaus grafikai(Nr.5)



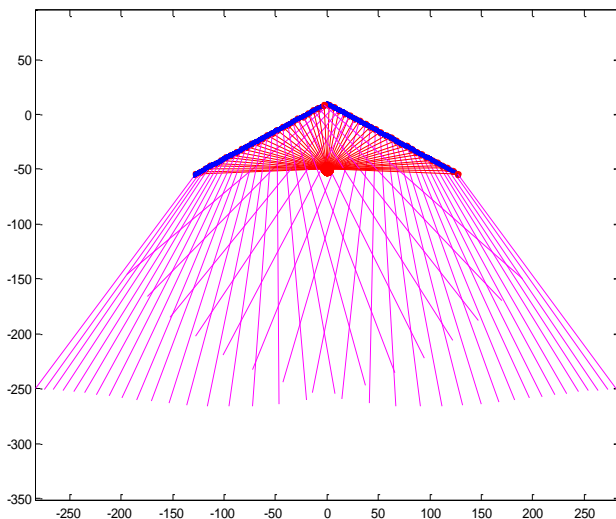
3.27 pav. Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židiny s viršuje



3.28 pav. Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židiny s vidurinėje dalyje



3.29 pav. Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židiny s vidurinėje dalyje



3.30 pav. Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimas, kai židiny s apatinėje dalyje



## Rezultatų apibendrinimas:

1. Geriausia matyti, kad židinio nuotoliui esant viršuje, atsispindėjimas yra pats blogiausias, nes spinduliai yra arba labai stipriai koncentruojami į šonus, arba gali nuo reflektoriaus atsispindėti daugiau, nei vieną kartą, tam kad išeitų iš reflektoriaus. Tai parodo, kad spinduliai užsilaiko reflektoriuje, kas labai gerai matosi Nr.3 ir Nr.4. reflektoriuose. Toks spindulių užsilaikymas gali įtakoti lempos perkaitimą.

2. Tolygiausia spindulių pasiskirstymą galima pastebėti tada, kai židinio nuotolis yra vidurinėje lempos padėtyje. Tuomet netolygus pasiskirstymas matomas tik reflektoriuje Nr.4., visais kitais likusiais atvejais, matoma, kad tai geriausia židinio vieta. Tačiau, priklausomai nuo reflektoriaus formos židinyje, gali būti arčiau reflektoriaus, kaip reflektoriuose Nr.2 ir Nr.3, arba toliau nuo jo – kaip reflektoriuje Nr.1.

3. Stebint kaip pasiskirstė spinduliai židiniui esant apatinėje dalyje, galime pastebėti, kad reflektoriams Nr.4 ir 5 didelės įtakos spindulių pasiskirstymui, lyginant su vidurine padėtimi, neturi. Tačiau reflektoriams Nr. 2 ir 3 atsispindėjimo ruožas plėtėja, o tai įvyksta, nes jų forma pasižymi didesniu išgaubtumu. Tuo tarpu, reflektoriuje Nr.1 matome, kad spinduliai atsispindi tolygiai ir labai koncentruojasi į vieną plotą. Yra būtina atkreipti dėmesį į tai, kad, kai židinyje yra apatinėje dalyje, tai tik 50% spindulių yra atspindima, o likę 50 % spindulių tampa nekontroliuojami, kitais sakant, labai stipriai šviečia į šonus. Dėl šio priežasties židinio taško, negalima laikyti iškelto už reflektoriaus ribų.

4. Reflektorius Nr.1, kuris turi turbūt dažniausiai naudojamą reflektoriaus formą, turi vieną pagrindinį privalumą, kurį išskirčiau kaip labai tolygų spindulių koncentravimą į tam tikrą vietą. Norint, kad šildytuvas spindulius atspindėtų plačiau, kaitinimo elementą reikia dėti arčiau reflektoriaus.

5. Reflektorius Nr. 2 yra Nr.1 tipo tik šiek tiek labiau išgaubtas. Jis parodo, kad, kuo reflektorius labiau išgaubtas, tuo jo atsispindintys spinduliai labiau koncentruojasi į tam tikrą mažesnę plotą. Čia galima daryti išvadą, kad norint koncentruoti spindulius, parabolę reikia labiau išgaubti, o norint, kad spinduliai pasiskirstytų didesniame plote, reikia parabolę išgaubti mažiau. Tą patį parodo ir reflektorius Nr. 3

6. Visais prieš tai minėtais atvejais, didžiausia šilumos vieta būtų tiesiai po šildymo elementu. Reflektoriumi Nr.4 siekiant, tai sumažinti, labai gerai matosi, kad po šildytuvu, beveik nėra atsispindėjusių spindulių, o šiluma per stipriai koncentruota į šonus. Remiantis 5 išvada manau, kad jei reflektorių Nr.4 išlenktume labiau, jo atsispindėjimo grafikas, būtų kur kas geresnis.

7. Reflektorius Nr.5 pasižymi labai plačiu ir tolygiu atspindėjimu. Jis iš visų reflektorių geriausiai tiktų norint apšildyti kuo didesnę plotą.

8. Iš mano pateiktų grafikų galima drąsiai teigti, kad židinio vieta yra geriausia reflektoriaus vidurinėje padėtyje. Geriausia reflektoriaus forma yra parabolė arba trikampis, priklausomai nuo to, ar norite labiau sutelkti šviesą, ar norite tolygiai plačiai šildančio šildytuvo.

### 3.3 Skyriaus apibendrinimas

Tyrimų metu padaryti pastebėjimai rodo, kad norint pasirinkti tinkamą šildytuvą svarbu atkreipti dėmesį į šiuos aspektus:

- Kaitinimo elemento tipas. Mano eksperimento metu nustatyta, kad halogeninis kaitinimo elementas sušildo mano matuojamą plotą geriausiai. Tačiau nebuvo kreipiamas dėmesys į šildytuvų matmenis ir formas, kas, tai pat galėjo nulemti, kad šildytuvas su halogenineis šildymo elementais, šildo geriausiai.
- Reflektoriaus forma ir židinio padėtį reflektoriuje. Tyrimo metu, kaip ir buvo galima tikėtis, geriausiai pasirodė standartinės parabolės formos reflektorius, kuris dabar ir yra dažniausiai naudojamas tokiuose šildytuvuose. Tik keičiant parabolės formą, buvo pastebėta, kad jei parabolė labiau išgaubta, tai ji labiau koncentruos šilumą po šildytuvu, o jei reflektorius mažiau išgaubtas, šiluma sklis didesniu kampu. Židinio nuotolis, tai pat kaip ir buvo galima tikėtis, geriausias yra vidurinėje padėtyje. Bandymai parodė, kad, jei židinytis yra truputį arčiau reflektoriaus, tai šiluma sklinda plačiau, o, tostant nuo reflektoriaus, šiluma pradeda sklisti siauriau.
- Šildytuvo galia. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad šildytuvo galia dažnai nesutampa su gamintojo nurodyta galia. Tai pat maitinimo įtampa pakankamai stipriai daro įtaką šildytuvo galiai, kurią nurodo prekiautojai. Dėl to, yra labai svarbu atkreipti dėmesį į tai kokia maitinimo įtampa yra patalpose. Žinant maitinimo įtampą, pagal mano pateiktas empirines galios formules, galime apskaičiuoti realią šildytuvo galią.

## IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Egzistuoja labai daug įvairių šildymo sistemų: pradedant nuo šildymo radiatoriais, baigiant grindiniu šildymu. Lyginant su analizuotomis sistemomis, kaip pagrindinius infraraudonųjų spindulių šildymo privalumus, būtų galima išskirti:

- Pigus ir paprastas įrengimas;
- Greitas zonos įšilimas;
- Nepastovus naudojimas;
- Šildo ne orą, o šildytuvo zonoje esančius daiktus.

Atsižvelgiant į išvardytus privalumus, labai aiški pasidaro jų panaudojimo sritis. Pradžioje išskirčiau, tokius namus, kurių visą žiemą neketinama šildyti, o šildymas bus naudojamas tik tam tikrai momentais. Tokių pastatų pavyzdžiai galėtų būti – sodo namelis, į kurį žiemos metu atvažiuojame labai retai, bet kai atvažiuojame norime, kad ten būtų šilta; įvairios didelės, bet ne pastovios, žmonių susibūrimo vietos, tokios kaip bažnyčios ar panašiai; įvairaus tipo angarus, kurių durys žiemos metu būna plačiai atidaromos; lauko kavinės vakarais. Svarbu yra tai, kad kitos sistemos šildo orą, o infraraudonųjų spindulių sistema šildo jos zonoje esančius daiktus.

Analizuojant infraraudonųjų spindulinius šildytuvus, buvo išskirtos trys pagrindinės savybės:

- Šildytuvo galia – tai pati paprasčiausia savybė pagal kurią daugelis ir renkasi šildytuvus;
- Kaitinimo elemento tipas – tai labai nesunkiai įvertinama savybė, pagal kurią yra galima pasirinkti, kokio tipo bangomis bus norima šildyti patalpas, ar kuris kaitinimo elementas yra geresnis.
- Reflektoriaus forma ir kaitinimo elemento padėtis jame. Šią savybę yra įvertinti sudėtingiau, nes, vien plika akim pažiūrėjus į reflektorių, sunku pasakyti ar jis labai efektyvus. Tam reikėtų išsamesnių tyrimų.

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad geriausias savybes turi halogeninio tipo kaitinimo elementas, kuris abiem atvejais šildė geriau nei anglies pluošto ar keramikinis reflektorius. Tačiau, atliekant tyrimą, nebuvo atkreiptas dėmesys į reflektoriaus formą bei kaip tai galėjo nulemti šildytuvo efektyvumą. Dėl šios priežasties, manau, kad, kuriant kuo efektyvesnį šildytuvą, tai yra labai svarbus faktas, kuriam įvertinti reikia daugiau tyrimų. Žinoma, norint išsiaiškinti, kuris šildytuvas tam tikram plote šildo geriau, mano atlikto eksperimento visiškai pakanka.

Kalbant apie elektrinės charakteristikas, pastebėtina, kad, keičiant maitinimo įtampą, šildytuvų galia didėja, atitinkamai, varža – tai pat didėja. Remiantis gautais pastebėjimais, buvo

sudaryta galios empirinė formulė, kuri parodo, kokia bus šildytuvo galia prie skirtingos maitinimo įtampos.

Turbūt viena svarbiausių šito šildytuvo savybių yra reflektoriaus forma. Jei ji bus netinkama, šilumą gali užsilaikyti reflektoriuje arba tiesiog bus nesukoncentruota ir švies nešildydama mūsų norimo ploto. Tyrimo metu geriausiai pasirodė parabolės formos ir trikampio formos reflektoriai. Taip pat, buvo padaryti pastebėjimai, kad naudojant parabolės formą, gaunamas išgaubimas, kuris labiau šildo norimą plotą, šiluma labiau koncentruojasi. Tokiu atveju, priklausomai nuo šildomos vietos, kuo parabolė yra labiau išgaubta, tuo labiau šiluma bus koncentruojama. Dėl šios priežasties, renkantis šildytuvą, yra būtina atsižvelgti į tai kokia vietą yra norima šildyti.

Nustatinėjant geriausią židinio vietą, puikiausiai, kaip ir buvo galima tikėtis, pasirodė vidurinė židinio padėtis. Tačiau tiksliai pasakyti, kuri vieta yra tinkamesnė yra labai sunku, nes, vėl gi, tai priklauso nuo šildomos vietos ploto ir nuo reflektoriaus formos. Akivaizdu, buvo tik tai, kad, kai kaitinimo elementas yra viršuje bei esant mažesniai reflektoriaus išgaubimui, šiluma labai stipriai koncentruojasi į šonus, o, jeigu išgaubimas yra didesnis, lūžę spinduliai nesugeba, atsispindėję vieną kartą, išeiti iš reflektoriaus. Tai parodo, kad šiluma užsilaiko reflektoriuje. Apatinėje dalyje esantis židiny atspindi mažą dalį spindulių, todėl daugelis spindulių nesukoncentruojami į norimą vietą, o šildytuvas šildo labai neefektyviai.

Atliekant tolimesnius eksperimentus su infraraudonosiomis lempomis, reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad norint kurti geresnes lempas, yra būtina vienu metu analizuoti reflektoriaus formą, kaitinimo elemento tipą ir šildytuvo galią. Tačiau, norint palyginti tam tikras kelias lempas tarpusavyje, užtenka ir mano atlikto eksperimento.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS:

1. V. Burbulys. *Dujotiekininko vadovas*: Vilnius: Mintis, 1968.–215p.
2. J. Juodvalkis. *Nestacionarieji šilumos mainai pastatuose*: monografija; Kauno technologijos universitetas. Architektūros ir statybos institutas.2008.–204 p.
3. Danish Board of District Heating Journal „*Energy & Environment*” number 2/2003
4. Prof. Med. Dr. Wolfgang Schmidt. Medicininė ataskaita – „*Infraraudonųjų spindulių sistemos poveikis.*” Greifswaldas.2009.–16 p.
5. H. Gilbert. *Gas infrared heating systems –for personnel heating and condensation control.* –Icon and Steel Engineer. –Oil and Gas. 1990.–186 p.
6. J. Ažukienė, B. Narbutis. *Pramoninių ir visuomeninių patalpų dujinio spindulinio šildymo tyrimas*: Vilnius, 2005
7. Informacinė medžiaga. UAB „Jonarda“. Vilnius.
8. R. Samajauskas, V. Stankevičius, R. Bliūdžius. *Konvekcijos poveikis vėdinamų atitvarų šilumos perdavai*: Kaunas: Technologija, 2003 – 166 p.
9. M. Gedgaudas, E. Juodis. *Bendroji šiluminė technika, šilumos dujų tiekimas ir vėdinimas*: Vilnius: Mokslas , 1980 – 198 p.
10. N. Milenskis ir kt. *Bendroji šiluminė technika*: Vilnius: Mintis, 1974.– 570 p.
11. G. Gimbutis ir kt. *Šiluminė technika*: – Vilnius: Mokslas, 1993. – 333 p.
12. *Infraraudonųjų spindulių šildytuvai* [interaktyvus] [žiūrėta 2016.01.15]. Prieiga internetu: <http://www.irsiluma.lt/47-momentiniai-infraraudonuju-spinduliu-sildytuvai>
13. *A review of superior radiant infrared tube heaters*[interaktyvus] [žiūrėta 2016.05.18]. Prieiga internetu: <http://www.heatersunlimited.com/areviewofsuperiorradiant.html>
14. Kimbal, Matthew M. Conley, Shiping Wang ir kt. *Infrared heater for warming ecosystem fields plots*: Global Change Biology, 2007
15. Kimbal *Theory and performance of an infrared heater for ecosystem warming*: Global Change Biology, 2007
16. Mori A, Oguchi Y, Nakamori K., Egam F ir kt. *Efficacy and safety of infrared warming of the eyelids*; Tokyo, 1999

17. Thomas M. Smith, Walter J. Sherwood, Jr. *Infrared heater and components thereof*: Marsden, Inc. 2001
18. Gialanella Joseph A. *Infrared heater* RefMan, 1960
19. Wallace Donald C. *Electric Infrared heater*: Barber Mfg Co, 1970
20. Masalskytė R. *Šildymo sistemos sprendimai kultūros paveldo objektuose*: VGTU, 2011
21. *Infraraudonųjų spindulių šildymas* [interaktyvus] [žiūrėta 2016.05.06]. Prieiga internetu: [http://www.ikoline.lt/apie\\_ir.html](http://www.ikoline.lt/apie_ir.html)
22. *Elektriniai infraraudonųjų spindulių šildytuvai – šiluma šviesos greičiu* [interaktyvus] [žiūrėta 2016.05.05]. Prieiga internetu: [http://www.ekspertai.lt/infraraudonuju\\_spinduliu\\_sildytuvai/straipsniai/elektriniai\\_infraraudonuju\\_spinduliu\\_sildytuvai\\_siluma\\_sviesos\\_greiciu](http://www.ekspertai.lt/infraraudonuju_spinduliu_sildytuvai/straipsniai/elektriniai_infraraudonuju_spinduliu_sildytuvai_siluma_sviesos_greiciu)
23. *Infraraudonieji spinduliai. Kas tai?* [interaktyvus] [žiūrėta 2016.05.07]. Prieiga internetu: <http://alkas.lt/2013/12/24/infraraudonieji-spinduliai-kas-tai/>
24. Tetsuhiro Kano, *Reflector for a lamp and method of determining the form of a reflector*: Tokyo, 1992
25. Aloys Michaud, *Reflector* JAV, 2013
26. *Case Study of the Differences between Infrared Heating and Gas Heating in Old Residential Buildings, Using Comparative Measurements* [interaktyvus] [žiūrėta 2016.01.07]. Prieiga internetu: [http://www-user.rh.rk.uni-kl.de/~kosack/menu1/1\\_shtml](http://www-user.rh.rk.uni-kl.de/~kosack/menu1/1_shtml)
27. Milorad Bojic, Dragan Cvetkovic, Ljubiša Bojic *Decreasing energy use and influence to environment by radiant panel heating using different energy sources* Serbia, 2014
28. K.J. Brown, R. Farrelly, S.M. O'Shaughnessy, A.J. Robinson *Energy efficiency of electrical infrared heating elements* Dublin, 2015

## PRIEDAI

### Priedas nr.1 Parabolės formos reflektoriaus atspindėjimo kodas *Matlabe*

```
clear,clc,clf
xmin=-100;
xmax=100;
points=500;
proj_length=200;
x=linspace(xmin,xmax,points);
a=-0.005;
b=0;
c=0;
y=a*x.^2+b*x+c;
for s=0.2:0.1:0.5
    clf
    Focal_point=[0 1/(4*a)*s]';
    for k=10:5:points-10;
        line_in=[x(k)-Focal_point(1), y(k)-Focal_point(2)];
        line_in=line_in(1)+line_in(2)*1i;
        angle_in=angle(line_in);
        angle_in_deg=rad2deg(angle_in);
        hold on
        plot(Focal_point(1),Focal_point(2),'or','MarkerSize',10,'MarkerFaceColor','r') % spindulio saltinis
        plot(x,y,'lineWidth',3)%parabole
        dy=diff(y)./diff(x);
        tang=(x-x(k))*dy(k)+y(k);
        plot(x(k-5:k+5),tang(k-5:k+5))
        gscatter(x(k),tang(k))
        line_tan=[x(end)-x(1), tang(end)-tang(1)];
        line_tan=line_tan(1)+line_tan(2)*1i;
        angle_tan=angle(line_tan);
        angle_tan_deg=rad2deg(angle_tan);
        angle_tan_90o=angle_tan+pi/2;
        angle_tan_90o_deg=rad2deg(angle_tan_90o);
        line([-3*cos(angle_tan_90o) 0.5*cos(angle_tan_90o)]+x(k),[-3*sin(angle_tan_90o) 0.5*sin(angle_tan_90o)]+y(k));
        %% rodykle centras-parabole
        line([Focal_point(1) x(k)], [Focal_point(2) tang(k)], 'Color','r')
        axis equal
        %% liestinės kampo nustatymas
        angle_refl_1=angle_tan_90o+pi-(angle_in-angle_tan_90o);
        angle_refl_1_deg=rad2deg(angle_refl_1);
        line([x(k) x(k)+proj_length*(cos(angle_refl_1))],[tang(k) tang(k)+proj_length*(sin(angle_refl_1))], 'Color','m')
    end
    pause (0.1)
end
```

## Priedas nr.2 Kvadratinės parabolės formos reflektoriaus atspindėjimo kodas *Matlab*e

```
clear,clc,clf
xmin=-10;
xmax=10;
points=500;
proj_length=30;
x=linspace(xmin,xmax,points);
a=-0.001;
b=0;
c=0;
y=a*x.^4+0.00005*x.^3+0.000002*x.^2+0.0001*x+0.1;
for s=0.031:0.031:0.031
    clf
    Focal_point=[0 1/(4*a)*s]';
    for k=10:5:points-10;
        %% Linijos_in kampo nustatymas
        line_in=[x(k)-Focal_point(1), y(k)-Focal_point(2)];
        line_in=line_in(1)+line_in(2)*1i;
        angle_in=angle(line_in);
        angle_in_deg=rad2deg(angle_in);
        %% braizymas
        hold on
        plot(Focal_point(1),Focal_point(2),'or','MarkerSize',10,'MarkerFaceColor','r') % spindulio saltinis
        plot(x,y,'lineWidth',3)%parabole
        %% liestines nustatymas
        dy=diff(y)./diff(x);
        tang=(x-x(k))*dy(k)+y(k);
        plot(x(k-5:k+5),tang(k-5:k+5))
        gscatter(x(k),tang(k))
        line_tan=[x(end)-x(1), tang(end)-tang(1)];
        line_tan=line_tan(1)+line_tan(2)*1i;
        angle_tan=angle(line_tan);
        angle_tan_deg=rad2deg(angle_tan);
        %% statinis
        angle_tan_90o=angle_tan+pi/2;
        angle_tan_90o_deg=rad2deg(angle_tan_90o);
        line([-3*cos(angle_tan_90o) 0.5*cos(angle_tan_90o)]+x(k),[-3*sin(angle_tan_90o) 0.5*sin(angle_tan_90o)]+y(k));
        line([Focal_point(1) x(k)], [Focal_point(2) tang(k)], 'Color','r')
        axis equal
        %% liestinės kampo nustatymas
        angle_refl_1=angle_tan_90o+pi-(angle_in-angle_tan_90o);
        angle_refl_1_deg=rad2deg(angle_refl_1);
        line([x(k) x(k)+proj_length*(cos(angle_refl_1))],[tang(k) tang(k)+proj_length*(sin(angle_refl_1))], 'Color','m')
    end
    pause (0.1)
end
box on
```



### Priedas nr.3 Dvigubos parabolės formos reflektoriaus atspindėjimo kodas *Matlab*e

```
clear,clc,clf
xmin=-40;
xmax=40;
points=800;
proj_length=300;
x1=linspace(xmin,xmax,points);
x1=0:1:150;
x2=-150:1:0;
a=-0.005;
b=0.4;
c=0;
y1=a*x1.^2+b*x1+c;
y2=a*x2.^2-b*x2+c;
for s=0.31:1:1
    clf
    Focal_point=[0 1/(4*a)*s]';
    for k=3:5:points-10;
        %% Linijos_in kampo nustatymas
        line_in=[x1(k)-Focal_point(1), y1(k)-Focal_point(2)];
        line_in=line_in(1)+line_in(2)*1i;
        angle_in=angle(line_in);
        angle_in_deg=rad2deg(angle_in);
        %% braizymas
        hold on
        plot(Focal_point(1),Focal_point(2),'or','MarkerSize',10,'MarkerFaceColor','r') % spindulio saltinis
        plot(x1,y1,'lineWidth', 3)%parabole
        hold on
        plot(x2,y2,'lineWidth', 3)

        %% liestines nustatymas
        dy1=diff(y1)./diff(x1);
        tang=(x1-x1(k))*dy1(k)+y1(k);
        plot(x1(k-1:k+1),tang(k-1:k+1))%taisyta is5 i10
        gscatter(x1(k),tang(k))
        line_tan=[x1(end)-x1(1), tang(end)-tang(1)];
        line_tan=line_tan(1)+line_tan(2)*1i;
        angle_tan=angle(line_tan);
        angle_tan_deg=rad2deg(angle_tan);
        %% statinis
        angle_tan_90o=angle_tan+pi/2;
        angle_tan_90o_deg=rad2deg(angle_tan_90o);
        line([-3*cos(angle_tan_90o) 0.5*cos(angle_tan_90o)]+x1(k),[-3*sin(angle_tan_90o) 0.5*sin(angle_tan_90o)]+y1(k));
        %% rodykle centras-parabole
        line([Focal_point(1) x1(k)], [Focal_point(2) tang(k)], 'Color','r')
        axis equal
        %% liestinės kampo nustatymas
        angle_refl_1=angle_tan_90o+pi-(angle_in-angle_tan_90o);
```

```

angle_refl_1_deg=rad2deg(angle_refl_1);
line([x1(k) x1(k)+proj_length*(cos(angle_refl_1))],[tang(k)
tang(k)+proj_length*(sin(angle_refl_1))],'Color','m')
%% Linijos_in kampo nustatymas///kita
line_in=[x2(k)-Focal_point(1), y2(k)-Focal_point(2)];
line_in=line_in(1)+line_in(2)*1i;
angle_in=angle(line_in);
angle_in_deg=rad2deg(angle_in);
%% liestines nustatymas/// kitos parabolės sakos
dy2=diff(y2)./diff(x2);
tang=(x2-x2(k))*dy2(k)+y2(k);
plot(x2(k-1:k+1),tang(k-1:k+1))%taisyta is5 i10
gscatter(x2(k),tang(k))
line_tan=[x2(end)-x2(1), tang(end)-tang(1)];
line_tan=line_tan(1)+line_tan(2)*1i;
angle_tan=angle(line_tan);
angle_tan_deg=rad2deg(angle_tan);
%% statinis
angle_tan_90o=angle_tan+pi/2;
angle_tan_90o_deg=rad2deg(angle_tan_90o);
line([-3*cos(angle_tan_90o) 0.5*cos(angle_tan_90o)]+x2(k),[-
3*sin(angle_tan_90o) 0.5*sin(angle_tan_90o)]+y2(k));
%% rodykle centras-parabole
line([Focal_point(1) x2(k)],[Focal_point(2) tang(k)'],'Color','r')
axis equal
%% liestinės kampo nustatymas
angle_refl_1=angle_tan_90o+pi-(angle_in-angle_tan_90o);
angle_refl_1_deg=rad2deg(angle_refl_1);
line([x2(k) x2(k)+proj_length*(cos(angle_refl_1))],[tang(k)
tang(k)+proj_length*(sin(angle_refl_1))],'Color','m')
end
pause (0.1)
end
box on

```

#### Priedas nr.4 Trikampio formos reflektoriaus atspindėjimo kodas *Matlab*e

```
clear,clc,clf
x1min=0;
x1max=150;
x1=0:1:130;
x2min=-40;
x2max=40;
points=1000;
x2=-130:1:0;
proj_length=250;
a=-0.005;
b=0.5;
c=10;
y1=a*x1-b*x1+c;
y2=-a*x2+b*x2+c;
for s=0.65:1:5
    clf
    Focal_point=[0 1/(4*a)*s]';
    for k=3:5:points-10;
        %% Linijos_in kampo nustatymas
        line_in=[x1(k)-Focal_point(1), y1(k)-Focal_point(2)];
        line_in=line_in(1)+line_in(2)*1i;
        angle_in=angle(line_in);

        %% braizymas
        hold on
        plot(Focal_point(1),Focal_point(2),'or','MarkerSize',10,'MarkerFaceColor','r') % spindulio saltinis
        plot(x1,y1,'lineWidth', 3)%parabole
        hold on
        plot(x2,y2,'lineWidth', 3)
        %% liestines nustatymas
        dy1=diff(y1)./diff(x1);
        tang=(x1-x1(k))*dy1(k)+y1(k);
        plot(x1(k-1:k+1),tang(k-1:k+1))%taisyta is5 i10
        gscatter(x1(k),tang(k))
        line_tan=[x1(end)-x1(1), tang(end)-tang(1)];
        line_tan=line_tan(1)+line_tan(2)*1i;
        angle_tan=angle(line_tan);
        %% angle_tan_deg=rad2deg(angle_tan);
        %% statinis
        angle_tan_90o=angle_tan+pi/2;
        %% angle_tan_90o_deg=rad2deg(angle_tan_90o);
        line([-3*cos(angle_tan_90o) 0.5*cos(angle_tan_90o)]+x1(k),[-3*sin(angle_tan_90o) 0.5*sin(angle_tan_90o)]+y1(k));
        %% rodykle centras-parabole
        line([Focal_point(1) x1(k)], [Focal_point(2) tang(k)], 'Color', 'r')
    axis equal
```

```

%% liestinės kampo nustatymas
angle_refl_1=angle_tan_90o+pi-(angle_in-angle_tan_90o);
%angle_refl_1_deg=rad2deg(angle_refl_1);
line([x1(k) x1(k)+proj_length*(cos(angle_refl_1))],[tang(k)
tang(k)+proj_length*(sin(angle_refl_1))],'Color','m')
%% Linijos_in kampo nustatymas///kita
line_in=[x2(k)-Focal_point(1), y2(k)-Focal_point(2)];
line_in=line_in(1)+line_in(2)*1i;
angle_in=angle(line_in);
angle_in_deg=rad2deg(angle_in);
%% liestines nustatymas/// kitos parabolės sakos
dy2=diff(y2)./diff(x2);
tang=(x2-x2(k))*dy2(k)+y2(k);
plot(x2(k-1:k+1),tang(k-1:k+1))%taisyta is5 i10
gscatter(x2(k),tang(k))
line_tan=[x2(end)-x2(1), tang(end)-tang(1)];
line_tan=line_tan(1)+line_tan(2)*1i;
angle_tan=angle(line_tan);
angle_tan_deg=rad2deg(angle_tan);
%% statinis
angle_tan_90o=angle_tan+pi/2;
angle_tan_90o_deg=rad2deg(angle_tan_90o);
line([-3*cos(angle_tan_90o) 0.5*cos(angle_tan_90o)]+x2(k),[-
3*sin(angle_tan_90o) 0.5*sin(angle_tan_90o)]+y2(k));
%% rodykle centras-parabole
line([Focal_point(1) x2(k)],[Focal_point(2) tang(k)],'Color','r')
axis equal
%% liestinės kampo nustatymas
angle_refl_1=angle_tan_90o+pi-(angle_in-angle_tan_90o);
angle_refl_1_deg=rad2deg(angle_refl_1);
line([x2(k) x2(k)+proj_length*(cos(angle_refl_1))],[tang(k)
tang(k)+proj_length*(sin(angle_refl_1))],'Color','m')
end
pause (0.1)
end
box on

```