



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio
deformavimosi tyrimas**
Baigiamasis magistro projektas

Edita Puodžiūnaitė
Projekto autorė

Prof. dr. Vytautas Grigas
Vadovas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (621H30001)

Edita Puodžiūnaitė
Projekto autorė

Prof. dr. Vytautas Grigas
Vadovas

Doc. Paulius Griškevičius
Recenzentas / Recenzentė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Edita Puodžiūnaitė

Profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Editos Puodžiūnaitės, baigiamasis projektas tema „Profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa MECHANIKOS INŽINERIJA 621H30001

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS**

Studentui(-ei) MDM 6/6 gr. *Editai Puodžiūnaitei*

1. Baigiamojo projekto tema

Profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi tyrimas

Research of thermal deformations of commercial kitchen food preparation surface

Patvirtinta Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto Dekano 2018-04-18 potvarkiu Nr. V25-11-6

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas:

Ištirti profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi veikiant eksploatacinėms temperatūroms parametrus ir rasti būdą minimizuoti šiluminės deformacijas

Darbo uždaviniai:

- *Išanalizuoti maisto ruošimui šildant naudojamos įrangos funkcinius parametrus, konstrukcijas dažniausiai naudojamus maisto ruošimo paviršių šildymo būdus ir įrangą;*
- *Išanalizuoti tiriamąjį šildomąjį paviršių UWPI – jo konstrukciją, medžiagas, veikimo režimus;*
- *Eksperimentiškai ištirti šildomojo paviršiaus UWPI temperatūros pasiskirstymą ir šiluminės deformacijas (įlinkius) jam veikiant nusistovėjusiu eksploataciniu režimu;*
- *Sudaryti šildomojo paviršiaus UWPI skaičiuojamąjį modelį, atlikti temperatūros pasiskirstymo ir šiluminių deformacijų skaičiavimus baigtinių elementų metodu;*
- *Modifikuojant šildomojo paviršiaus UWPI skaičiuojamąjį modelį (šildomo paviršiaus medžiagas ir stalviršio storį) atlikti variantinius temperatūros pasiskirstymo ir šiluminių deformacijų skaičiavimus ir rasti konstrukciją, kurios šiluminis deformavimasis būtų minimalus*

3. Pradiniai Projekto duomenys

UWPI maisto ruošimo šildomas paviršius, kurio gabaritiniai matmenys 700x600x55 mm

UWPI maisto ruošimo šildomo paviršiaus darbinė temperatūra 85 °C

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Skaičiuojamąjį modelį validuoti skaičiavimo rezultatus lyginant su eksperimentinio tyrimo duomenimis

Ištirti ne mažiau, kaip 5 alternatyvius šildomojo paviršiaus UWPI variantus

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra

Įvadas

1. Profesionalios pramoninės virtuvės įranga

2. Maisto ruošimo šildomas paviršius UWPI

3. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio eksperimentinis tyrimas

4. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio skaičiuojamasis tyrimas

Išvados

6. Grafinės projekto dalies sudėtis

UWPI maisto ruošimo šildomo paviršiaus gamybinis surinkimo brėžinys

UWPI maisto ruošimo šildomo paviršiaus šildymo kilimėlių brėžiniai

7. Projekto konsultantai

—

Magistrantas: Edita Puodžiūnaitė.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas: prof. dr. Vytautas Grigas.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas: doc. Kęstutis Pilkauskas.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

Turinys

Įvadas

1. Profesionalios pramoninės virtuvės įranga	15
1.2. Higienos ir saugumo reikalavimai įrenginiams pramoninėse virtuvėse.....	18
1.3. Šildymo būdai ir įranga, naudojami profesionaliose virtuvėse	19
1.3.1. Vamzdeliniai kaitinimo elementai.....	20
1.3.2. Juosteliniai keramikiniai kaitinimo elementai.....	21
1.3.3. Šildymo lempos.....	22
1.3.4. Kaitinimo kilimėliai	23
2. Maisto ruošimo šildomas paviršius UWP1.....	25
2.1. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 konstrukcija	25
2.2. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus dydžių gama	27
3. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio eksperimentinis tyrimas	29
3.1. Eksperimentinio tyrimo metodika ir įranga.....	29
3.2. Šildomo paviršiaus eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	35
4. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio skaičiuojamasis tyrimas	40
4.1. Šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio skaičiuojamojo tyrimo metodika ..	40
4.2. Temperatūros pasiskirstymo šildomo paviršiaus elementuose skaičiavimas.	
Skaičiuojamasis modelis	41
4.3. Šildomo paviršiaus temperatūrinio skaičiuojamojo tyrimo rezultatai.....	46
4.4. Šildomo paviršiaus stalviršio įlinkio skaičiavimas. Skaičiuojamasis modelis.....	50
4.5. Šildomo paviršiaus stalviršio įlinkio skaičiuojamojo tyrimo rezultatai	52
4.6. Šildomo paviršiaus eksperimentinių ir skaičiuojamųjų tyrimų palyginimas	54
4.7. Minimalias maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 šiluminės deformacijas užtikrinanti konstrukcija	58
Išvados	60
Literatūros sąrašas	61
Priedai.....	64

Paveikslų sąrašas

1 pav. Profesionalus darbo stalas.....	15
2 pav. Konvekcinės krosnies stovas su kreipiančiosiomis padėklams	15
3 pav. Rūšiavimo stalas	16
4 pav. Šaldymo stalas su stalčiais gėrimams	16
5 pav. Konvekcinė krosnis	17
6 pav. Šildomas paviršius	17
7 pav. Stalas su įmontuotu šildomuoju paviršiumi UWP1	18
8 pav. Vamzdelinis kaitinimo elementas	20
9 pav. Vamzdelinis kaitinimo elementas ir jo konstrukcija.....	20
10 pav. Marmitas su GN indais, kuriame naudojamas vamzdelinis kaitinimo elementas	21
11 pav. Keraminis kaitinimo elementas ir jo pagrindinės dalys.....	21
12 pav. Keraminis infraraudonųjų spindulių šildytuvas.....	22
13 pav. Šildymo lempa	22
14 pav. Infraraudonųjų spindulių maisto šildytuvas.....	22
15 pav. Graviruota folija.....	23
16 pav. a – kaitinimo kilimėlio komponentai: 1 – maitinimo laidas, 2 – termostatas, 3 – silikono sluosknis, 4 – kaitinimo elementas; b – kaitinimo kilimėlis	23
17 pav. Įmonės UAB “Novameta” šildomas paviršius UWP1; a – izometrinis vaizdas iš viršaus,.. b – izometrinis vaizdas iš apačios	25
18 pav. Pagrindinės šildomo paviršiaus UWP1 dalys: 1 – stalviršis, 2 – profilių rėmas, 3 – dugnas, 4 – šildymo kilimėlis, 5 – izoliacinė vata, 6 – valdymo blokas ir 7 – temperatūrinis daviklis	25
19 pav. Šildomuose paviršiuose UWP1 naudojami šildymo kilimėliai	27
20 pav. Akmens vata	27
21 pav. Šildomų paviršių konfigūracijos (L – šildomo paviršiaus ilgis): a – L = 400 mm, b – L = 700 mm, c – L = 1000 mm, d – L = 1300 mm	28
22 pav. Tyrimo standas: 1 – šildomas paviršius UWP1, 2 – laikrodinio poslinkio indikatorius IČ-10, 3 – valdiklis, 4 – bekontaktis infraraudonųjų spindulių termometras, 5 – daugiakanalis temperatūros ir slėgio duomenų registratorius	30
23 pav. Laikroдинis poslinkio indikatorius IČ-10.....	30
24 pav. Bekontaktis infraraudonųjų spindulių termometras.....	31

25 pav. Daugiakanalis temperatūros ir slėgio duomenų registratorius (be spausdintuvo) - Eliwell Memory 1000: a – registratorius; b – registratorius, prijungtas prie kompiuterio duomenų perdavimui.....	32
26 pav. Daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus Eliwell Memory 1000 sensorius	32
27 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 šiluminių deformacijų matavimo kontrolinis taškas	33
28 pav. Pradinė šildomo paviršiaus temperatūra	33
29 pav. Daugiakanalio temperatūros duomenų registratorius sensoriai paviršiaus taškuose: P3, P5, P6.....	34
30 pav. Šildymo kilimėlis pasiekia 85 °C temperatūrą	35
31 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu šildymo kilimėlio valdiklio formuojamas temperatūros kitimo dėsnis (eksperimentinis tyrimas).....	35
32 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu temperatūros kontroliniame taške priklausomybės nuo laiko grafikas (eksperimentinis tyrimas).....	36
33 pav. Maksimalus šildomo paviršiaus įlinkis, šildymo kilimėliui pasiekus 85 °C temperatūrą	37
34 pav. Vizualiai matomas maksimalus šildomo paviršiaus įlinkis, šildymo kilimėliui pasiekus 85 °C temperatūrą.....	38
35 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu įlinkio kontroliniame taške gautų duomenų priklausomybės nuo laiko grafikas (eksperimentinis tyrimas).....	38
36 pav. Šildomo paviršiaus UWP1 supaprastintas skaičiuojamasis modelis; a – izometrinis vaizdas iš viršaus, b – izometrinis vaizdas iš apačios	41
37 pav. Šildomo paviršiaus UWP1 supaprastintas skaičiuojamasis modelis: a – modelį sudarančios dalys: 1 –stalviršis, 2 – profilių rėmas, 3 – dugnas, 4 – šildomas kilimėlis, 5 – izoliacinė vata; b – pjūvis	42
38 pav. Konvekcijos (aušinimo) nustatymai	43
39 pav. Kaitinimo elemento galios kitimo nustatymai	43
40 pav. Kaitinimo elemento galios priklausomybės nuo laiko grafikas.....	44
41 pav. Temperatūros skaičiavimo nustatymai laike.....	44
42 pav. Nustatytas baigtinių elementų tinklelis: a – 10 mm dydžio BE tinklelis šildomo paviršiaus komponentams išskyrus stalviršio plotą, teisiogiai veikiamą temperatūros;	

b – 2 mm tinklelis stalviršio plotui, kuris yra tiesiogiai veikiamas šildymo kilimėlių temperatūros	45
43 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 60 s.....	46
44 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 120 s.....	47
45 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 180 s.....	47
46 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 240 s.....	48
47 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) tarpu maksimalios temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas (skaičiuojamasis tyrimas).....	48
48 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) tarpu temperatūros kontroliniame taške priklausomybės nuo laiko grafikas (skaičiuojamasis tyrimas).....	49
49 pav. Šildomo paviršiaus dugno įtvirtinimas	50
50 pav. Static uždaviniui naudojami Thermal skaičiavimo 4 – ojo žingsnio (240 s) rezultatų nustatymai	51
51 pav. Šildomo paviršiaus UWP1 supaprastintas skaičiuojamasis modelis paviršiaus įlinkiui nustatyti: a – izometrinis vaizdas iš viršaus; b – izometrinis vaizdas iš apačios	51
52 pav. Šildomo paviršiaus skaičiuojamojo modelio simetrijos kraštinių sąlygų nurodymas	52
53 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 (su 1,5 mm stalviršiu) maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške	52
54 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 (su 1 mm stalviršiu) maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške	53
55 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm storio stalviršiu temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai.....	54
56 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1,5 mm storio stalviršiu temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai.....	55
57 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 2 mm storio stalviršiu temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai.....	55
58 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1,5 mm storio stalviršiu ir 6 mm storio aliuminio lydinio (AW-6082) tarpu temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai.....	56
59 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) tarpu įlinkio kontroliniame taške eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai.....	56

60 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu maksimalaus įlinkio eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai.....	57
61 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu ir 0,8 mm stalviršiu maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške	59
62 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu ir 1 mm stalviršiu maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške	59

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Šildomo paviršiaus UWP1 pagrindinių elementų medžiagų šiluminės savybės	26
2 lentelė. Aliuminio lydinio intarpo AW-6082 šiluminės savybės	34
3 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 šildymo kilimėlio temperatūros kitimas pagal valdymo bloko rodmenis	36
4 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 temperatūros kontroliniame taške eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	37
5 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 temperatūros kontroliniame taške eksperimentinio tyrimo rezultatai.....	39
6 lentelė. SolidWorks dokumentacijos konvekcijos koeficientas skirtingose aplinkose.....	43
7 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamuoju tyrimu gauti maksimalios temperatūros rezultatai	49
8 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamuoju tyrimu gauti temperatūros kontroliniame taške rezultatai	49
9 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamuoju tyrimu gauti temperatūros kontroliniame taške rezultatai	53

Edita Puodžiūnaitė. Profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Vytautas Grigas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): mechanikos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: maisto ruošimo šildomas paviršius, stalviršis, šiluminės deformacijos, temperatūra.

Kaunas, 2018. 62 p.

Santrauka

Maisto ruošimo šildomas paviršius UWP1, gaminamas įmonėje UAB “Novameta” – įrenginys, skirtas tam tikrai ant jo išdėliotų maisto produktų ir patiekalų temperatūrai palaikyti. Tokie įrenginiai yra naudojami pramoninėse, profesionaliose virtuvėse. Naudojant maisto ruošimo šildomus paviršius yra susiduriama su problema: įkaitę iki darbo temperatūros – 85 °C, jie dėl temperatūros poveikio išsibanguoja, deformuojasi. Šie įrenginiai būna įmontuoti į virtuvinių stalų stalviršius, todėl virtuvės darbuotojams tenka dirbti prie stalo su nelygiu šildomu paviršiumi, o tai ne tik nepatogu, bet ir nesaugu. Todėl atsirado poreikis ištirti profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi veikiant eksploatacinėms temperatūroms parametrus ir rasti būdą minimizuoti šilumines deformacijas.

Siekiant užsibrėžto tikslo išanalizuota profesionaliose virtuvėse naudojama įranga, jai keliami reikalavimai. Apžvelgti dažniausiai naudojami maisto ruošimo šildomų paviršių šildymo būdai, kaitinimo elementų tipai. Atlikta maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 konstrukcijos ir veikimo analizė, detalios aprašyti jo komponentai ir naudojamos medžiagos. Sukonstruotas eksperimentinio tyrimo stendas, atlikti šildomo paviršiaus temperatūros ir šiluminės deformacijos tyrimai. Nustatyta, kokios konstrukcijos maisto ruošimo šildomas paviršius, veikiamas temperatūros, pasiekia mažiausias ir didžiausias deformacijas. Sukurtas skaičiuojamasis maisto ruošimo šildomo paviršiaus modelis, baigtinių elementų metodu atlikti temperatūros pasiskirstymo ir šiluminių deformacijų skaičiavimai. Atlikta eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatų analizė. Remiantis skaičiavimų rezultatais, pasirinkta tinkamiausia, minimalias šilumines deformacijas užtikrinanti, maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 konstrukcija.

Puodžiūnaitė Edita. Research of thermal deformations of commercial kitchen food preparation surface. Master's Final Degree / supervisor prof. doc. Vytautas Grigas; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): mechanical engineering, engineering sciences.

Keywords: food preparation heating surface, tabletop, thermal deformations, temperature.

Kaunas, 2018. 62 pages.

Summary

Food preparation heating surface UWP1, manufactured by UAB “Novameta”, is a device intended to keep a certain temperature of food and dishes, placed on it. Such devices are used in industrial professional kitchens. There is a problem when food preparation heating surface, mounted into kitchen desk’s tabletop, is being used: due to quite high working temperature – 85 °C, heated surfaces deform (incurve). It means that kitchen workers then have to work at a table with uneven heated surfaces, which is not only inconvenient but also unsafe. That’s why there is a need to research thermal deformation parameters of professional kitchen food preparation heating surface, when it is working on operational temperatures, and find a way to minimize thermal deformation.

In order to achieve the aim, the requirements for the equipment used in professional kitchens are analyzed. An overview of the most commonly used food preparation heated surface heating methods, heating element types was performed. An analysis of the construction and operation of the food preparation heated surface UWP1 was carried out, components and used materials were described in details. A research stand was designed and experimental research of the temperature and thermal deformations of heating surface was performed. It has been determined what structure and design food preparation heated surface, being exposed to normal exploitation temperature, suffers the minimum and maximum deformations. A computational models of several different structure food preparation heated surfaces were developed; computations of temperature distribution and thermal deformations were performed using finite element method. The analysis of the results of experimental research and computational study was carried out. Based on the results of numerical simulation, the construction, assuring minimal thermal deformation for food preparation heated surface UWP1, was found.

Ivadas

Pagrindinė priežastis, kodėl žmonės lankosi restoranuose, yra skanus maistas, o šis priklauso nuo restorano širdies – virtuvės. Norint paruošti skanius patiekalus būtinas kvalifikuotas virtuvės personalas, tačiau ne mažiau svarbus restorano virtuvės komponentas – tai jos įranga. Daugumoje profesionalių pramoninių virtuvių galima rasti tokius prietaisus: įvairius stalus maisto ruošimui, specialias spinteles, lentynas produktų, indų laikymui, rūšiavimo stalus atliekų skirstymui ir indų plovimui bei maistui skirtą šildymo, šaldymo įrangą. Šildymo įranga tokiose virtuvėse būna dviejų tipų: aukštą temperatūrą pasiekiantys prietaisai, skirti termiškai apdoroti maistą ir įranga, kuri išvysto temperatūrą, siekiančią 100 °C, skirta tam tikrai maisto produktų, patiekalų temperatūrai palaikyti.

Įmonė UAB “Novameta”, kuri specializuojasi profesionalios virtuvės įrangos gamyboje, gamina specialius šildomus paviršius, kurie palaiko jau paruoštų patiekalų šilumą restoranų virtuvėse. Juos gaminant susiduriama su specifine problema: įkaitę iki ganėtinai aukštos darbo temperatūros šildomi paviršiai dėl temperatūros poveikio išsibanguoja, deformuojasi. Kadangi šie prietaisai yra montuojami į virtuvinių stalų stalviršius, virtuvės darbuotojams tenka dirbti prie stalo su nelygiu šildomu paviršiumi, o tai ne tik nepatogu, bet ir nesaugu. Įmonės duomenimis deformacija iki 2 mm yra laikoma nežymia ir neįtakojančia virtuvės darbuotojo darbo kokybės bei nekeliančiu grėsmės darbuotojo saugumui. Vienas populiariausių šildomų paviršių, UWP1, kaitinamas elektriniais šildymo kilimėliais, kurie gali įkaisti iki 85 °C, o tai yra pakankama temperatūra, galinti sukelti maisto ruošimo šildomo paviršiaus temperatūrinės deformacijas (įlinkį).

Šio tiriamojo darbo tikslas – ištirti profesionalios virtuvės maisto ruošimo paviršiaus šiluminio deformavimosi veikiant eksploatacinėms temperatūroms parametrus ir rasti būdą minimizuoti šilumines deformacijas. Šiam tikslui pasiekti keliami uždaviniai:

- Išanalizuoti maisto ruošimo šildant naudojamos įrangos funkcinius parametrus, konstrukcijas, dažniausiai naudojamus maisto ruošimo paviršių šildymo būdus ir įrangą;
- Išanalizuoti tiriamąjį šildomąjį paviršių UWP1 – jo konstrukciją, medžiagas, veikimo režimus;
- Eksperimentiškai ištirti šildomojo paviršiaus UWP1 temperatūros pasiskirstymą ir šilumines deformacijas (įlinkius) jam veikiant nusistovėjusiu eksploataciniu režimu;
- Sudaryti šildomojo paviršiaus UWP1 skaičiuojamąjį modelį, atlikti temperatūros pasiskirstymo ir šiluminių deformacijų skaičiavimus baigtinių elementų metodu;
- Modifikuojant šildomojo paviršiaus UWP1 skaičiuojamąjį modelį (šildomo paviršiaus medžiagas ir stalviršio storį) atlikti variantinius temperatūros pasiskirstymo ir šiluminių deformacijų skaičiavimus ir rasti konstrukciją, kurios šiluminis deformavimasis būtų minimalus.

1. Profesionalios pramoninės virtuvės įranga

Ruošiant maistą pramoninėje virtuvėje, yra atliekama daug įvairių veiksmų: plaunami, šaldomi bei šildomi maisto produktai, kepami, verdami, pašildomi patiekalai, plaunamas didelis kiekis indų ir t.t., tad virtuvės prietaisų įvairovė yra labai plati. Dažniausiai tokia įranga gaminama iš nerūdijančio plieno, kuris yra tinkamas sąlyčiui su maistu ir ypač atsparus korozijai, kadangi pramoninėje virtuvėje dauguma įrenginių nuolatos liečiasi su vandeniu ir įvairiomis medžiagomis. Profesionalios virtuvės įrangą galima suskirstyti į tam tikras grupes:

- *Profesionalūs darbo stalai.* Tai stalai su plautuvėmis, voniomis, lentynomis (strypinėmis, plokščiomis, modulinėmis) įvairiems prietaisams pasidėti, įmontuotomis pjaustymo lentomis. Tokie stalai (žr. 1 pav.) taip pat yra gaminami su varstomomis ar slankiojančiomis durelėmis arba netgi būna reguliuojamo aukščio bei tvirtinami prie sienos.



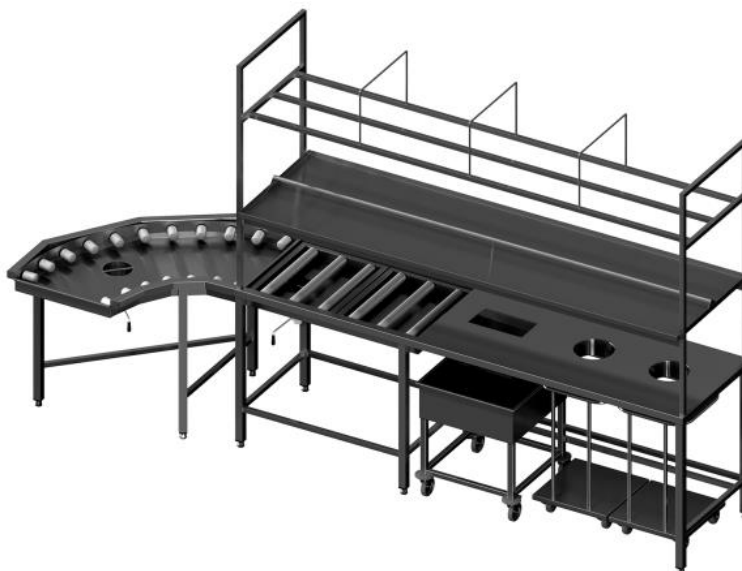
1 pav. Profesionalus darbo stalias [1]

- *Lentynos, spintos, stovai.* Visi šie gaminiai skirti virtuviniams reikmenims laikyti. Lentynos ir spintelės gaminamos pastatomos arba tvirtinamos prie sienos, spintos – su įvairaus išdėstymo lentynėlėmis. Ant stovų (žr. 2 pav.) dažnai dedama tokia virtuvės įranga kaip konvekinės krosnys ar indaplovės, o ant privirintų kreipiančiųjų laikomi padėklai maisto produktams ar indaplovės kasetės.



2 pav. Konvekinės krosnies stovas su kreipiančiosiomis padėklams [2]

- *Indų plovimo įranga.* Tokiuose gaminiuose viskas yra pritaikoma indaplovės kasečių naudojimui, kadangi į jas dedami nešvarūs indai, kurie keliauja į pramonines indaploves ir ten yra išplaunami. Šiai grupei priklauso įvairios indaplovės, indaploviniai stalai, kurie turi specialius užkabinimus prie indaplovių, rūšiavimo stalai (žr. 3 pav.), skirti nešvariems indams ir atliekoms rūšiuoti, stalai su ritinėliais, pritaikyti kasetėms transportuoti.



3 pav. Rūšiavimo stalas [3]

- *Šaldymo įranga.* Tai pramoniniai šaldytuvai, šaldikliai, suši vitrinos, saladetės, įvairios paskirties šaldymo stalai (pvz.: picoms, gėrimų dėžėms) (žr. 4 pav.), šaldomos pastatomos lentynos ir vitrinos, įmontuojamos šaldomos vonios. Šaldomi stalai gali būti reguliuojamo aukščio, su įvairaus dydžio bei išdėstymo stalčiais, varstomomis durimis.



4 pav. Šaldymo stalas su stalčiais gėrimams [4]

- *Šildymo įranga.* Į šią grupę priskiriami šildymo stalai, pastatomos šildymo lentynos, vitrinos, įmontuojami ir pastatomi marmitai, konvekcinės krosnys, indukcinės viryklės, maisto pašildytuvai, šildymo lempos, įmontuojami ir pastatomi šildomi paviršiai. Konvekcinės krosnys (žr. 5 pav.) ar indukcinės viryklės gali įkaisti iki 300 °C ir yra skirtos



5 pav. Konvekcinė krosnis [5]

maisto gaminimui, tuo tarpu, šildomi prietaisai ir paviršiai iki

85 – 100 °C yra naudojami tik maisto pašildymui ar tam tikros temperatūros palaikymui.

Šiame darbe analizuojamas šildomas paviršius matomas 6 paveiksle.



6 pav. Šildomas paviršius

1.2. Higienos ir saugumo reikalavimai įrenginiams pramoninėse virtuvėse

Higienos reikalavimų užtikrinimas maisto gamybos įstaigose naudojamais įrenginiais yra paremtas RVASVT principais. RVASVT – tai rizikos veiksnių analizės ir svarbių valdymo taškų sistema. RVASVT sistema leidžia visapusiškai išanalizuoti ir įvertinti pavojus žmogaus sveikatai, susijusius su maisto produktų gamybos etapais, transportavimu, vartojimu ir sąlygoja efektyvų kokybės valdymą. Ši sistema aprašo reikalavimus, kurie turi būti įvertinti prietaisams, naudojamiems pramoninėse virtuvėse:

- pramoninėse virtuvėse naudojamos medžiagos, kurios turi sąlytį su maistu, savo sudėtyje negali turėti medžiagų kiekių, kurie galėtų kelti pavojų žmogaus sveikatai, pakeistų maisto sudėtį ar pablogintų jo juslines savybes [6];
- visi paviršiai, kurie tiesiogiai gali liestis su maistu, turi būti iš lygių, plaunamų, korozijai atsparių medžiagų;
- visi prietaisai, detalės, įrenginiai, kurie turi bet kokį kontaktą su maistu, turi būti tinkamai valomi, o, esant reikalui, ir dezinfekuojami;
- kadangi su pramoninėje virtuvėje esančiais prietaisais dirba žmonės, šie turi atitikti tam tikrus saugumo reikalavimus. Įrangoje neturi būti aštrių kampų ar briaunų, į kurias darbuotojas galėtų susižaloti. Taip pat turi būti apgalvotas temperatūrų reguliavimas, jos intervalas, bei saugikliai, kurie užtikrina, jog nebūtų viršijamas nustatytas temperatūrų intervalas [7].

Remiantis šia sistema pagrindžiamas šildomo paviršiaus deformacijos nuo temperatūros aktualumas, kadangi paviršiaus deformacija lemia ne tik prarastą patogumą darbuotojui naudotis prietaisu, tačiau ir pavojų sveikatai. Paviršiui deformuojantis, atsiranda galimybė darbuotojui susižeisti, kadangi šildomas paviršius išsibanguoja – įlinksta, o tai įtakoja jo kraštų pakilimą nuo stalo paviršiaus. Žinoma, prie tokio šildomo paviršiaus taip pat nėra patogu dirbti, nes darbinis paviršius nėra lygus. Stalas su įmontuotu šildomuoju paviršiumi UWPI vaizduojamas 7 paveiksle.



7 pav. Stalas su įmontuotu šildomuoju paviršiumi UWPI

1.3. Šildymo būdai ir įranga, naudojami profesionaliose virtuvėse

Vargu ar šiandieninis žmogus įsivaizduoja savo gyvenimą be termiškai apdoroto, šilto maisto. Nenuostabu, juk mokslininkų teigimu, žmonės gebėjo naudoti ugnį jau prieš maždaug 1.7 mln. metų [8]. Šiandien yra žinoma nemažai būdų, kurių pagalba galima pašildyti maistą, ar, esant poreikiui, palaikyti tam tikrą maisto šilumą. Šios funkcijos yra reikalingos tiek kiekvieno mūsų virtuvėje, tiek ir profesionalių restoranų, kavinių virtuvėse.

Profesionalioje maisto ruošimo virtuvėje kyla didesnių reikalavimų maisto šildymo prietaisams nei kiekvieno mūsų namuose esančiais, maistui šildyti skirtai, virtuvės įrangai. Ši įranga, visų pirma, turi puikiai atlikti savo paskirtį, ir vienas iš pagrindinių reikalavimų jai yra tos funkcijos, šiuo atveju, šildymo, palaikymas ilgą laiką, dažniausiai visą restorano, kavinės darbo dienos laiką. Todėl toks prietaisas turi būti itin patogus naudoti darbuotojams, taip pat privalo būti saugus jį naudojančiam asmeniui ir lengvai prižiūrimas (įrenginys, naudojamas maistui šildyti, yra dažnai valomas).

Orientuojantis į pramonines virtuves, reiktų paminėti, jog labai svarbus aspektas yra prietaisų dydis. Dažnai, įrenginėjant profesionalias virtuves, užsakovas nori daug funkcijų atliekančios virtuvės, kai, tuo tarpu, jos erdvė yra labai ribota. Šis poreikis gerokai apsunkina įrangos kūrimą ir projektavimą, todėl būtina atsižvelgti į įrangos komponentų dydį ir stengtis pasirinkti tokias prietaisų dalis, kurios užimtų kiek įmanoma mažiau vietos įrenginio konstrukcijoje. Taip pat labai svarbu, jog pagrindinę funkciją atliekanti prietaiso dalis, šiuo atveju, šilumą skleidžiantis komponentas, būtų lengvai pakeičiamas šiam sugedus.

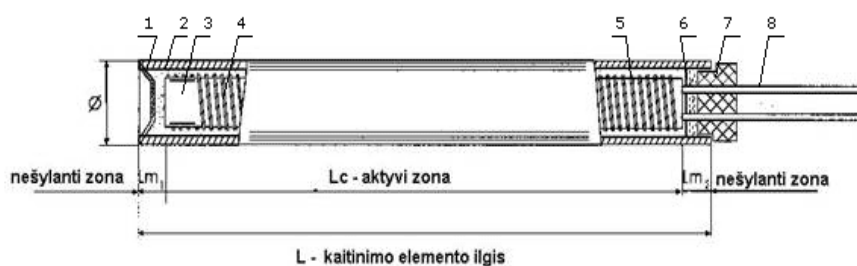
Pramoninėje virtuvėje dažniausiai naudojami maisto šildymo, ruošimo prietaisų šaltiniai yra dujos arba elektros energija. Tiek vienu, tiek kitu būdu, maistą galima šildyti tiesioginiu kontaktu: kuomet maistas (ar lėkštė) šildomas, kaitinamas iš apačios, jam tiesiogiai liečiantis su šildymo prietaisu, arba be tiesioginio kontakto, kai maistas šildomas iš viršaus, esant tam tikram atstumui nuo jo. Vienas populiariausių maisto ruošimo prietaisuose naudojamų šildymo komponentų yra kaitinimo elementai. Kaitinimo elementas konvertuoja elektros energiją į šilumą per varžinį arba Džaulio šildymo procesą. Elektros srovė prateka elementu patirdama pasipriešinimą. Taip elementas yra įkaitinamas. Šis procesas yra nepriklausomas nuo srovės tekėjimo krypties. Kaitinimo elementai būna įvairių rūšių: metaliniai, keramikiniai, sudėtiniai, polimeriniai PTC (angl. Positive Temperature Coefficient), kaitinimo lempos [9]. Elemento tipas pasirenkamas pagal tai, kokiame gaminyje jis bus panaudotas, kokius atitinkamus kriterijus, pavyzdžiui, reikiamą galią, ilgaamžiškumą, matmenis, formą, energijos suvartojimą, kainą, privalo tenkinti.

1.3.1. Vamzdeliniai kaitinimo elementai

Dauguma kaitinimo elementų gaminami iš nichromo 80/20 (80% nikelio, 20% chromo) vielos, juostos arba juostelės. Nichromas 80/20 yra labai tinkama medžiaga, nes ji turi santykinai didelį atsparumą karščiui ir suformuoja lipnų sluoksnį chromo oksidacijos atveju, kai jis yra kaitinamas pirmą kartą. Medžiaga po šio sluoksnio nesioksiduoja, nėra galimybės trūkinėti ar užsidegti laidams [9] (žr. 8 pav.). Kaitinimo elemento konstrukcija pateikiama 9 pav. Atramine nichromo viela (4) paleidžiama elektros srovė, kuri yra perduodama keramikinei šerdžiai (3). Ši kaisdama kaupia šilumą ir perduoda ją metaliniam vamzdeliui (2). Tokiu būdu, visas vamzdelinis kaitinimo elementas tolygiai įkaista.



8 pav. Vamzdelinis kaitinimo elementas [10]



9 pav. Vamzdelinis kaitinimo elementas ir jo konstrukcija: 1 - dugnas, 2 - metalinis vamzdelis, 3 - keramikinė šerdis, 4- atraminė viela, 5 - izoliacinė medžiaga, 6 - sandarintuvas; 7 - izoliatorius [11]

Vamzdeliniai varžinio kaitinimo elementai gali būti atsparios vielos arba juostos, tiesios arba apvyniotos. Jie naudojami tokiuose šildymo prietaisuose kaip, pavyzdžiui, skrudintuvai, elektrinės viryklės, marmitai, plaukų džiovintuvai, krosnys, grindų šildymas, stogo šildymas ir t.t Dažniausiai naudojami metalai: nikelis, vario nikelio liejinys.

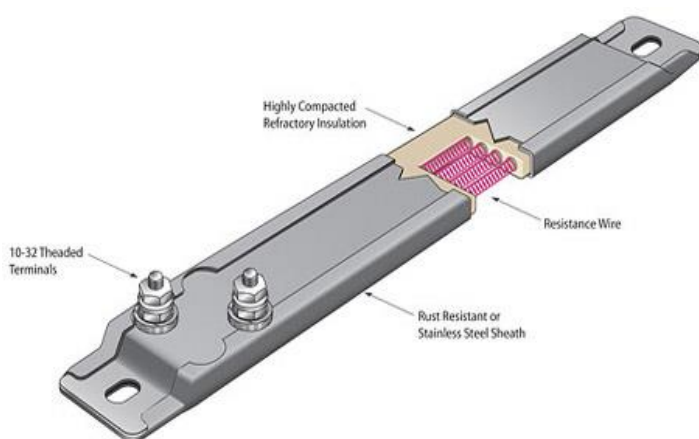
Marmitas – tai maisto šildymo prietaisas, kuriame dažniausiai įvirinami arba įstatomi specialūs gastronomiciniai indai (GN indai), naudojami profesionaliose virtuvėse. Tokio tipo indai būna fiksuotų matmenų, todėl marmitai, kuriuose šie GN indai yra išimami, būna pritaikyti būtent tam tikrų pasirinktų gabaritų gastronomiciniams indams. Marmituose naudojamų vamzdelinių kaitinimo elementų skersmuo yra ganėtinai didelis: 6 – 8 mm [12], elementai išvysto 1300 W galią ir palaiko +30 – +90 °C temperatūrą įrenginyje. Prietaiso korpusas gaminamas iš patvaraus nerūdijančio plieno. Marmito su pramoniniais gastronomiciniais indais pavyzdys parodytas 10 pav.



10 pav. Marmitas su GN indais, kuriame naudojamas vamzdelinis kaitinimo elementas [13]

1.3.2. Juosteliniai keramikiniai kaitinimo elementai

Juosteliniai keramikiniai kaitinimo elementai yra gaminami su tokiu keraminiu sluoksniu, kuris sugeba greitai perduoti šilumą, gautą iš įkaitusių, dažniausiai nikelio – chromo vielų vijų, nerūdijančio plieno korpusui (žr. 11 pav.). Tai įtakoja mažą elemento vidinę temperatūrą ir ilgą kaitinimo elemento tarnavimo laiką. Glaudžiai išdėliotos vielos užtikrina vienodą temperatūrą per visą nerūdijančio plieno korpuso ilgį ir plotį. Tokio keramikinio kaitinimo elemento konstrukcija gali išlaikyti pakankamai aukštą temperatūrą. Šio tipo kaitinimo elementai yra apie 10 mm storio.



11 pav. Keramikinis kaitinimo elementas ir jo pagrindinės dalys [14]

Keramikiniai kaitinimo elementai naudojami tokiuose gaminiuose kaip viryklės, vandens šildytuvai, maisto pašildymo prietaisai, erdvių šildymo lempos. Vienas iš juostelinių kaitinimo elementų panaudojimo pavyzdžių pramoninėse virtuvėse yra keramikinis infraraudonųjų spindulių šildytuvas. Šis šildytuvas yra skirtas palaikyti tam tikrą nustatytą patiekalo temperatūrą, nukreipiant šilumą iš viršaus į patiekalą. Jo korpusas pagamintas iš aliuminio ir suprojektuotas taip, jog keramikiniai kaitinimo elementai būtų išdėlioti tokia tvarka, kuri užtikrintų tolygų šilumos pasiskirstymą. Keramikiniuose infraraudonųjų spindulių šildytuvuose esantys kaitinimo elementai gali pasiekti galią nuo 500 iki 3360 W [15], priklausomai kokių gabaritų prietaisas yra reikalingas. Keramikinis infraraudonųjų spindulių šildytuvas matomas 12 paveiksle.



12 pav. Keraminis infraraudonųjų spindulių šildytuvas [16]

1.3.3. Šildymo lempos

Šildymo lempos (žr. 13 pav.) – tai yra didelio galingumo kaitinamosios lempos, kurios dažniausiai naudoja mažesnę galią nei yra numatytoji maksimali, tam, kad spinduliuotų daugiausia infraraudonųjų spindulių, o ne matomą šviesą. Tokios kaitinimo lempos turi volframo spiralę, kuri yra įkaitinama ne daugiau kaip 2600 K, tam, kad matomajai spektro šviesai būtų išnaudojama tik 3% energijos. Šildymo lempos ertmė yra apsupta ksenono ar argono inertinių dujų ir jodo mišiniu, o pati lemputė gaminama iš kvarco, kuris praleidžia spindulius iki 4 μm . Įkaitęs kvarcas tampa infraraudonųjų spindulių šaltiniu [18].



13 pav. Šildymo lempa [17]

Tokio tipo lempos naudojamos patalpose, kur reikalingas šildymas (vonios kambariai, gyvūnų laikymo patalpos), dažų džiovinimui, maisto šildymui. Maisto pramonėje šildymo lempos naudojamos infraraudonųjų spindulių maisto šildytuvams. Tokiuose šildytuvuose naudojamos kaitinimo lempos, kurių galia siekia 250 W. Šie šildytuvai yra sudaryti iš pagrindo, ant kurio dedamas maistas (dažniausiai lėkštėse), ir į tą pagrindą nukreiptų, gaubtuose patalpintų, šildymo lempų. Dažnai šių šildytuvų pagrindu būna gastronominiai indai (GN). 14 paveiksle vaizduojamo infraraudonųjų spindulių maisto šildytuvo korpusas pagamintas iš aliuminio.



14 pav. Infraraudonųjų spindulių maisto šildytuvas [19]

1.3.4. Kaitinimo kilimėliai

Kaitinimo kilimėliai (žr. 16 pav. b) taip pat, kaip ir kaitinimo elementai, konvertuoja elektros energiją į šilumą. Silikono kaučiuko ir stiklo pluošto kaitinimo kilimėliai dažnai naudojami stalų, lentynų, spintelių paviršiams šildyti, tačiau yra ganėtinai brangūs. Tokie kilimėliai turi gerą lankstumą, yra itin ploni – 1 mm storio, gali liestis su kaitinamu objektu. Kaitinimo elementas kilimėlyje – tai graviruota nikelio lydinio folija, kurią galima paskirstyti per visą kilimėlio plotą, ar tam tikroje reikiamoje vietoje. Taip užtikrinamas reikiamas šilumos paskirstymas. Graviruotos folijos (žr. 15 pav.) elementai paprastai yra pagaminti iš tų pačių lydinių, kaip ir atsparios vielos elementai, bet yra gaminamos foto ėsdinimo proceso pagalba, kurio metu išgaunamas varžinio komponento raštas [9]. Maisto pramonėje dažniausiai naudojamų kaitinimo kilimėlių galia siekia 750 W, tokios galios kilimėlis išvysto 85 °C temperatūrą. Kilimėlio komponentai (žr. 16 pav. a): 1) maitinimo laidas; 2) termostatas; 3) silikono sluoksnis; 4) kaitinimo elementas [21].



15 pav. Graviruota folija [20]

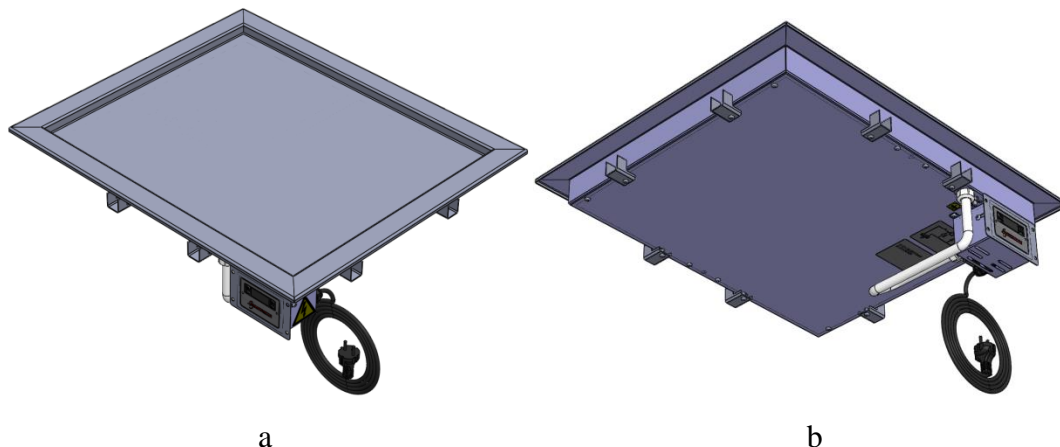


16 pav. a – kaitinimo kilimėlio komponentai: 1 – maitinimo laidas, 2 – termostatas, 3 – silikono sluoksnis, 4 – kaitinimo elementas; b – kaitinimo kilimėlis [21, 22]

Apžvelgus maisto pramonėje dažniausiai naudojamus šildymo būdus, galima pastebėti, jog vamzdeliniai bei juosteliniai keramikiniai kaitinimo elementai užima ganėtinai daug vietos, o darbe analizuojamam šildomam paviršiui kiekvieno komponento matmenys yra labai svarbus aspektas. Šilumos lempos dažniausiai naudojamos maistui pašildyti iš viršaus ir nėra itin saugios, kadangi yra grėsmė, jog lempos suduš ir šukės pateks į šildomą maistą. Nors toks šildymo būdas, kaip ir maisto šildytuvuose, naudojant keramikinius elementus, yra ganėtinai patogus. Renkantis kaitinimo kilimėlius, kaip šilumos šaltinį, galima gerokai sutaupyti vietos konstruojant maistui šildyti skirtą prietaisą, o graviruota folija pasiskirsto po visą kilimėlio plotą, taip užtikrindama temperatūros pasiskirstymą šildomame paviršiuje. Tačiau, reiktų paminėti, jog tokie kaitinimo kilimėliai yra brangūs. Šiuo atveju, tiriamajame šildomame paviršiuje naudojami kaitinimo kilimėliai, norint kuo labiau sumažinti viso šildomo paviršiaus storį (kadangi kilimėlio storis siekia tik 1 mm).

2. Maisto ruošimo šildomas paviršius UWP1

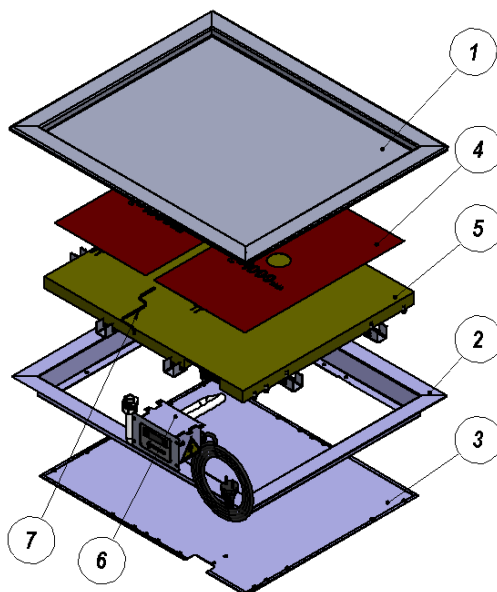
Šiame darbe analizuojamas konkretus įmonės UAB “Novameta” gaminamas maisto ruošimo šildomas paviršius UWP1 (žr. 17 pav.). Tokie paviršiai, pagal kliento reikalavimus, gali būti įleidžiami į bet kokį stalą, spintelę ar kitą gaminį, naudojamą profesionalioje virtuvėje. Paviršius yra reguliuojamos temperatūros ir gali įšilti nuo 30 iki 85 °C per 4 minutes.



17 pav. Įmonės UAB “Novameta” šildomas paviršius UWP1; a – izometrinis vaizdas iš viršaus, b – izometrinis vaizdas iš apačios

2.1. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 konstrukcija

Šildomo paviršiaus UWP1 pagrindinės dalys, kurios turės daugiausiai įtakos tyrimui (žr. 18 pav.): stalviršius (1), profilių rėmas (2), dugnas (3), šildymo kilimėlis (4), izoliacinė vata (5), valdymo blokas (6) ir temperatūrinis daviklis (7). Pilna gaminio konstrukcija pateikiama 1 priede.



18 pav. Pagrindinės šildomo paviršiaus UWP1 dalys: 1 – stalviršius, 2 – profilių rėmas, 3 – dugnas, 4 – šildymo kilimėlis, 5 – izoliacinė vata, 6 – valdymo blokas ir 7 – temperatūrinis daviklis

Stalviršis. Šildomo paviršiaus stalviršis gaminamas iš lankstomo nerūdijančio plieno AISI 304. Šis plienas yra tinkamas virinimui, pasižymi patvarumu, plastiškumu, atsparumu korozijai, pakankamai geru atsparumu temperatūrai. Ypač plačiai naudojamas profesionalios virtuvės įrangos gamyboje. Standartiniuose šildomų paviršių UWP1 stalviršiuose naudojamas 1,5 mm storio AISI 304 lakštas. Šio tipo plieno šiluminės savybės, kurios bus reikalingos tyrimui atlikti, pateikiamos 1 lentelėje [23].

1 lentelė. Šildomo paviršiaus UWP1 pagrindinių elementų medžiagų šiluminės savybės

Savybė \ Medžiaga	AISI 304	AISI 201	Šildymo kilimėlis (silikonas)	Akmens vata
Šiluminio plėtimosi koeficientas (20°C) · 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	18	17	8	7
Šilumos laidumo koeficientas W(m·K)	16	16,3	0,22	0,035
Šiluminė talpa J/kg·K	500	502	1300	840

Profilių rėmas ir dugnas. Lankstomi iš AISI 201 nerūdijančio plieno. Šio tipo plienas lengvai virinamas, nemagnetinis atkaitintoje būsenoje, pigesnis nei AISI 304, todėl naudojamas konstrukcine reikšme mažiau svarbioms detalėms gaminyje. Standartiniuose šildomų paviršių UWP1 profilių rėmuose ir dugnuose naudojamas 0,8 mm storio nerūdijančio plieno AISI 201 lakštas. Šiluminės savybės pateikiamos 1 lentelėje [24,25].

Šildymo kilimėlis (19 pav). Gaminamas iš stiklo pluoštu sustiprinto silikono, kuris yra lankstus, plonas, lengvas, ilgaamžis ir turi geras termomechanines savybes. Tarp dviejų silikono lakštų yra įlamenuojami vieliniai kaitinimo elementai, kurie smulkiai išraizgyti per visą kilimėlio plotą. Šis kilimėlis įkaista iki 85 °C, jo galia 750 W. Kilimėlio gabaritiniai matmenys yra fiksuoti: 470 x 270 x 1 mm arba 470 x 540 x 1 mm. Detalūs šildomame paviršiuje naudojamo kilimėlio matmenys pateikti 2 priede. Tyrimui reikalingos šildymo kilimėlio šiluminės savybės pateikiamos 1 lentelėje [26, 27].



19 pav. Šildomuose paviršiuose UWP1 naudojami šildymo kilimėliai

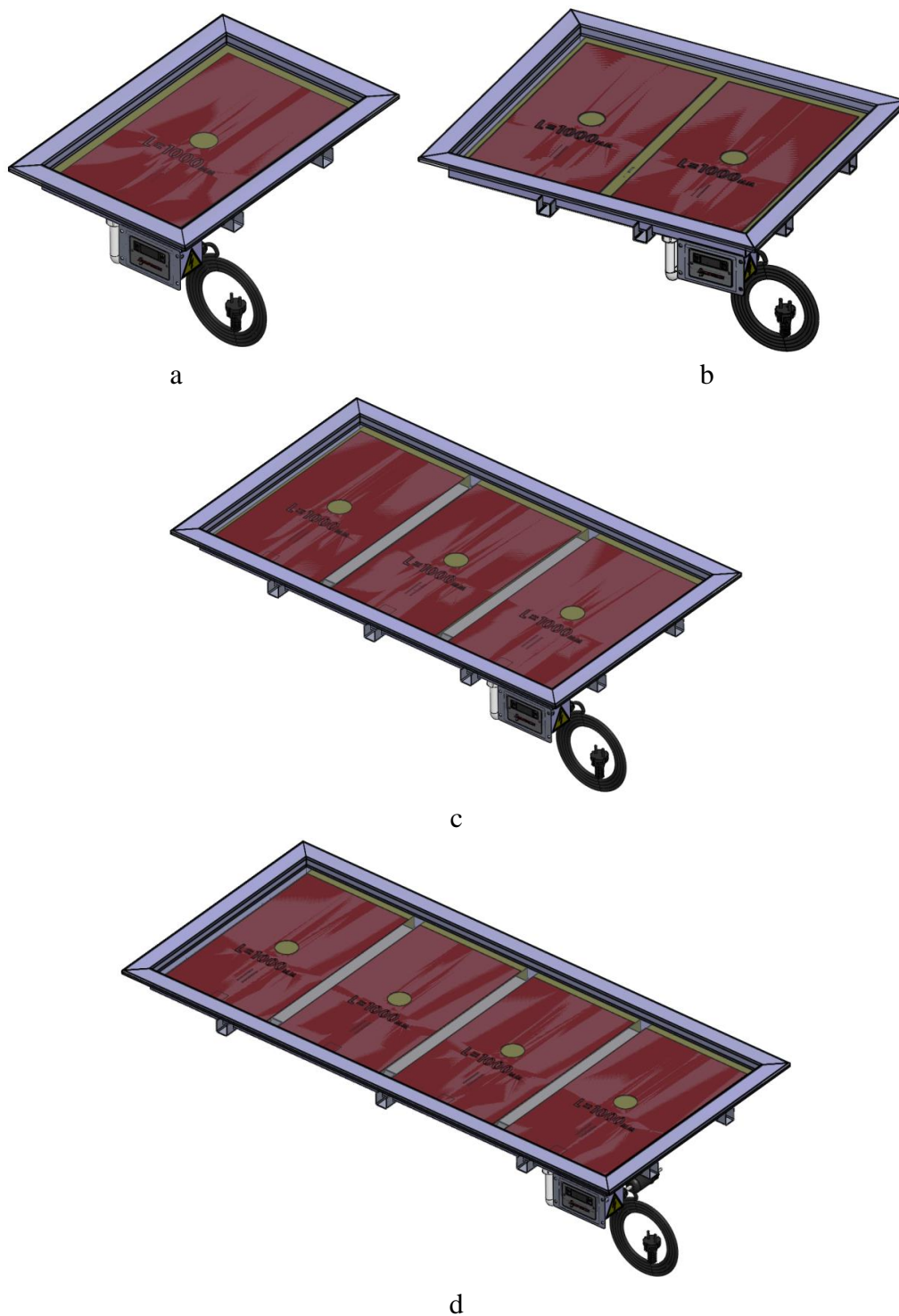
Izoliacinė akmens vata „Paroc WAS 35“ (žr. 20 pav.). Ši izoliacinė medžiaga yra lanksti, nedegi, pasižymi gera šilumine varža, atsparumu aukštomis temperatūroms. Laikui bėgant akmens vata nesukrenta, nesusitraukia ir nepraranda izoliacinių savybių. Akmens vatoje naudojamas rišiklis pradeda garuoti maždaug 200 °C temperatūroje. Medžiagos šilumos izoliavimo savybės išlieka nepakitusios, tačiau stipris gniuždymui sumažėja. Akmens vata pradeda minkštėti pasiekus 1000 °C temperatūrą. Ją lengva pjaustyti ir pritaikyti reikiamam gaminiui [28]. Šildomajame paviršiuje naudojama akmens vata yra 30 mm storio. Jos šiluminės savybės pateikiamos 1 lentelėje [29,30].



20 pav. Akmens vata [31]

2.2. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus dydžių gama

Šildomi paviršiai gali būti gaminami skirtingų ilgių, intervale nuo 400 mm iki 1500 mm. Nuo gaminio ilgio priklauso naudojamų šildomų kilimėlių kiekis paviršiuje. Kilimėliai paviršiuose išdėstomi kas 30 mm atstumu, o tarp jų yra pritvirtinamas 30 x 30 mm vamzdis paviršiaus standumui sustiprinti. 5 paveiksle vaizduojamos dažniausiai užsakomų šildomų paviršių konfigūracijos. 2 lentelėje pateikiami šildomų kilimėlių kiekiai šioms konfigūracijoms.



21 pav. Šildomų paviršių konfigūracijos (L – šildomo paviršiaus ilgis):
 a – L = 400 mm, b – L = 700 mm, c – L = 1000 mm, d – L = 1300 mm

Norint pagaminti tarpinių variantų nei išvardintos konfigūracijos (žr. 21 pav.) maisto ruošimo šildomus paviršius, yra naudojami dviejų tipų kilimėliai: 470 x 270 x 1 mm ir 470 x 540 x 1 mm. Kadangi įmonėje atlikti paviršiaus įlinkio bandymus su skirtingais jo ilgiais būtų per daug sudėtinga, bandymams atlikti pasirenkamas dažniausiai klientų užsakomas šildomas paviršius, kurio ilgis $L = 700$ mm.

3. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio eksperimentinis tyrimas

Kad ir kaip būtų patogu atlikti tyrimus programinėmis įrangomis, niekas nepakeis realių eksperimentinių tyrimų, kuriais galima ir reikia įsitikinti ar kompiuterine programa atlikti skaičiavimai tikrai atitiks realybę. Todėl šis šildomo paviršiaus UWP1 tyrimas bus atliekamas eksperimentiškai. Tyrimo metu bus stebimas šildomo paviršiaus šildymo kilimėlio, plieninio stalviršio temperatūros pokytis ir šildomo paviršiaus taško įlinkis laike, bei maksimalus įlinkis nusistovėjus temperatūrai.

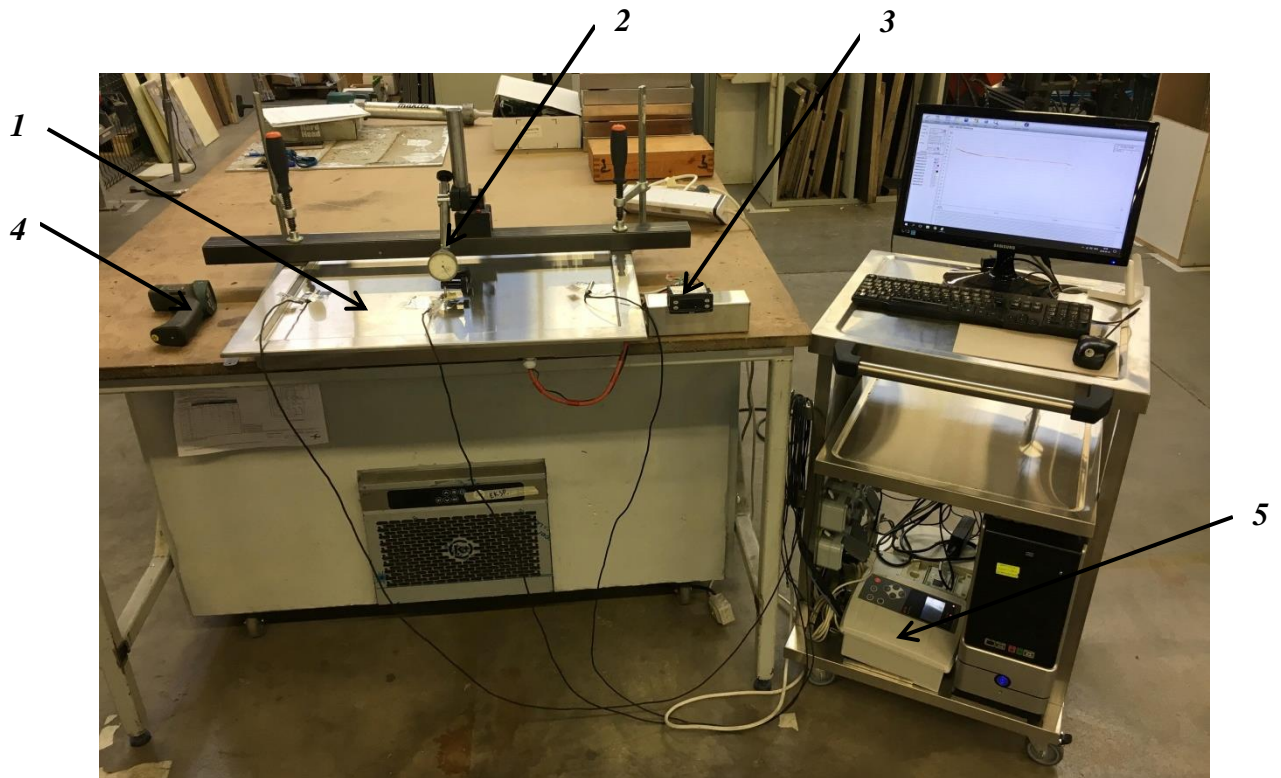
3.1. Eksperimentinio tyrimo metodika ir įranga

Eksperimentas atliekamas UAB „Novameta“ gamybos patalpose, kur aplinkos temperatūra siekia apie 25 °C. Kaip jau minėta, kadangi atlikti eksperimentinius tyrimus su skirtingų ilgių maisto ruošimo šildomais paviršiais būtų per daug sudėtinga ir prireiktų nemažai įvairių medžiagų, bandymai atliekami su 700 mm ilgio šildomu paviršiumi, tačiau yra keičiamas paviršiaus stalviršio storis. Taip pat, žinant, jog aliuminis turi geras šilumines savybes, atliekamas eksperimentas į šildomo paviršiaus konstrukciją įterpian aliuminio lydinio lakštą.

Atliekami šie maisto ruošimo šildomo paviršiaus eksperimentai:

- su 1 mm storio nerūdijančio plieno stalviršiu;
- su standartiniu 1,5 mm storio nerūdijančio plieno stalviršiu;
- su 2 mm storio nerūdijančio plieno stalviršiu;
- su standartiniu 1,5 mm storio nerūdijančio plieno stalviršiu ir 6 mm storio aliuminio lydinio lakštu.

Tyrimo stendą (žr. 22 pav.) sudaro: šildomas paviršius UWP1 700 x 600 x 55 su standartiniu 1,5 mm storio nerūdijančio plieno AISI 304 stalviršiu, nerūdijančio plieno AISI 201 profilių rėmu, AISI 201 dugnu, 2 šildymo kilimėliais, kurių kiekvieno galia siekia 750 W ir aukštis 890 x 510 x 30 mm 1, laikrodinio poslinkio indikatoriaus IČ-10 2 (žr. 23 pav.), valdiklis 3, bekontaktis infraraudonųjų spindulių termometras 4 (žr. 24 pav.), daugiakanalis temperatūros ir slėgio duomenų registratorius 5 (žr. 25 pav.), elektroninis gylmatis (matomas 34 pav.) liniuotė ir laikmatis.



22 pav. Tyrimo stendas: 1 – šildomas paviršius UWPI, 2 – laikrodinio poslinkio indikatorius IČ-10, 3 – valdiklis, 4 – bekontaktis infraraudonųjų spindulių termometras, 5 – daugiakanalis temperatūros ir slėgio duomenų registratorius

Tiksliam objekto paviršiaus įlinkio nustatymui naudojamas laikrodinis poslinkio indikatorius IČ-10 (žr. 23 pav.). Šio prietaiso pagalba galima nustatyti kokio gylio įlinkis yra konkrečiame pasirinktame objekto paviršiaus taške. Siekiant itin tikslių matavimų rezultatų arba esant sudėtingoms objekto paviršiaus matavimo sąlygoms, šis prietaisas naudojamas kartu su elektromagnetiniu stovu, kuris patikimai įtvirtina ir stabilizuoja prietaisą. Pagrindiniai standartinio laikrodinio poslinkio indikatoriaus IČ-10 specifikacijos duomenys pateikiami 3 priede [32].



23 pav. Laikrodinis poslinkio indikatorius IČ-10

Paviršiaus temperatūrai nustatyti buvo naudojamas bekontaktis infraraudonųjų spindulių termometras „MASTECH MS6530B“ (žr. 24 pav.). Tai termometras, skirtas objekto temperatūros matavimui per atstumą. Šis prietaisas per priekyje esantį lešį sufokusuoja objekto sklaidžiamus infraraudonuosius spindulius į sensorių, konvertuoja paviršiaus temperatūros duomenis į elektrinį signalą ir mikroprocesoriaus pagalba apskaičiuoja matuojamą temperatūrą. Pagrindinė šio prietaiso specifikacija pateikta 4 priede [33].

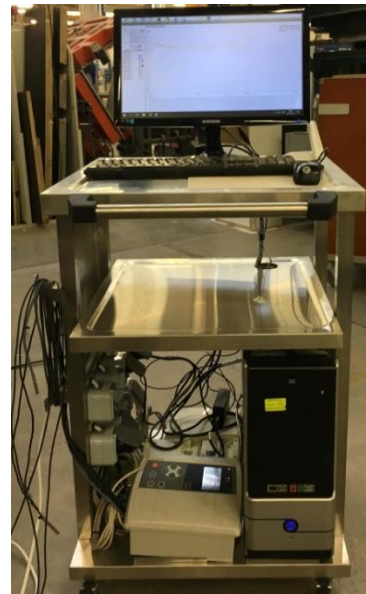


24 pav. Bekontaktis infraraudonųjų spindulių termometras

Norint matyti šilumos pasiskirstymą per visą paviršių, buvo nustatoma temperatūra keliuose paviršiaus taškuose P3, P5, P6 (žr. 29 pav.). Šiam tikslui buvo naudojamas daugiakanalis temperatūros ir slėgio duomenų registratorius (be spausdintuvo) - Eliwell Memory 1000 (žr. 25 pav.). Prietaisas skirtas temperatūros ir slėgio duomenų registravimui bei perdavimui. Temperatūros duomenų registravimui prietaisas naudoja sensorius, kurie įrengiami tam tikroje numatytoje patalpos ar daikto, kurių duomenis norima stebėti, vietoje. Sensoriai (žr. 26 pav.) laidiniu būdu sujungiami su prietaisu, kuris realiu laiku registruoja jų fiksuojamus duomenis iš matuojamo objekto. Šie duomenys gali būti matomi prietaiso ekrane arba internetinio tinklo pagalba juos galima persiųsti į kompiuterį. Prietaise gali būti saugomi daugiau nei 12 mėnesių trukmės registruoti duomenys. Pagrindiniai daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus specifikacijos duomenys pateikiami 5 priede [34].



a



b

25 pav. Daugiakanalis temperatūros ir slėgio duomenų registratorius (be spausdintuvo) - Eliwell Memory 1000: a – registratorius; b – registratorius, prijungtas prie kompiuterio duomenų perdavimui



26 pav. Daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus Eliwell Memory 1000 sensorius

Įlinkiui matuoti pasirinktas kontrolinis taškas, kurio koordinatės: 400 x 300 mm (žr. 27 pav.). Šis kontrolinis taškas pasirinktas priimant tai, jog ant šildomo paviršiaus dedamos dvi dažniausiai naudojamos 200 mm skersmens lėkštės, tuomet kontrolinis taškas yra vienos lėkštės kraštas. Atliekant eksperimentą, buvo paleidžiamas visas šiluminis galingumas, t.y., 1500 W šiluminė galia. Valdiklyje viso tyrimo metu buvo stebimi šildomo kilimėlio temperatūros rodmenys, kuriuos indikuodavo temperatūrinis daviklis. Pradinė užfiksuota šildymo kilimėlio temperatūra siekė 25 °C.

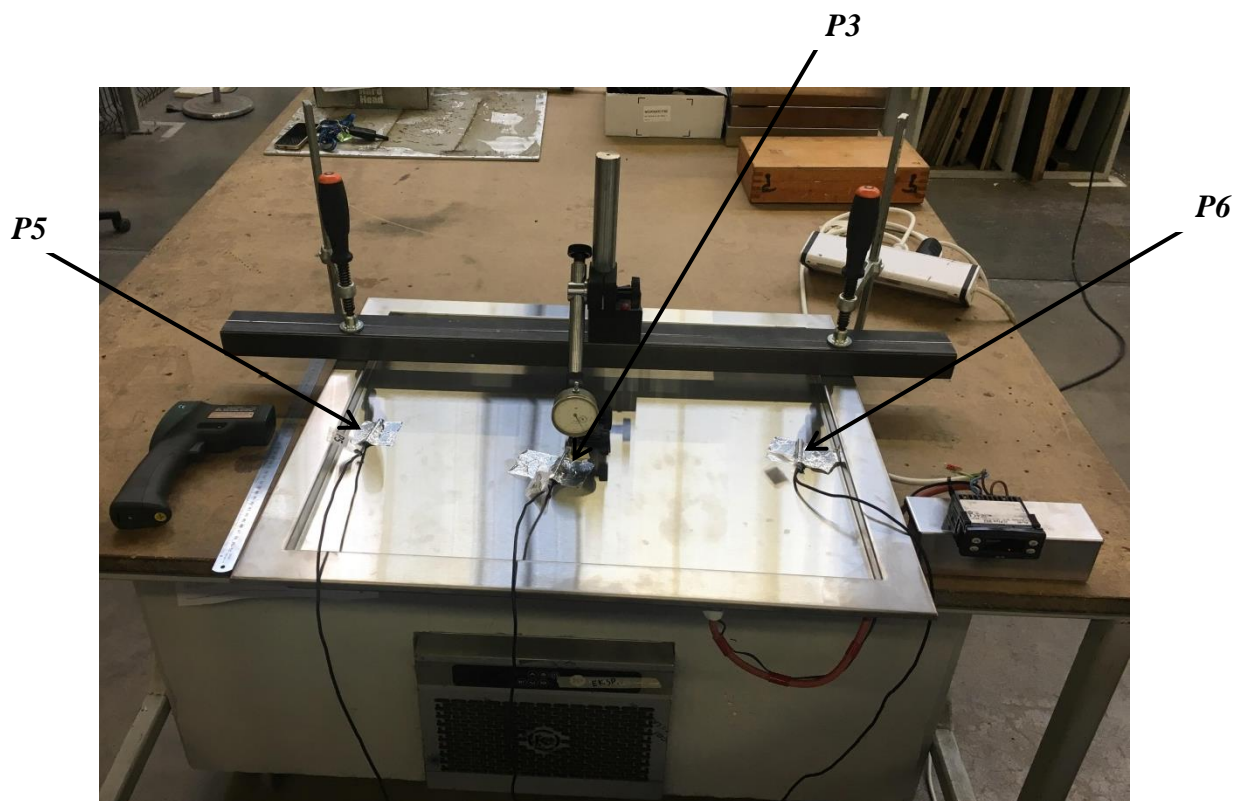


27 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 šiluminių deformacijų matavimo kontrolinis taškas

Bekontakčiu infraraudonųjų spindulių termometru užfiksuota pradinė šildomo paviršiaus temperatūra matuojamame įlinkio taške siekė 27 °C (žr. 28 pav.). Daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus sensoriai viso bandymo metu fiksuoja temperatūrą trijuose paviršiaus taškuose P3, P5, P6 (žr. 29 pav.). Paleidžiamas laikmatis temperatūros ir įlinkio kitimo stebėjimui laike. Kai šildomas kilimėlis pasiekia 85 °C, valdiklio pagalba elektros srovė yra išjungžiama, tačiau valdiklyje fiksuojama temperatūra dar kyla iš inercijos iki 100 °C.



28 pav. Pradinė šildomo paviršiaus temperatūra



29 pav. Daugikanalio temperatūros duomenų registratorius sensoriai paviršiaus taškuose: P3, P5, P6

Eksperimentinis tyrimas, keičiant maisto ruošimo šildomo paviršiaus konstrukciją, atliekamas įterpiant 6 mm storio AW-6082 tipo aliuminio lydinio intarpą. AW-6082 yra vidutinio stiprumo aliuminio lydinys, pasižymintis puikiomis antikorozinėmis savybėmis, šiluminiu laidumu ir mažu tankiu, taip pat yra tinkamas virinimui. Naudojant AW-6082 lydinį, yra sunku išgauti plonasienes, sudėtingos ekstruzijos formas, todėl aliuminio lydinys gaminiuose dažniausiai naudojamas įvairaus storio lakštais. Aliuminio lydinio AW-6082 intarpo šiluminės savybės pateikiamos 2 lentelėje [35]. Šiuo atveju šildymo kilimėliai klijuojami prie aliuminio lydinio intarpo apatinio paviršiaus, o pats intarpas klijuojamas poliuretano konstrukciniu sandarikliu – kliais 525, 3M (angl. 3M™ Polyurethane Construction Sealant 525) prie šildomo paviršiaus stalviršio iš AISI 304 plieno. Šis poliuretano sandariklis yra vienkomponentis, drėgmei atsparus ir itin lankstus, tinkamas naudoti plastiko, aliuminio, plieno, medienos, betono klijavimui. Poliuretano konstrukcinis sandariklis gali būti naudojamas temperatūroje nuo -22 °C iki +100 °C. Kljai sukietėja per 24 valandas [36]. Eksperimentinio tyrimo eiga yra analogiška bandymams, atliktiems be aliuminio lydinio intarpo.

2 lentelė. Aliuminio lydinio intarpo AW-6082 šiluminės savybės

Šiluminio plėtimosi koeficientas (20°C) · 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	24
Šilumos laidumo koeficientas W(m·K)	180
Šiluminė talpa J/kg·K	896

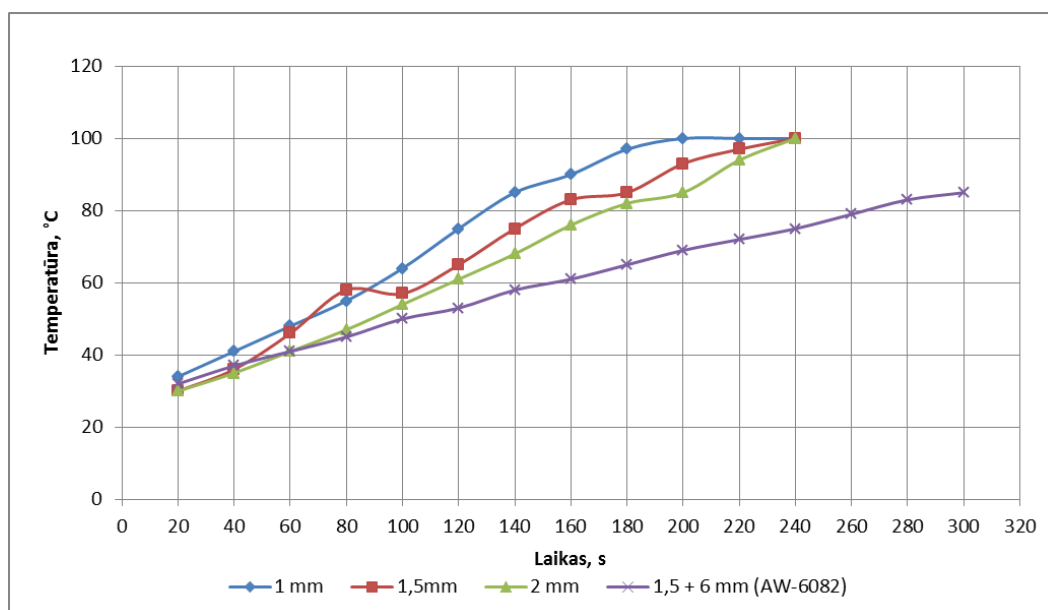
3.2. Šildomo paviršiaus eksperimentinio tyrimo rezultatai

Atlikus eksperimentą su 1,5 mm storio maisto ruošimo šildomo paviršiaus stalviršiumi išaiškėjo, jog šildymo kilimėlis 85 °C temperatūrą pasiekia per 177 s (žr. 30 pav.), o kylanti iš inercijos 100 °C kilimėlio temperatūra pasiekiamą per 226 s.

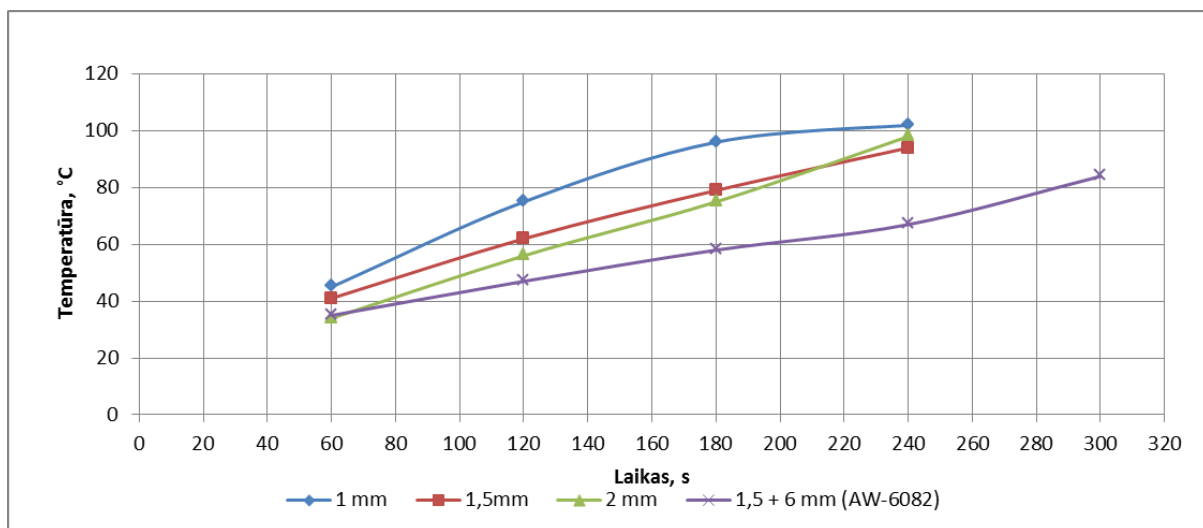


30 pav. Šildymo kilimėlis pasiekia 85 °C temperatūrą

Šildymo kilimėlio temperatūros kitimas buvo fiksuojamas kas 20 s, o maisto ruošimo šildomo paviršiaus temperatūros pasirinktame kontroliniame taške kitimas – kas 60 s. 31 ir 32 paveiksluose bei 3-oje ir 4-oje lentelėse pavaizduoti gautieji visų 4 maisto ruošimo šildomo paviršiaus eksperimentinių tyrimų šildymo kilimėlio valdiklio rodmenys ir šildomo paviršiaus taško temperatūros kitimo laike rezultatai. 6 – 9 prieduose matomi daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus užfiksuoti temperatūriniai duomenys visų 4 šildomų paviršių trijuose paviršiaus taškuose.



31 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu šildymo kilimėlio valdiklio formuojamas temperatūros kitimo dėsnis (eksperimentinis tyrimas)



32 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu temperatūros kontroliniame taške priklausomybės nuo laiko grafikas (eksperimentinis tyrimas)

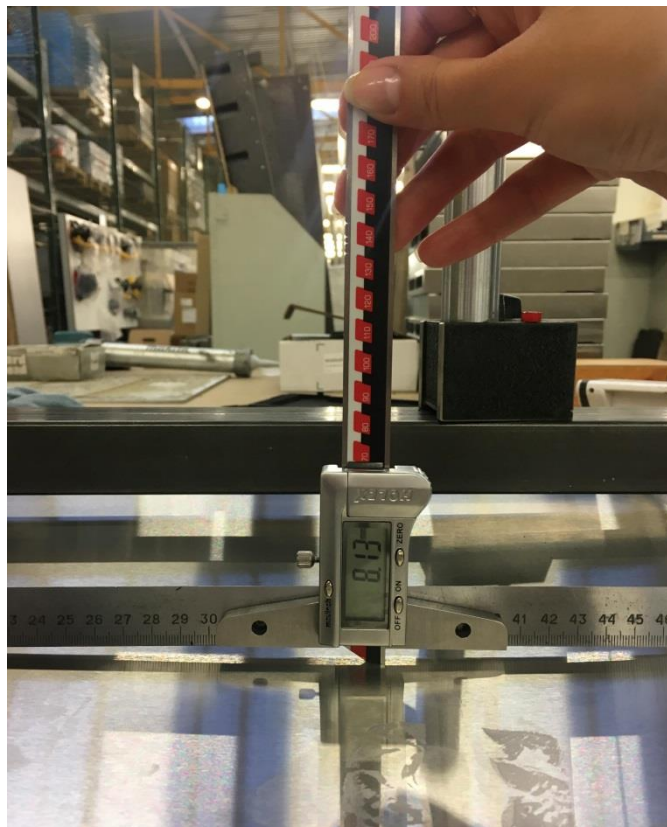
3 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 šildymo kilimėlio temperatūros kitimas pagal valdymo bloko rodmenis

Laikas, s	Temperatūra, °C			
	Šildomo paviršiaus UWP1 stalviršio storiai			
	1 mm	1,5mm	2 mm	1,5 + 6 mm (AW-6082)
20	34	30	30	32
40	41	36	35	37
60	48	46	41	41
80	55	58	47	45
100	64	57	54	50
120	75	65	61	53
140	85	75	68	58
160	90	83	76	61
180	97	85	82	65
200	100	93	85	69
220	100	97	94	72
240	100	100	100	75
260				79
280				83
300				85

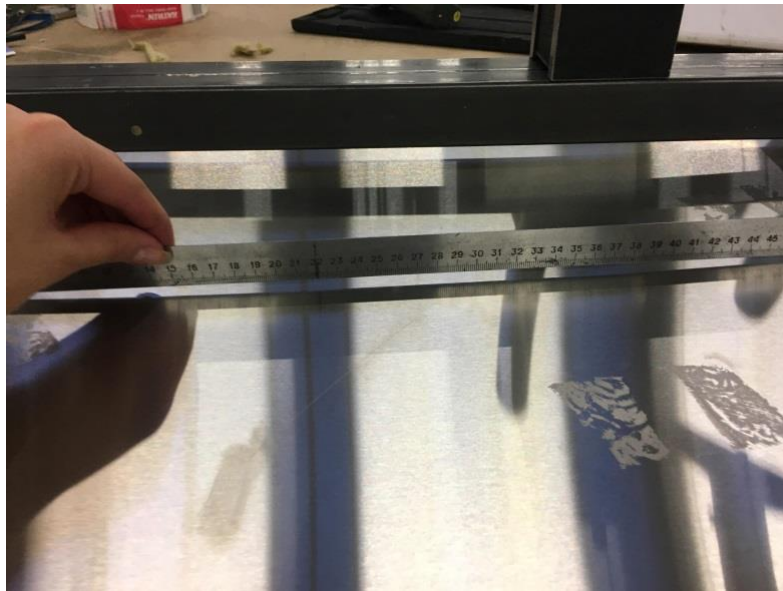
4 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 temperatūros kontroliniame taške eksperimentinio tyrimo rezultatai

Laikas, s	Temperatūra, °C			
	Šildomo paviršiaus UWP1 stalviršio storiai			
	1 mm	1,5mm	2 mm	1,5 + 6 mm (AW-6082)
60	45	41	34	35
120	75	62	56	47
180	96	79	75	58
240	102	94	98	67
300				84

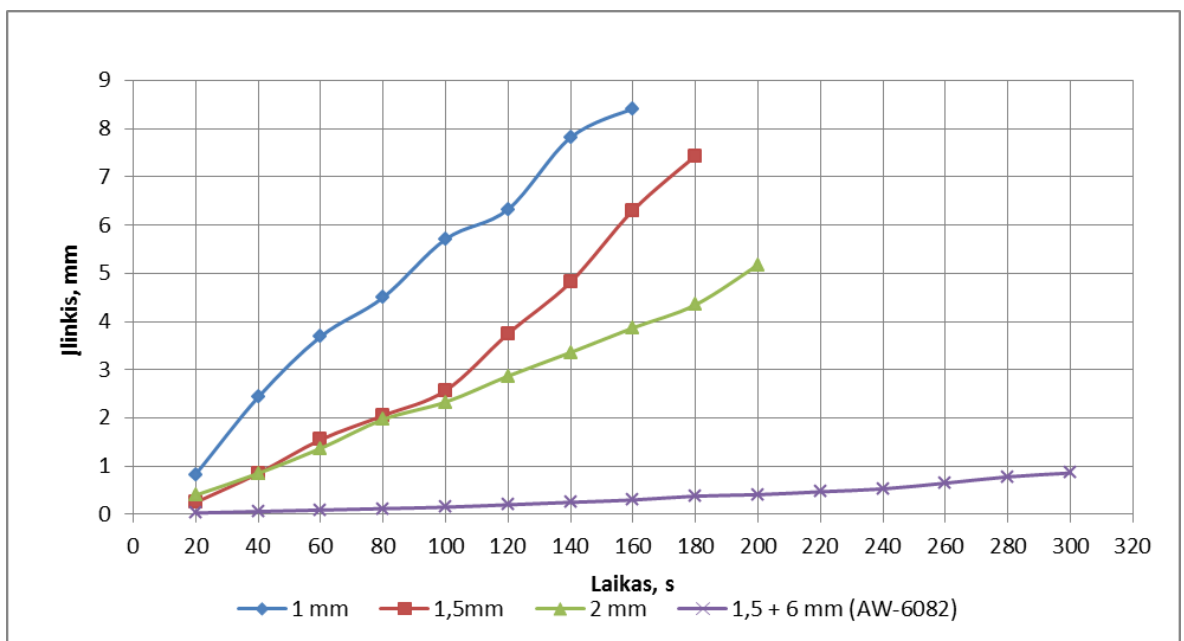
Naudojantis laikrodiniu poslinkio indikatoriumi IČ-10 buvo nustatomas paviršiaus įlinkis kontroliniame taške. Įlinkio reikšmė buvo fiksuojama kas 20 s, maksimali įlinkio reikšmė maisto ruošimo šildomo paviršiaus su 1,5 mm stalviršiu pasirinktame kontroliniame taške siekė 7,44 mm. Maksimalus įlinkis šildymo kilimėliui pasiekus 85 °C temperatūrą – 8,13 mm (žr. 33, 34 pav.). 35 paveiksle bei 5-oje lentelėje pavaizduoti visų 4 maisto ruošimo šildomo paviršiaus maksimalaus įlinkio bei įlinkio taške eksperimentinių tyrimų rezultatai.



33 pav. Maksimalus šildomo paviršiaus įlinkis, šildymo kilimėliui pasiekus 85 °C temperatūrą



34 pav. Vizualiai matomas maksimalus šildomo paviršiaus įlinkis, šildymo kilimėliui pasiekus 85 °C temperatūrą



35 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu įlinkio kontroliniame taške gautų duomenų priklausomybės nuo laiko grafikas (eksperimentinis tyrimas)

5 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 temperatūros kontroliniame taške eksperimentinio tyrimo rezultatai

Laikas, s	Įlinkis, mm			
	Šildomo paviršiaus UWP1 stalviršio storiai			
	1 mm	1,5mm	2 mm	1,5 + 6 mm (AW-6082)
20	0,83	0,25	0,4	0,03
40	2,43	0,85	0,85	0,06
60	3,69	1,55	1,37	0,09
80	4,5	2,05	1,97	0,12
100	5,71	2,57	2,33	0,15
120	6,33	3,75	2,87	0,2
140	7,82	4,82	3,36	0,25
160	8,42	6,31	3,87	0,3
180		7,44	4,35	0,38
200			5,18	0,41
220				0,47
240				0,53
260				0,65
280				0,78
300				0,86
Maks. įlinkis	9,81	8,13	6,23	1,27

Iš gautų šildomo paviršiaus temperatūrinių eksperimentinio tyrimo rezultatų matoma, jog šildymo kilimėlio valdiklio formuojamo temperatūros kitimo dėsnio (žr. 31 pav. 3 lentelė) vertės šildomų paviršių be aliuminio lydinio intarpo skiriasi nežymiai. Dėl šildomo paviršiaus konstrukcijoje esančio 6 mm aliuminio lydinio intarpo šildymo kilimėliai įkaista lėčiau ir netenka inercijos, kitaip negu šildomo paviršiaus konstrukcijos be aliuminio lydinio intarpo, kurios iš inercijos pasiekia 100 °C. Iš 32 paveiksle esančio grafiko, kuriame matomas temperatūros kontroliniame taške kitimas laiko atžvilgiu, galima daryti išvadą, kad maisto ruošimo šildomas paviršius su 1 mm storio stalviršiu įkaista greičiausiai, t.y., per 160 s, o paviršius su aliuminio lydinio AW-6082 intarpu išyla 1,9 karto lėčiau negu šildomas paviršius su 1 mm storio stalviršiu – per 300 s. Prieduose 6 – 9 pateikti rezultatai rodo, jog visų 4 - ių paviršių pasirinktuose 3 - uose tyrimo taškuose temperatūros kitimas laike skiriasi nežymiai. Remiantis eksperimentinio įlinkio nustatymo tyrimo duomenimis, galima teigti, jog maisto ruošimo šildomas paviršius su 1 mm storio plieno stalviršiu pasiekia didžiausią deformaciją – 9,81 mm maksimalų įlinkį ir 8,42 mm įlinkį pasirinktame kontroliniame taške. Šildomas paviršius su 2 mm storio stalviršiu įlinksta kiek mažiau, jo maksimali deformacija siekia 6,23 mm, t.y. 1,6 karto mažiau negu šildomas paviršius su 1 mm storio stalviršiu ir 1,3 karto mažiau negu paviršius su 1,5 mm storio stalviršiu. Tuo tarpu šildomo paviršiaus konstrukcija su aliuminio lydinio AW-6082 intarpu bei 1,5 mm storio stalviršiu pasiekia mažiausią deformaciją, stalviršis įlinksta 1,27 mm, o kontroliniame taške tik 0,86 mm (žr. 35 pav. 5 lentelė), t.y., 7,7 karto mažiau negu šildomas paviršius UWP1 su 1 mm storio stalviršiu.

4. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio skaičiuojamasis tyrimas

Šiuo tyrimu norima nustatyti įmonėje UAB „Novameta“ gaminamų šildomų paviršių UWP1 įlinkį nuo temperatūros poveikio, grafiškai ir vizualiai pavaizduoti įlinkio priklausomybę nuo paviršiaus plieno storio, pateikti galimus problemos sprendimo variantus. Įlinkis – tai šildomo paviršiaus darbinės nerūdijančio plieno zonos negrįžtama deformacija, kurią, šiuo atveju, įtakoja šildomo kilimėlio perduodama temperatūra.

Kondukcija – tai šilumos mainai, kai šiluma perduodama besiliečiant kūnams iš vieno taško į kitą, medžiagos atomų ar molekulių sąveikos metu. Karštesnės medžiagos molekulės perduoda dalį savo kinetinės energijos šaltesnėms molekulėms ir šiluma plinta kūne. Šilumos laidumą – termoizoliacines medžiagos savybes nusako šilumos laidumo koeficientas λ . Kuo mažesnė λ vertė, tuo geresnės tos medžiagos izoliacinės savybės. Skaičiuojant šildomo paviršiaus įlinkį SolidWorks Simulation programine įranga, šilumos laidumo koeficientas turi būti nurodytas medžiagos aprašyme. Skaičiavimui reikiamų medžiagų šilumos laidumo koeficientas λ nurodytas 1 lentelėje (5 psl.).

Šilumos mainų skaičiavimams SolidWorks aplinkoje yra naudojamas Thermal uždavinys. Siekiant pamatyti įlinkio didėjimą laike, naudojantis šia aplinka galima pasirinkti funkciją, kurios metu nustatomas laiko limitas ir žingsnis, kas kiek norima fiksuoti įlinkio ir temperatūros kitimą. Aprašant kraštines sąlygas yra galimybė nustatyti temperatūrą, konvekciją, šiluminę galią.

4.1. Šildomo paviršiaus įlinkio nuo temperatūros poveikio skaičiuojamojo tyrimo metodika

Tyrimas baigtinių elementų metodu (BEM) naudojant SolidWorks Simulation aplinką atliekamas tokia eiga:

1. Apskaičiuojamas temperatūros maisto ruošimo šildomo paviršiaus elementuose kitimas „įjungus“ kaitinimo elementą (modeliuojamas 240 s arba 300 s (su aliuminio lydinio intarpu) trukmės procesas);
2. Apskaičiuojamas maisto ruošimo šildomo paviršiaus elementų įtempių - deformacijų būvis, esant skirtingą kaitinimo proceso momentą atitinkančiam temperatūros pasiskirstymui;
3. Skaičiuojamosios analizės rezultatai lyginami su tokio pat maisto ruošimo šildomo paviršiaus šiluminės ir įtempių - deformacijų būklės eksperimentinio tyrimo rezultatais;
4. Keičiant maisto ruošimo šildomo paviršiaus komponentus, ieškoma efektyviausio varianto, kurį galima pasiekti įmonėje naudojamomis medžiagomis.

Kadangi realūs eksperimentai įmonėje buvo atliekami su 700 mm ilgio maisto ruošimo šildomu paviršiumi, norint kuo efektyviau palyginti gaunamus rezultatus, ir BEM skaičiavimams naudojamas 700 mm ilgio bei dviejų šildymo kilimėlių šildomo paviršiaus skaičiuojamasis modelis.

4.2. Temperatūros pasiskirstymo šildomo paviršiaus elementuose skaičiavimas.

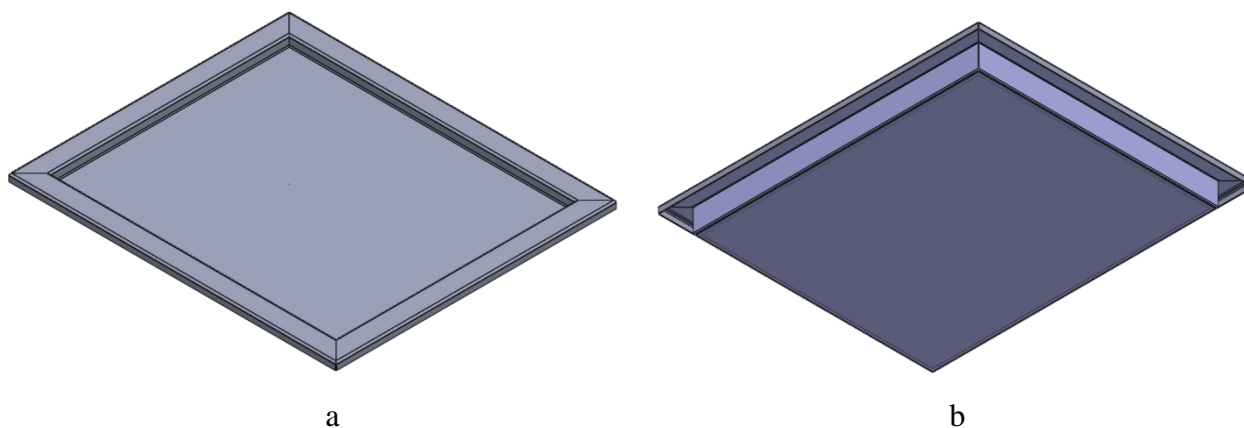
Skaičiuojamasis modelis

Skaičiuojant temperatūros pasiskirstymą maisto ruošimo šildomo paviršiaus elementuose, sprendžiamas pereinamojo proceso modeliavimo uždavinys (skaičiuojamas temperatūros šildomo paviršiaus elementuose kitimas laike).

- Tokiu atveju svarbiausios medžiagų mechaninės savybės yra šiluminis laidumas ir šiluminė talpa (nurodomi tam tikrais koeficientais) (žr. 21 psl. 1 lentelė).
- Nurodomos kraštinės sąlygos (kaitinimas ir aušinimas), įskaitant jų kitimą laike.

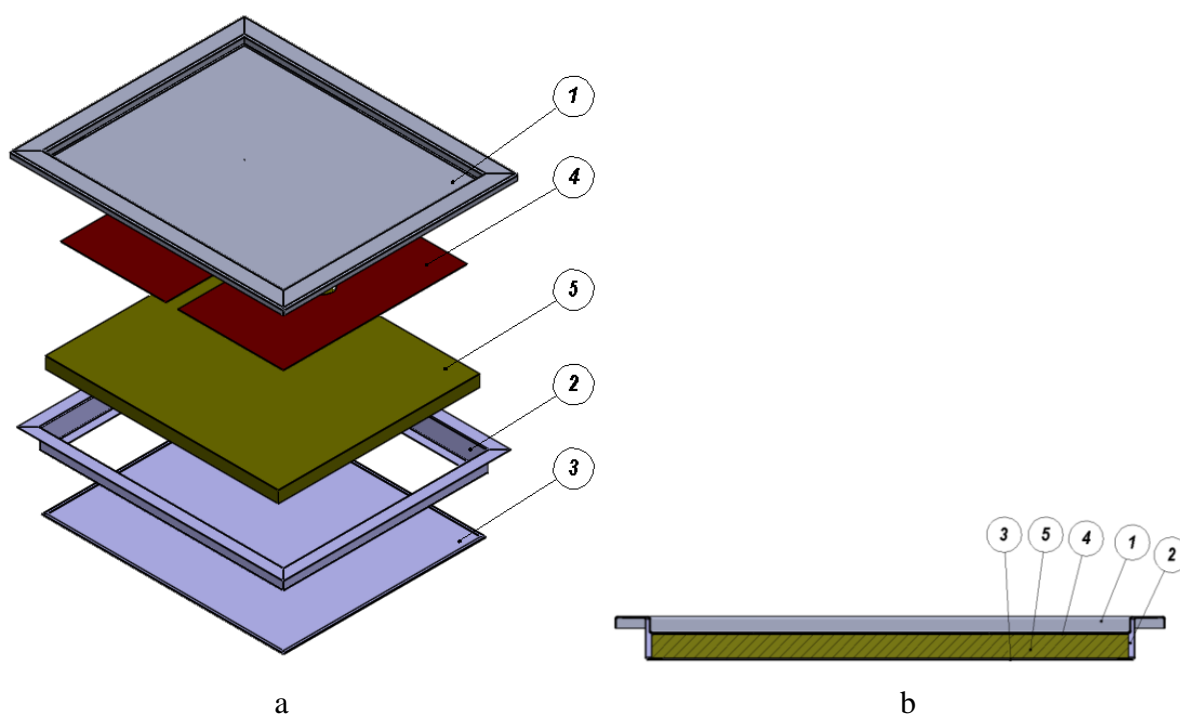
Temperatūriniam skaičiavimams sudaromi šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamieji modeliai. Skaičiavimai atliekami su 700 mm ilgio maisto ruošimo šildomais paviršiais. Norint patikrinti ir palyginti BEM gautus rezultatus su realaus eksperimento gautais duomenimis, šildomo paviršiaus stalviršio storiai pasirenkami atitinkamai: 1 mm, 1,5 mm, 2 mm ir skaičiavimas su 1,5 mm storio plieno stalviršiu bei 6 mm storio aliuminio lydinio intarpu.

Skaičiuojamuosiuose modeliuose yra išlaikoma reali gaminio geometrija, tačiau jie yra supaprastinami, siekiant neapkrauti skaičiavimų tyrimo neįtakojančiomis detalėmis: pašalinamos tvirtinimo detalės, valdymo blokas su elektriniais komponentais, vamzdžiai papildomam standumui suteikti, temperatūrinis daviklis. Nerūdijančio plieno detalėse pašalinami iškirtimai komponentams, skylės tvirtinimo detalėms. Stengtasi, kad skaičiuojamieji modeliai būtų kuo panašesni į realiuose eksperimentuose naudojamus modelius (žr. 36 pav.).



36 pav. Šildomo paviršiaus UWP1 supaprastintas skaičiuojamasis modelis; a – izometrinis vaizdas iš viršaus, b – izometrinis vaizdas iš apačios

Ankstesniame 2.1. skyriuje (20 psl.) pateiktos šildomo paviršiaus UWP1 nerūdijančio plieno dalys yra suvirinamos volframo elektrodu inertinėse dujose (argono) - TIG būdu ir sujungiamos varžtais, jei kiltų butinybė pakeisti šildymo kilimėlius. Konstrukcija nėra visiškai sandari, bet liekantys tarpai sudūrimuose nėra dideli ir neturėtų labai įtakoti atliekamus skaičiavimus, taip pat, kaip ir tuščios 3 mm oro ertmės šonuose šalia akmens vatos, matomos modelio pjūvyje (žr. 37 pav.). Skaičiuojant šildomo paviršiaus konstrukcinį variantą su 6 mm aliuminio lydinio intarpu, šis aliuminio lydinio lakštas yra įterpiamas tarp plieninio stalviršio ir šildymo kilimėlių.



37 pav. Šildomo paviršiaus UWP1 supaprastintas skaičiuojamasis modelis: a – modelį sudarančios dalys: 1 – stalviršis, 2 – profilių rėmas, 3 – dugnas, 4 – šildomas kilimėlis, 5 – izoliacinė vata; b – pjūvis

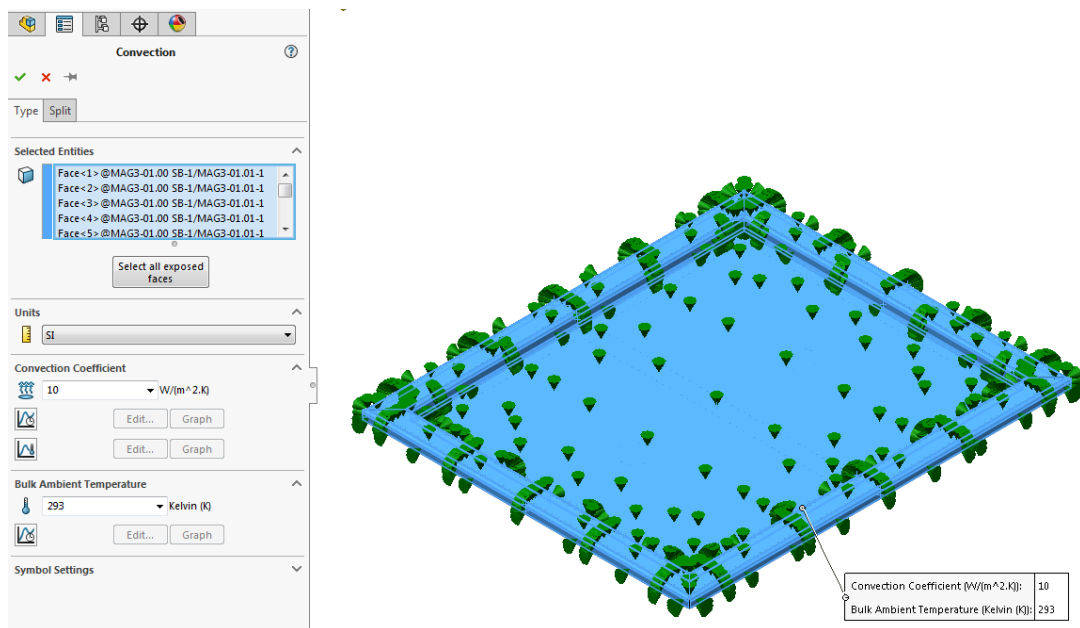
Skaičiuojamajam modeliui nustatomos tokios kraštinės sąlygos:

- 1) Nurodoma pradinė skaičiuojamojo modelio temperatūra – 20 °C.
- 2) Konvekcija stalviršio paviršiams (žr. 38 pav.). Nurodomas konvekcijos koeficientas – 10 W/(m²·K), aplinkos temperatūra – 293 K. Konvekcijos koeficientas nustatomas SolidWorks įrangos dokumentacijos pagalba, remiantis 6 lentele ir pasirenkant natūralią oro konvekciją.
- 3) Skaičiavimui nurodoma maksimali šiluminė galia – 750 W, kuri, priklausomai nuo laiko, tiesiškai didėja (žr. 39 pav.). Galios priklausomybė nuo laiko vaizduojama 40 paveiksle.
- 4) Kadangi naudojamas skaičiavimas laike, remiantis eksperimentiniais duomenimis, nustatomas laiko limitas – 240 s ir žingsnis – 60 s (žr. 41 pav.). Tokiu būdu bus gaunami 4 rezultatai, rodantys kaip modelyje pasiskirsto temperatūra per 4 minutes. Skaičiuojant

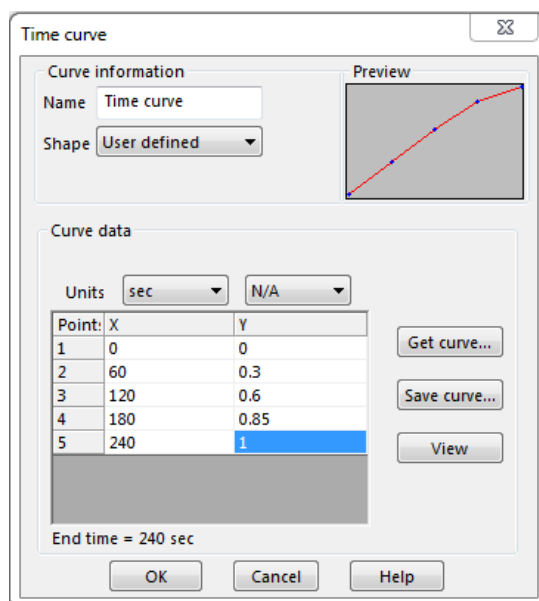
maisto ruošimo šildomą paviršių su 6 mm aliuminio lydinio intarpu, nustatytas laiko limitas – 300 s.

6 lentelė. SolidWorks dokumentacijos konvekcijos koeficientas skirtingose aplinkose [37]

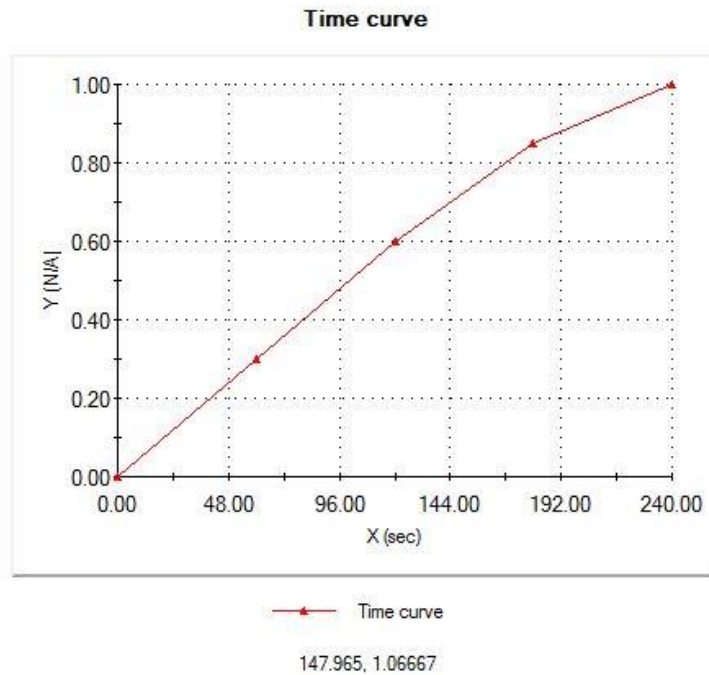
Medium	Heat Transfer Coefficient h (W/m ² .K)
Air (natural convection)	5-25
Air/superheated steam (forced convection)	20-300
Oil (forced convection)	60-1800
Water (forced convection)	300-6000
Water (boiling)	3000-60,000
Steam (condensing)	6000-120,000



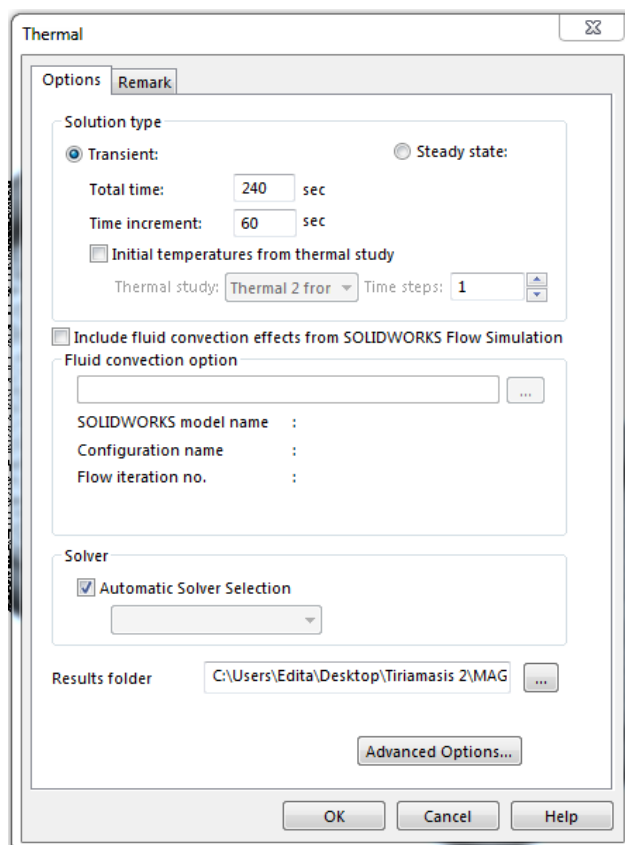
38 pav. Konvekcijos (aušinimo) nustatymai



39 pav. Kaitinimo elemento galios kitimo nustatymai

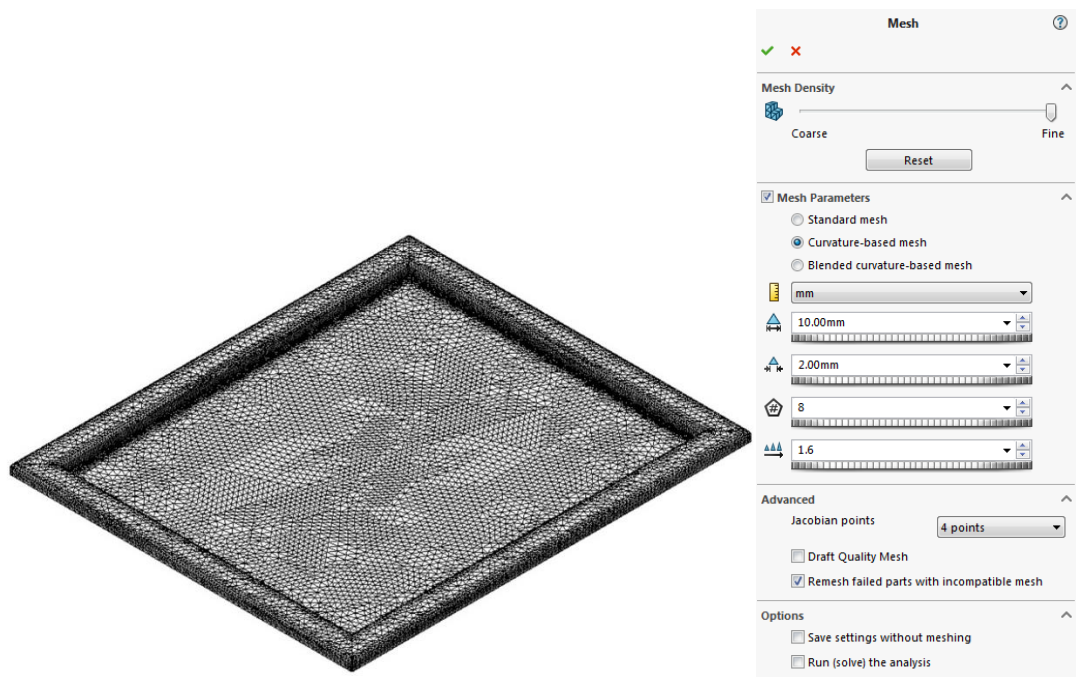


40 pav. Kaitinimo elemento galios priklausomybės nuo laiko grafikas

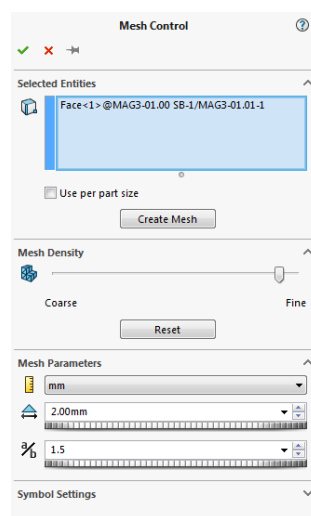


41 pav. Temperatūros skaičiavimo nustatymai laike

Aprašius skaičiuojamojo modelio kraštines sąlygas (kaitinimo – aušinimo parametrus), modelis skaidomas į baigtinius elementus (sukuriamas baigtinių elementų tinklelis). Pasirenkamas 10 mm nominalaus dydžio tetraedrinį tūrinių BE tinklelis visiems komponentams, išskyrus stalviršio darbo paviršių, kuris yra tiesiogiai veikiamas šildymo kilimėlių temperatūros. Šiam stalviršio plotui yra nustatomas smulkesnis, 2 mm tinklelis, siekiant kuo tikslesnių rezultatų. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus skaičiuojamajame modelyje yra lakštinių detalių, todėl nustatant BEM tinklelį, ir, norint pasiekti maksimalų rezultatų tikslumą, yra nurodomas jo tipas – *Curvature Based Mesh*, kuris pritaikomas lakštinių detalių lenkimams ir kitoms sudėtingoms smulkioms vietoms (žr. 42 pav.).



a

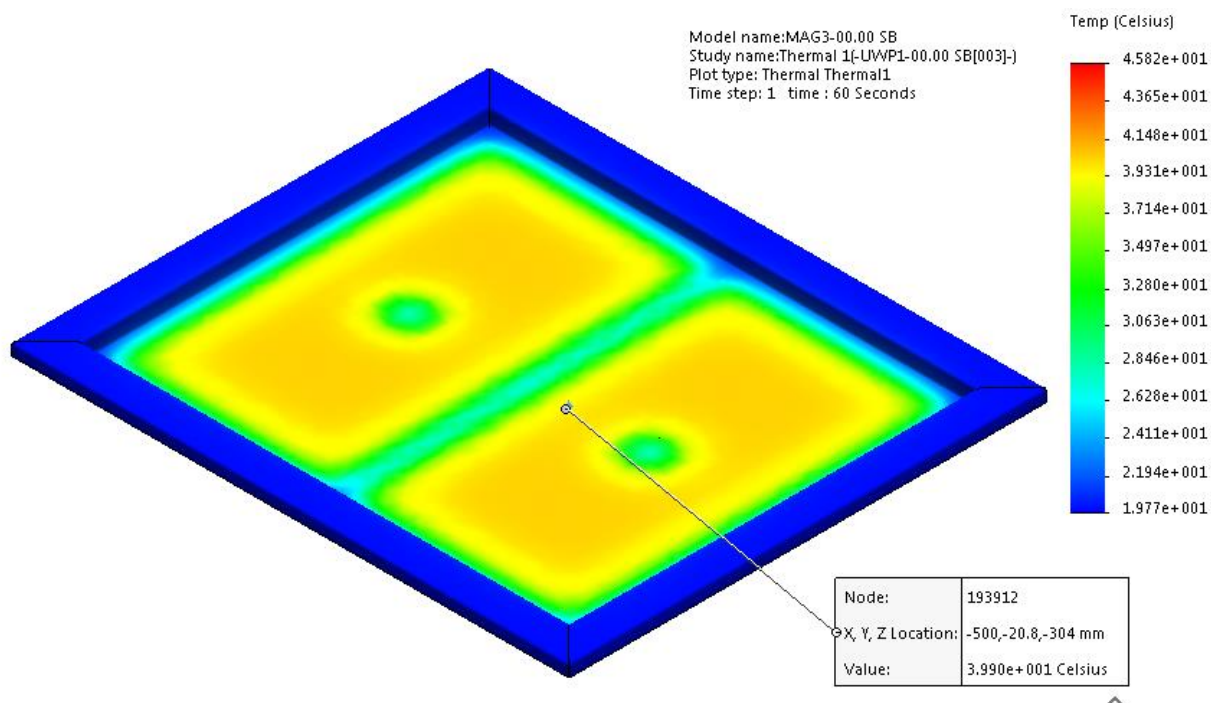


b

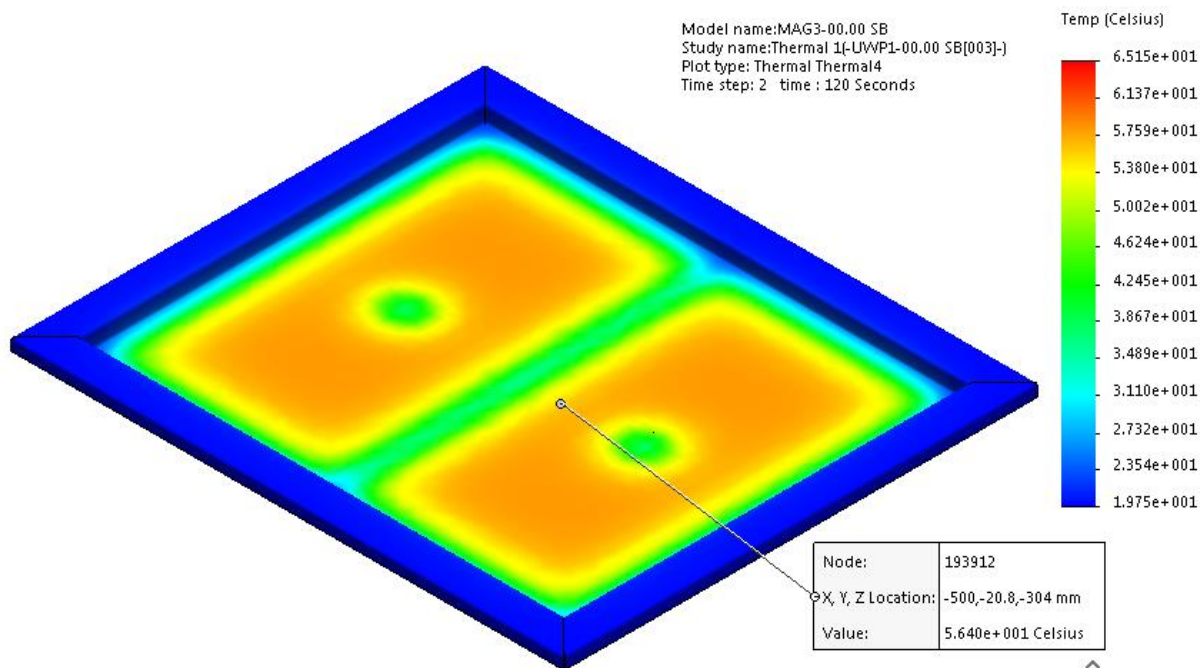
42 pav. Nustatytas baigtinių elementų tinklelis: a – 10 mm dydžio BE tinklelis šildomo paviršiaus komponentams išskyrus stalviršio plotą, tiesiogiai veikiamą temperatūros; b – 2 mm tinklelis stalviršio plotui, kuris yra tiesiogiai veikiamas šildymo kilimėlių temperatūros

4.3. Šildomo paviršiaus temperatūrinio skaičiuojamojo tyrimo rezultatai

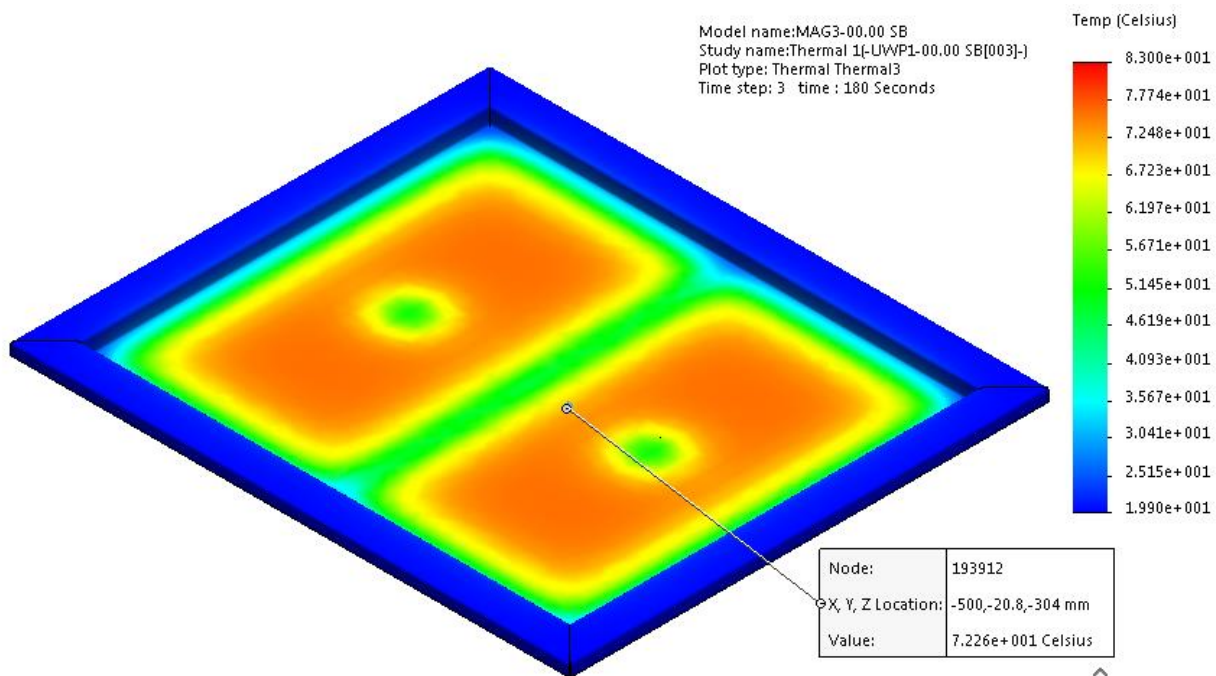
Kadangi skaičiavimas buvo atliekamas laike, gaunami temperatūros pasiskirstymo rezultatai šildomame paviršiuje per 4 minutes kas 60 sekundžių. Gauti skaičiavimo duomenys pateikiami skaičiuojamojo modelio su standartiniu maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 stalviršiu iš 1,5 mm storio nerūdijančio plieno. 43 – 46 paveiksluose matomi gauti temperatūros pasiskirstymo rezultatai: maksimali pasiekta šildomo paviršiaus temperatūra ir temperatūra pagal atliktą eksperimentą pasirinktame kontroliniame taške. 47 ir 48 paveiksluose pateikiami šildomo paviršiaus UWP1 maksimalios temperatūros ir temperatūros kontroliniame taške 4 skirtingų šildomų paviršių priklausomybės nuo laiko grafikai. 7 ir 8 lentelėse matomi maksimalios temperatūros ir temperatūros kontroliniame taške duomenys.



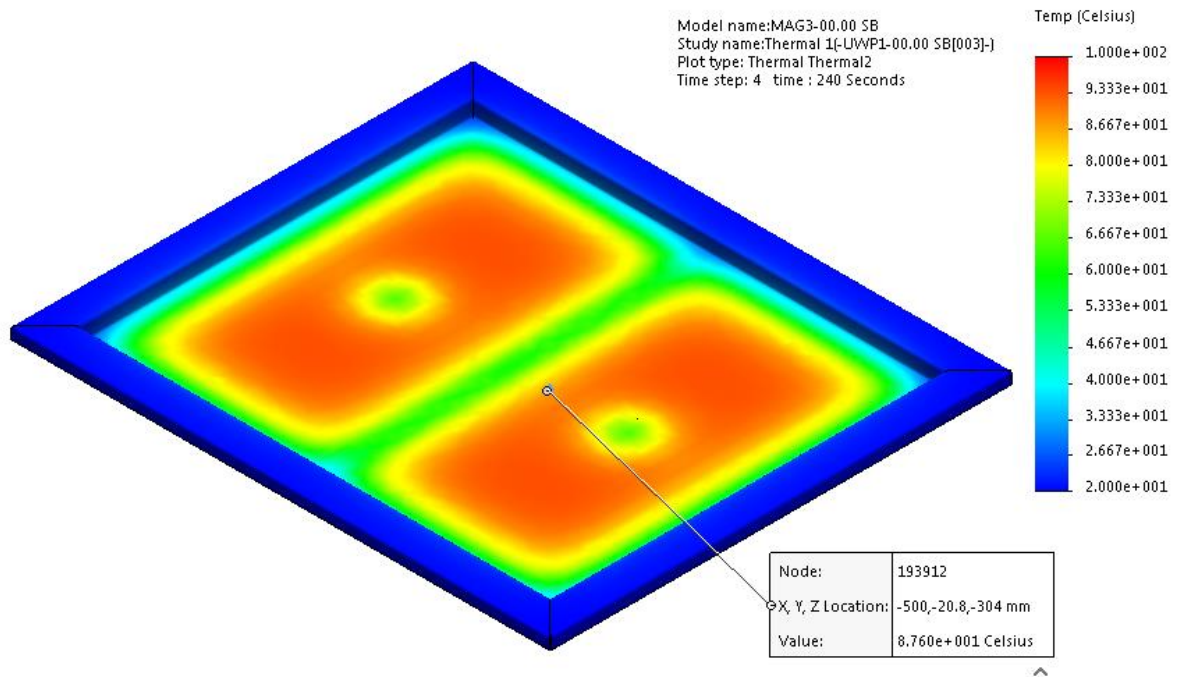
43 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 60 s



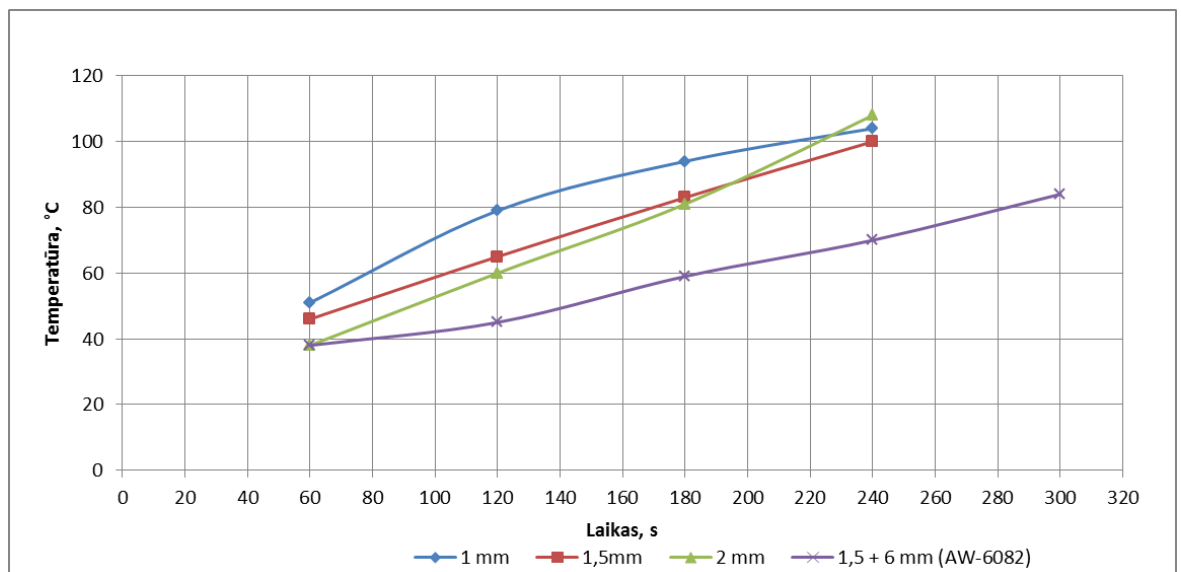
44 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 120 s



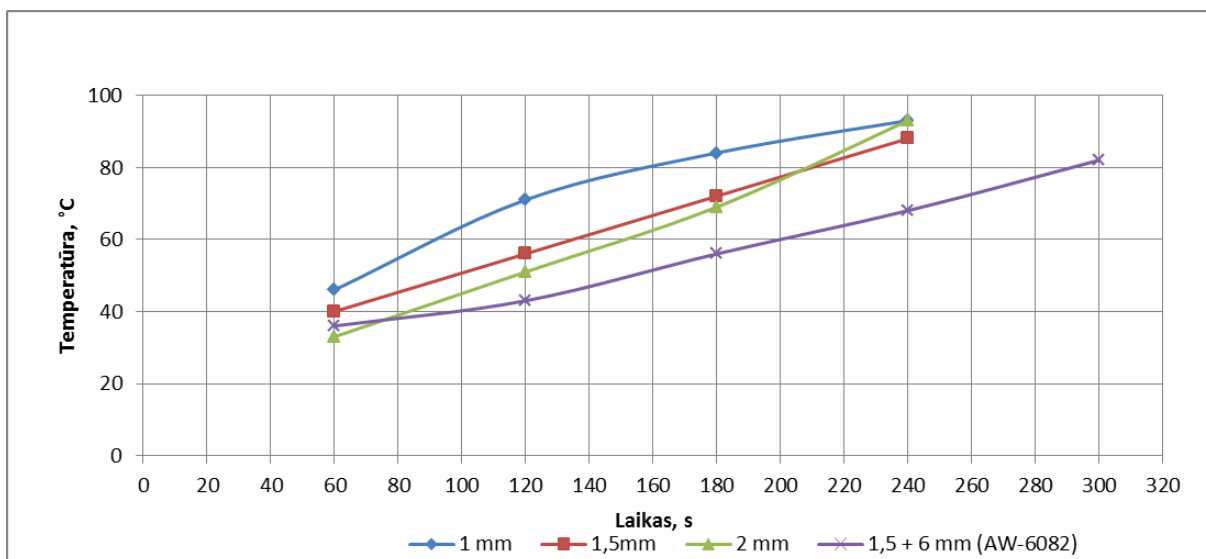
45 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 180 s



46 pav. Temperatūros pasiskirstymas šildomame paviršiuje UWP1 po 240 s



47 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu maksimalios temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas (skaičiuojamasis tyrimas)



48 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu temperatūros kontroliniame taške priklausomybės nuo laiko grafikas (skaičiuojamasis tyrimas)

7 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamuoju tyrimu gauti maksimalios temperatūros rezultatai

Laikas, s	Temperatūra, °C			
	Šildomo paviršiaus UWP1 stalviršio storiai			
	1 mm	1,5mm	2 mm	1,5 + 6 mm (AW-6082)
60	51	46	38	38
120	79	65	60	45
180	94	83	81	59
240	104	100	108	70
300				84

8 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamuoju tyrimu gauti temperatūros kontroliniame taške rezultatai

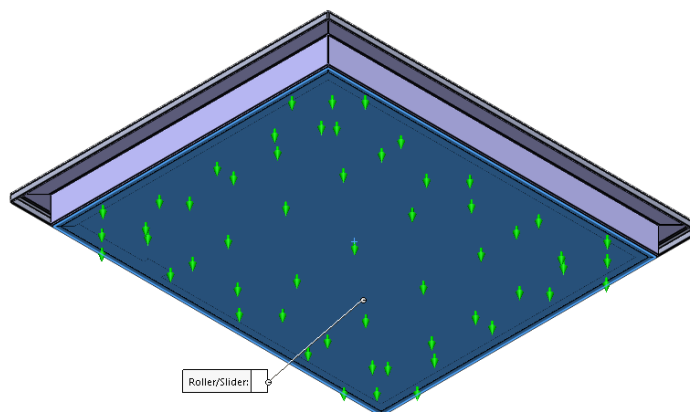
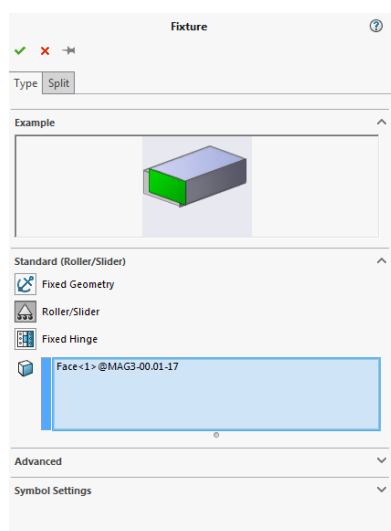
Laikas, s	Temperatūra, °C			
	Šildomo paviršiaus UWP1 stalviršio storiai			
	1 mm	1,5mm	2 mm	1,5 + 6 mm (AW-6082)
60	46	40	33	36
120	71	56	51	43
180	84	72	69	56
240	93	88	93	68
300				82

Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 temperatūrinio tyrimo baigtinių elementų metodu skaičiavimo rezultatai analizuojami 4.5. skyriaus pabaigoje.

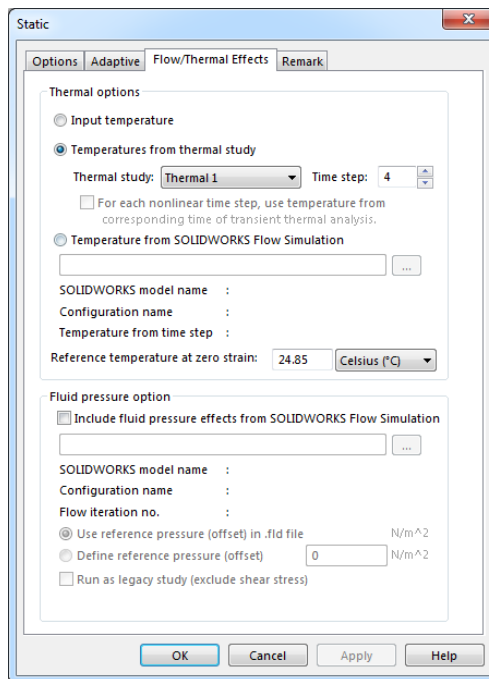
4.4. Šildomo paviršiaus stalviršio įlinkio skaičiavimas. Skaičiuojamasis modelis

Norint gauti paviršiaus deformaciją nuo temperatūros, gauti rezultatai Thermal uždavinyje yra eksportuojami į Static uždavinį. Šiame skaičiavime naudojamas maisto ruošimo šildomas paviršius be šildymo kilimėlių ir akmens vatos, kadangi šie komponentai neturi įtakos įlinkio rezultatams. Uždavinyje dalyvaujančių komponentų: stalviršio, profilių rėmo ir dugno mechaninės savybės paliekamos tokios, kaip nustatyta SolidWorks medžiagų bibliotekos dokumentacijoje. Taip pat atliekami 4 skaičiavimai su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm storio nerūdijančio plieno maisto ruošimo šildomo paviršiaus stalviršiais ir 1,5 mm standartiniu stalviršiu bei 6 mm aliuminio lydinio intarpu. Static uždavinyje skaičiuojamasis modelis vėl aprašomas kraštinėmis sąlygomis:

- 1) Roller/Slider įtvirtinimu apribojamas šildomo paviršiaus dugno judėjimas (žr. 49 pav.).
- 2) Nejudamai įtvirtinamas vienas šildomo paviršiaus dugno taškas, kad modelis būtų stabilus. Šis įtvirtinimas skaičiavimo rezultatams įtakos neturi.
- 3) Nurodoma, jog skaičiavimui reikalingus temperatūros duomenis SolidWorks Static uždavinys naudotų iš jau spręsto Thermal uždavinio 240 sekundžių žingsnyje (su aliuminio lydinio intarpu 300 s žingsnyje). Tai bus aukščiausia pasiekta šildomo paviršiaus temperatūra (žr. 50 pav.).
- 4) Skaičiuojamajam modeliui nustatomas toks pat tinklelio tipas ir dydis kaip ir Thermal uždavinyje.

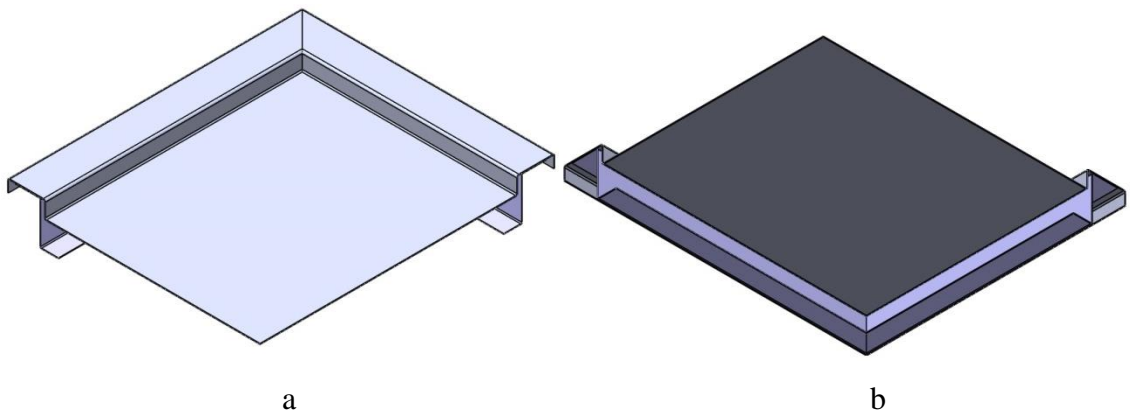


49 pav. Šildomo paviršiaus dugno įtvirtinimas



50 pav. Static uždaviniui naudojami Thermal skaičiavimo 4 – ojo žingsnio (240 s) rezultatų nustatymai

Siekiant sumažinti skaičiavimų laiką, uždaviniai su 1 mm, 2 mm ir 1,5 mm storio plieniu bei 6 mm aliuminio lydinio AW-6082 intarpu, buvo skaičiuojami naudojant tik ketvirtį šildomo paviršiaus ir iš skaičiavimo pašalinus šildomo paviršiaus dugną (žr. 51 pav.).

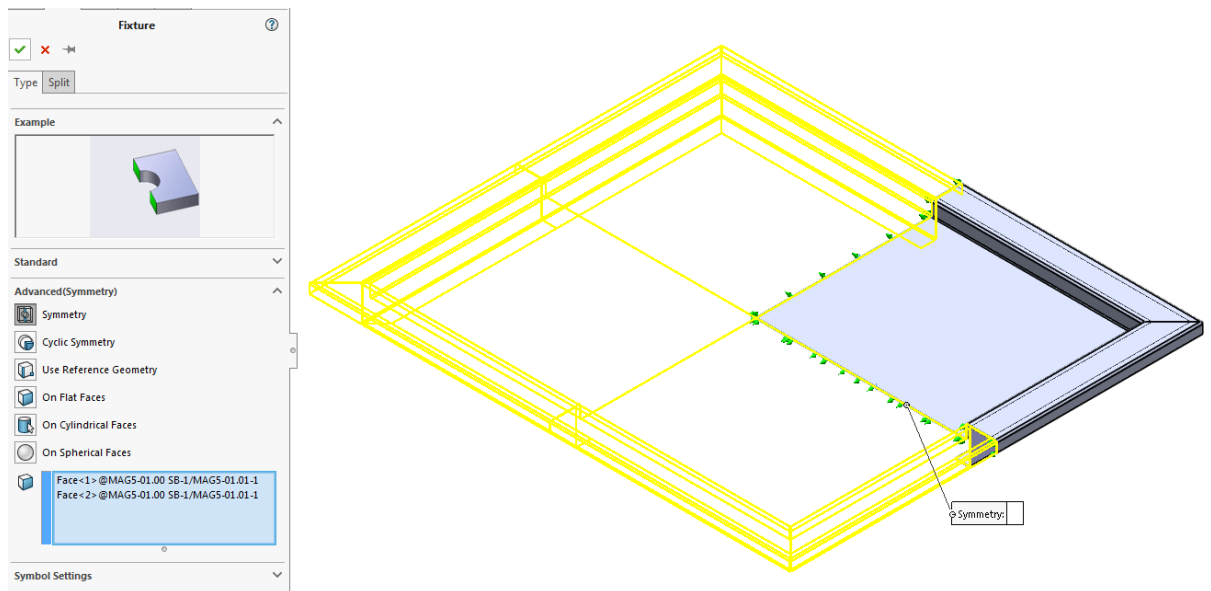


51 pav. Šildomo paviršiaus UWP1 supaprastintas skaičiuojamasis modelis paviršiaus įlinkiui nustatyti: a – izometrinis vaizdas iš viršaus; b – izometrinis vaizdas iš apačios

Skaičiuojamieji modeliai aprašomi tokiomis kraštinėmis sąlygomis:

- 1) Nejudamai įtvirtinami profilių rėmo dugnai.
- 2) Nurodoma simetrijos sąlyga (žr. 52 pav.).

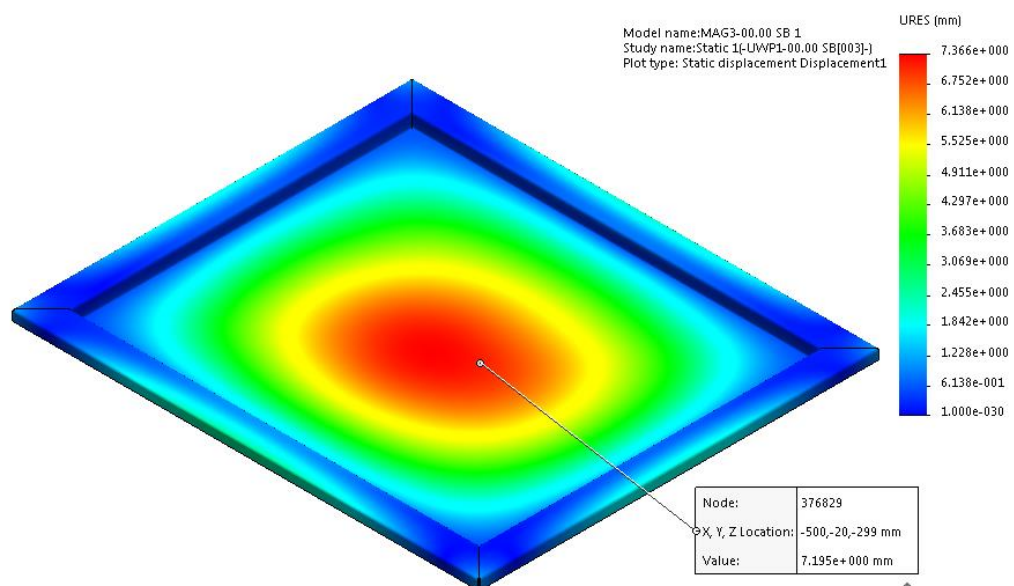
Temperatūros rezultatai perskaičiuojami šildomo paviršiaus ketvirčiui, nustatant 375 W galią. Tinklelio tipas ir elementų dydis nurodomi taip pat, kaip ir viso šildomo paviršiaus uždavinyje.



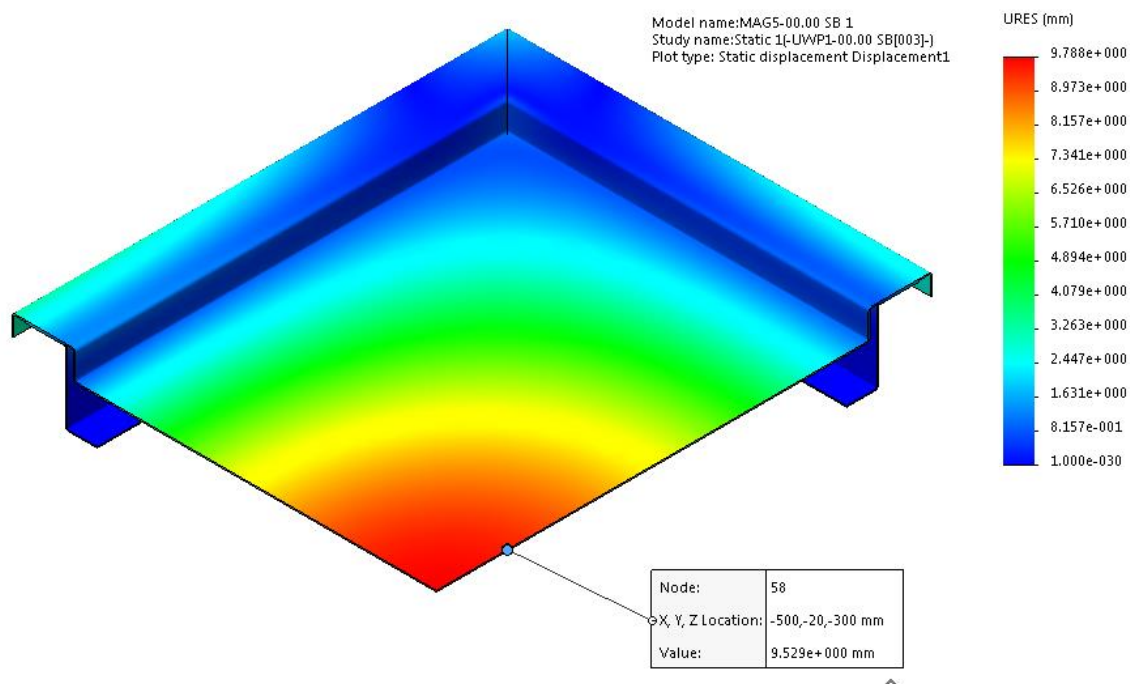
52 pav. Šildomo paviršiaus skaičiuojamojo modelio simetrijos kraštinių sąlygų nurodymas

4.5. Šildomo paviršiaus stalviršio įlinkio skaičiuojamojo tyrimo rezultatai

Kaip ir temperatūriniais maisto ruošimo šildomo paviršiaus skaičiavimams, taip ir įlinkio nustatymui gauti rezultatai maksimalaus įlinkio bei įlinkio kontroliniame taške. Gautieji skaičiavimo duomenys pateikiami 53 paveiksle su standartiniu šildomo paviršiaus UWP1 stalviršiu iš 1,5 mm storio nerūdijančio plieno. 54 paveiksle matomas 1 mm skaičiuojamojo modelio ketvirčio su simetrijos sąlyga skaičiuoto šildomo paviršiaus stalviršio įlinkio skaičiavimo rezultatas. Visų 4 skaičiavimų rezultatai pateikiami 55 paveiksle.



53 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 (su 1,5 mm stalviršiu) maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške



54 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 (su 1 mm stalviršiu) maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške

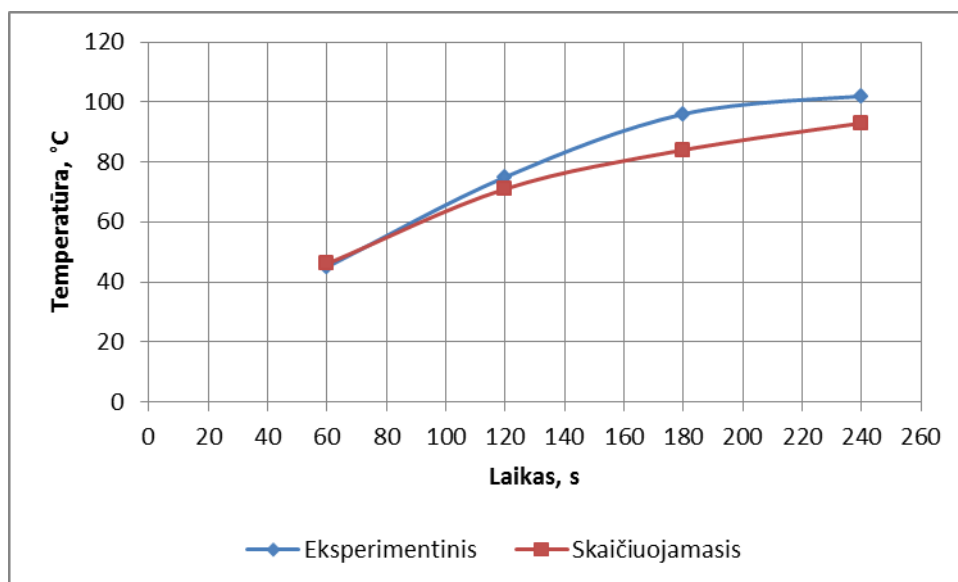
9 lentelė. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamuoju tyrimu gauti temperatūros kontroliniame taške rezultatai

Šildomo paviršiaus UWP1 stalviršio storiai	Įlinkis, mm	
	Kontroliniame taške	Maksimalus
1 mm	9,52	9,78
1,5 mm	7,19	7,36
2 mm	5,62	5,75
1,5 + 6 mm (AW-6082)	1,02	1,03

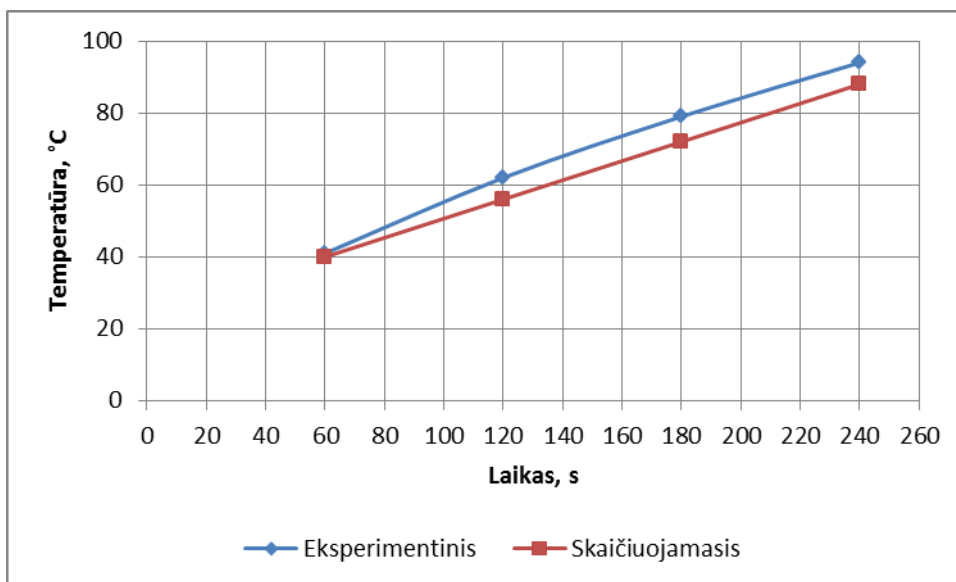
Iš gautų skaičiuojamojo temperatūrinio tyrimo rezultatų matoma, jog maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiais tiek maksimalios temperatūros (žr. 47 pav. 7 lentelė), tiek ir temperatūros kontroliniame taške (žr. 48 pav. 8 lentelė) kitimo kreivės skiriasi nežymiai. Šildomo paviršius UWP1 su 1,5 mm storio stalviršiu bei aliuminio lydinio AW-6082 intarpu maksimalias temperatūros vertes, pasiekia 1,5 karto lėčiau negu šildomi paviršiai be aliuminio. Analizuojant maksimalų įlinkį ir įlinkį kontroliniame taške galima pastebėti, jog šios vertės yra labai artimos viena kitai visais šildomo paviršiaus konstrukciniais variantais (žr. 9 lentelė). Didžiausias įlinkis pasiekimas UWP1 maisto ruošimo šildomo paviršiaus su 1 mm storio stalviršiu – 9,78 mm, mažiausias – su 1,5 mm storio stalviršiu bei aliuminio lydinio AW-6082 intarpu, kuris siekia 1,03 mm.

4.6. Šildomo paviršiaus eksperimentinių ir skaičiuojamųjų tyrimų palyginimas

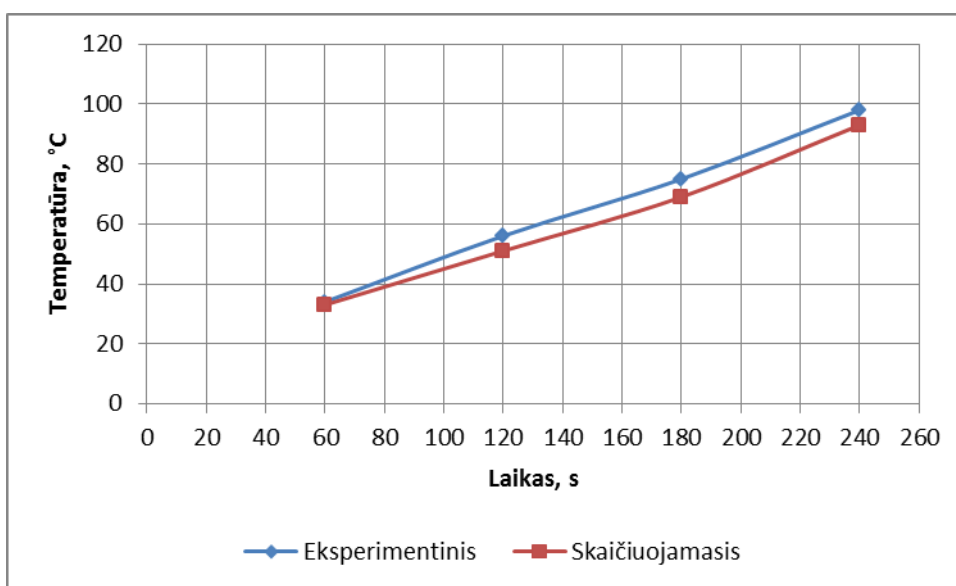
Atlikus eksperimentinius ir skaičiuojamuosius tyrimus, gauti rezultatai yra palyginami. Tokiu būdu išsiaiškinama ar skaičiuojamasis SolidWorks aplinkoje sukurtas modelis yra pakankamai panašus į realų prietaisą ir turimą skaičiuojamąjį modelį bus galima naudoti įgyvendinant darbo tikslą – atrandant konstrukciją, kuri užtikrintų minimalias šildomo paviršiaus deformacijas. Maisto ruošimo šildomų paviršių UWP1: 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršio storių ir 1,5 mm bei 6 mm aliuminio lydinio AW-6082 intarpu eksperimentinių ir skaičiuojamųjų šildomo paviršiaus temperatūrinių tyrimų kontroliniame taške rezultatų palyginimas matomas 55 – 58 paveiksluose. 59 ir 60 paveiksluose pateikti šildomo paviršiaus eksperimentinių ir skaičiuojamųjų įlinkių kontroliniame taške bei maksimalaus įlinkio tyrimų rezultatai.



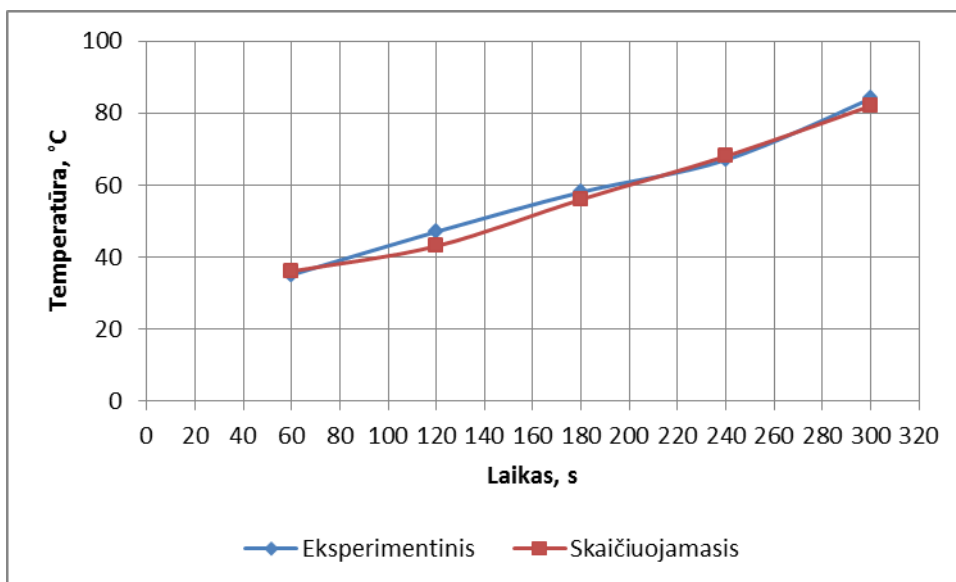
55 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm storio stalviršiu temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai



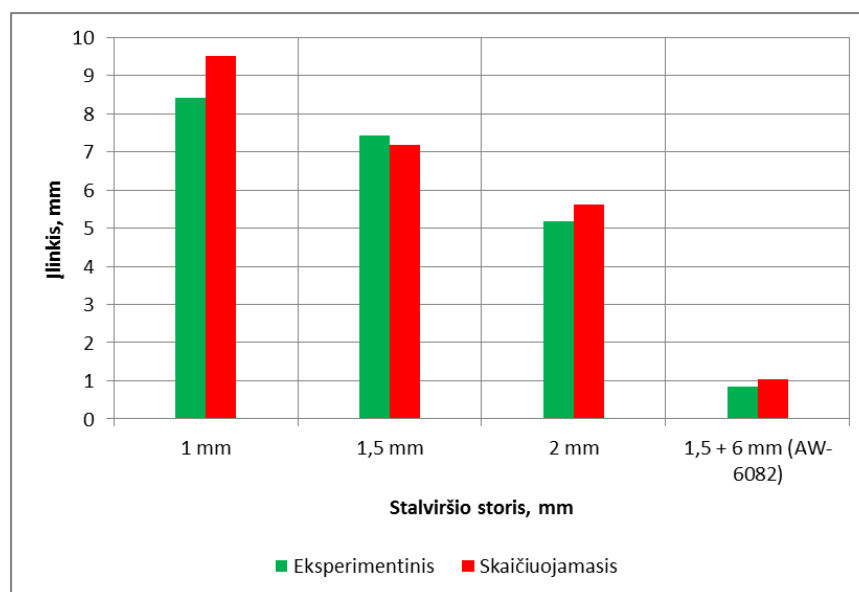
56 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1,5 mm storio stalviršiu temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai



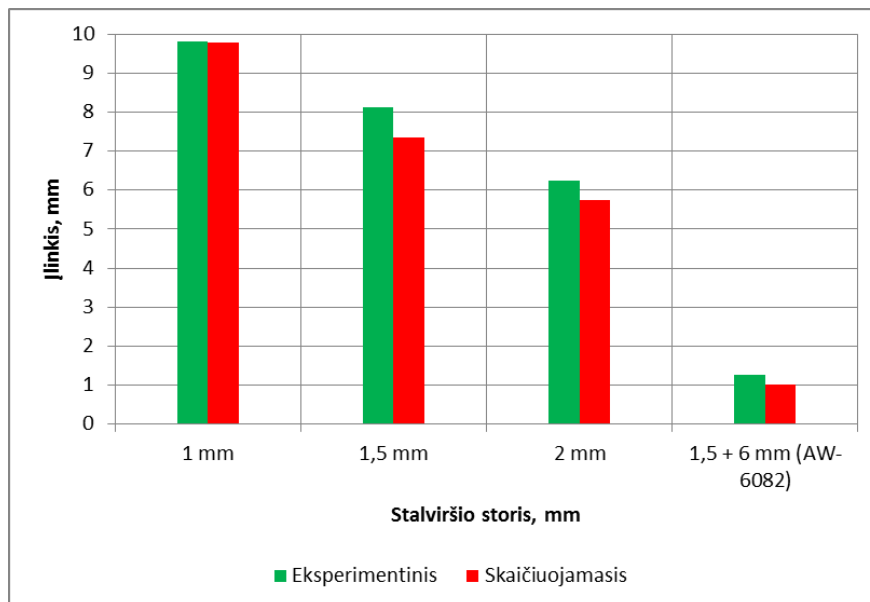
57 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 2 mm storio stalviršiu temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai



58 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1,5 mm storio stalviršiu ir 6 mm storio aliuminio lydinio (AW-6082) tarpų temperatūros kontroliniame taške kitimo laike eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai



59 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) tarpų įlinkio kontroliniame taške eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai



60 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1 mm, 1,5 mm, 2 mm stalviršiu ir 1,5 mm stalviršiu bei aliuminio lydinio (AW-6082) intarpu maksimalaus įlinkio eksperimentinio ir skaičiuojamojo tyrimų rezultatai

Pateiktuose maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 temperatūros kontroliniame taške kitimo grafikuose matyti, jog eksperimentiniu ir skaičiuojamuoju tyrimais gauti rezultatai skiriasi nežymiai. Tiek eksperimentiškai, tiek skaičiuojant gautos temperatūros kontroliniame taške tolygiai auga (žr. 55 – 58 pav.). Šildomas paviršius su 1 mm storio plieniniu stalviršiu įkaista 1,9 karto greičiau negu, šildomas paviršius su 1,5 mm storio plieniniu stalviršiu bei 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu. Aliuminio lydinys turi didelę šiluminę talpą, taip pat yra didesnio storio nei šildomo paviršiaus konstrukcijoje naudojami plieniniai stalviršiai, kas įtakoja lėtesnį šilumos perdavimą į kitą medžiagą, šiuo atveju, 1,5 mm storio plieninį stalviršį. Visi skaičiuojamieji šildomo paviršiaus modeliai stalviršio kontroliniame taške su paklaida iki 12,5% pasiekia reikiamą 85 °C darbinę temperatūrą. Todėl galima teigti, jog skaičiuojamieji modeliai, sukurti siekiant patikrinti šildomo paviršiaus pasiekiamą temperatūrą, atitinka atliktus eksperimentus. Analizuojant maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 įlinkio kontroliniame taške (žr. 59 pav.) bei maksimalaus įlinkio (žr. 60 pav.) tyrimų duomenis, matoma, jog eksperimentiniu ir skaičiuojamuoju tyrimais gaunami rezultatai skiriasi labai nežymiai: maksimalus įlinkis pasiekiamas šildomo paviršiaus su 1 mm storio plieniniu stalviršiu – 9,81 mm (8,42 mm kontroliniame taške) eksperimentiniu tyrimu ir 9,78 mm (9,52 mm kontroliniame taške) skaičiuojamąja analize. Tuo tarpu mažiausias įlinkis gaunamas šildomo paviršiaus konstrukcijos su 1,5 mm storio plieniniu stalviršiu bei 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu: 1,27 mm (0,86 mm kontroliniame taške) eksperimentiniu tyrimu ir 1,03 mm (1,02 mm kontroliniame taške) skaičiuojant. Iš grafikų matoma, jog deformacijos dydis tiesiogiai priklauso nuo stalviršio storio: kuo plieno lakštas storesnis, tuo pasiekama deformacija yra mažesnė. Šildomas paviršius su 2 mm storio stalviršiumi pasiekia, 1,6 karto

mažesnę deformaciją negu šildomas paviršius su 1 mm storio stalviršiu ir 1,3 karto mažesnę deformaciją negu paviršius su 1,5 mm storio stalviršiu. Skaičiuojamosios temperatūrinės analizės rezultatai atitinka eksperimentinio tyrimo rezultatus su 12,5% paklaida, o įlinkio – su 10,6% paklaida. Palyginus gautus rezultatus eksperimentiniu ir skaičiuojamuoju tyrimais, galima daryti išvadą, jog skaičiuojamasis modelis atitinka realų maisto ruošimo šildomą paviršių UWP1.

4.7. Minimalias maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 šilumines deformacijas užtikrinanti konstrukcija

Atlikus įvairių konstrukcijų šildomo maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 temperatūros ir šiluminio deformavimosi eksperimentinius ir skaičiuojamusius tyrimus įsitikinta, jog maisto ruošimo paviršiaus deformacija tiesiogiai priklauso nuo stalviršio plieno lakšto storio. Taip pat, remiantis tyrimų rezultatais, buvo išsiaiškinta, kad mažiausia deformacija pasiekama šildomo paviršiaus konstrukcijoje naudojant 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpą. Žinant, jog kiekvienos įmonės tikslas yra kaip įmanoma labiau sumažinti produkto žaliavų išlaidas, nuspręsta atlikti šildomo paviršiaus su 6 mm storio aliumino lydinio intarpu skaičiavimus, esant mažesniai plieninio stalviršio storiui.

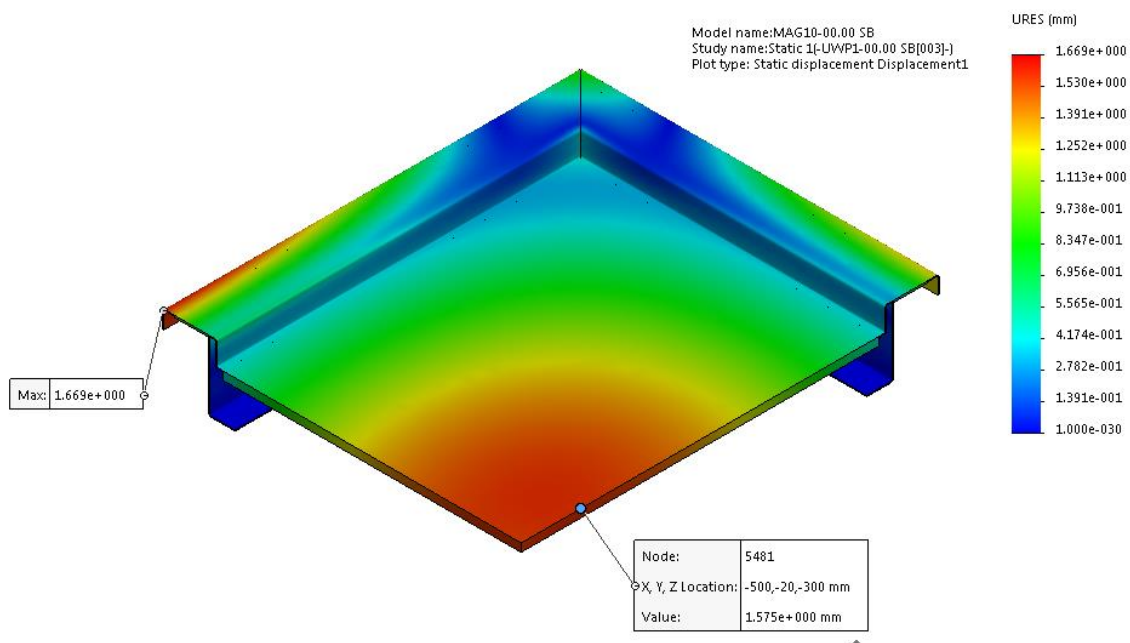
Šildomas paviršius su 1,5 mm storio plieniniu stalviršiu bei 6 mm storio aliuminio lydinio intarpu įlinksta tik apie 1 mm. Įmonės UAB „Novameta“ duomenims įlinkis iki 2 mm yra laikomas nežymiu ir neįtakojančiu virtuvės darbuotojo darbo kokybės bei nekeliančiu grėsmės darbuotojo saugumui. Todėl šildomo paviršiaus minimalias šilumines deformacijas užtikrinančios konstrukcijos paieškos uždavinyje išsikeliamas tikslas – neviršyti 2 mm įlinkio paviršiaus viduje ir kraštuose.

Skaičiavimai atliekami su 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu, naudojant tokį patį skaičiuojamąjį modelį, kaip ir 4.4. poskyryje aprašytame skaičiavime. Šiam skaičiuojamajam modeliui nustatomos tokios pat kraštinės sąlygos bei baigtinių elementų tinklelis. Keičiamas tik stalviršio storis – skaičiuojamas šildomas paviršius su 0,8 mm ir 1 mm storio AISI 304 plieno stalviršiais. Gauti skaičiavimų rezultatai pateikiami 61 ir 62 paveiksluose.

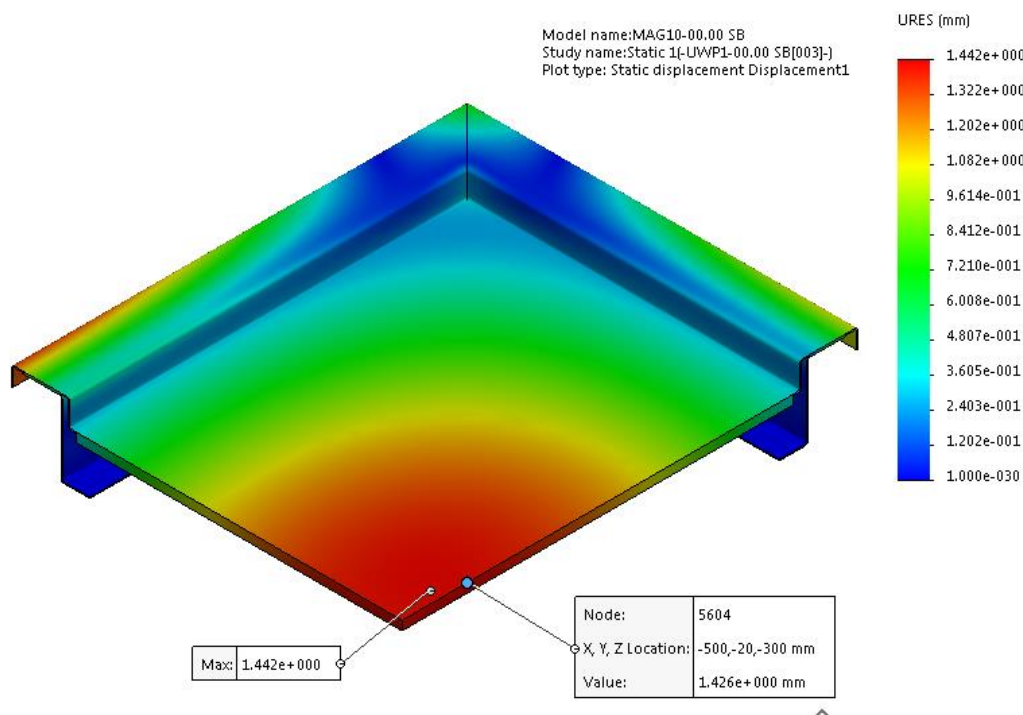
Atlikus skaičiavimus gauta, jog šildomo paviršiaus skaičiuojamajame modelyje su 0,8 mm storio stalviršiu maksimalūs įlinkiai koncentruojasi stalviršio krašte ir siekia 1,67 mm (žr. 61 pav.). Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 skaičiuojamajame modelyje su 1 mm storio stalviršiu maksimali deformacija susidaro apie stalviršio centrą ir siekia 1,44 mm (žr. 62 pav.). Gauti rezultatai abejais atvejais neviršija nusistatytos 2 mm įlinkio ribos.

Yra žinoma, jog įmonėje naudojamo 0,8 mm storio AISI 304 plieno lakšto kaina yra 20% mažesnė, negu tokios pat markės 1 mm storio plieno lakšto. 0,8 mm storio stalviršio įlinkis

koncentruojasi krašte, o tai gali padidinti riziką šildomo paviršiaus kraštų pakilimui nuo stalo paviršiaus. Remiantis pastarųjų skaičiavimų rezultatais, pasirenkama maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 konstrukcija su 1 mm storio AISI 304 plieno lakštu bei 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu kaip tinkamiausia, minimalias šilumines deformacijas užtikrinanti gaminio konstrukcija.



61 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu ir 0,8 mm stalviršiu maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške



62 pav. Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu ir 1 mm stalviršiu maksimalus įlinkis ir įlinkis kontroliniame taške

Išvados

- Išanalizavus maisto ruošimui šildant naudojamą įrangą išsiaiškinta, kad dauguma maisto pašildymui skirtų prietaisų pasiekia iki 100 °C temperatūrą, gali šildyti maistą, patiekalus esant tiesioginiam kontaktui su maistu arba jam nesant. Tokiems gaminiams dažniausiai naudojami vamzdeliniai, juosteliniai keramikiniai kaitinimo elementai, šildymo lempos, kaitinimo kilimėliai. Prieita išvados, jog kaitinimo kilimėliai yra priimtinausias kaitinimo elementas tokiam gaminiui, kaip maisto ruošimo šildomas paviršius UWP1, kadangi užima mažai vietos jo konstrukcijoje.
- Atlikus maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 konstrukcijos ir veikimo analizę išsiaiškinta, jog standartinis šildomas paviršius yra reguliuojamos temperatūros ir gali įšilti nuo 30 iki 85°C per 4 minutes. Jo korpusinės detalės yra sudarytos iš AISI 304 ir AISI 201 nerūdijančio plieno, kaitinimo elementai – elektriniai šildymo kilimėliai, o šilumos izoliavimui naudojama akmens vata.
- Eksperimentiniu tyrimu nustatyta, jog maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 šiluminio deformavimosi intensyvumas tiesiogiai priklauso nuo stalviršio storio: kuo plieno lakštas storesnis, tuo paviršius deformuojasi mažiau: paviršius su 1 mm storio AISI 304 plieno stalviršiu įkaista greičiausiai (per 160 s) bei pasiekia didžiausią deformaciją – 9,81 mm maksimalų įlinkį; tuo tarpu paviršius su 6 mm aliuminio lydinio AW-6082 intarpu bei 1,5 mm storio stalviršiu įkaista lėčiausiai (per 300 s), t.y. 1,9 karto lėčiau negu UWP1 su 1 mm storio stalviršiu, ir pasiekia mažiausią deformaciją – stalviršis įlinksta tik 1,27 mm, t. y. 7,7 karto mažiau, negu UWP1 su 1 mm storio stalviršiu.
- Sudarius skaičiuojamąjį maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 modelį ir baigtinių elementų metodu atlikus šiluminę ir įtempių-deformacijų būvio analizę gauta, kad skaičiavimų rezultatai iš esmės atitinka eksperimentinio tyrimo rezultatus (temperatūros pasiskirstymo skaičiavimų rezultatai skiriasi ne daugiau, kaip 12,5%, o šiluminių deformacijų – 10,6%). Todėl palyginus eksperimentiniu ir skaičiuojamuoju tyrimais gautus duomenis prieita išvados, jog skaičiuojamasis modelis atitinka realų šildomą paviršių ir šiuo modeliu galima remtis ieškant tokios gaminio konstrukcijos, kurios šiluminis deformavimasis būtų minimalus.
- Atlikus alternatyvių maisto ruošimo šildomo paviršiaus konstrukcijų (su 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu) skaičiavimus gauta, jog visais atvejais stalviršio įlinkiai koncentruojasi jo išoriniame krašte, t. y. šildomo paviršiaus kraštai pakyla nuo stalo paviršiaus, o vidurys įdumba. Paviršiaus su 0,8 mm storio AISI 304 plieno lakšto stalviršiu šie poslinkiai yra 1,7 mm ir 1,6 mm, o paviršiaus su 1 mm storio AISI 304 plieno lakšto stalviršiu – atitinkamai 1,2 mm ir 1,4 mm., t.y. apie 21% mažesni, todėl tinkamiausia, minimalias priimtinas (< 2 mm) šiluminės deformacijas užtikrinanti gaminio konstrukcija laikytina paviršiaus su 1 mm storio AISI 304 plieno lakšto stalviršiu ir 6 mm storio aliuminio lydinio AW-6082 intarpu.

Literatūros sąrašas

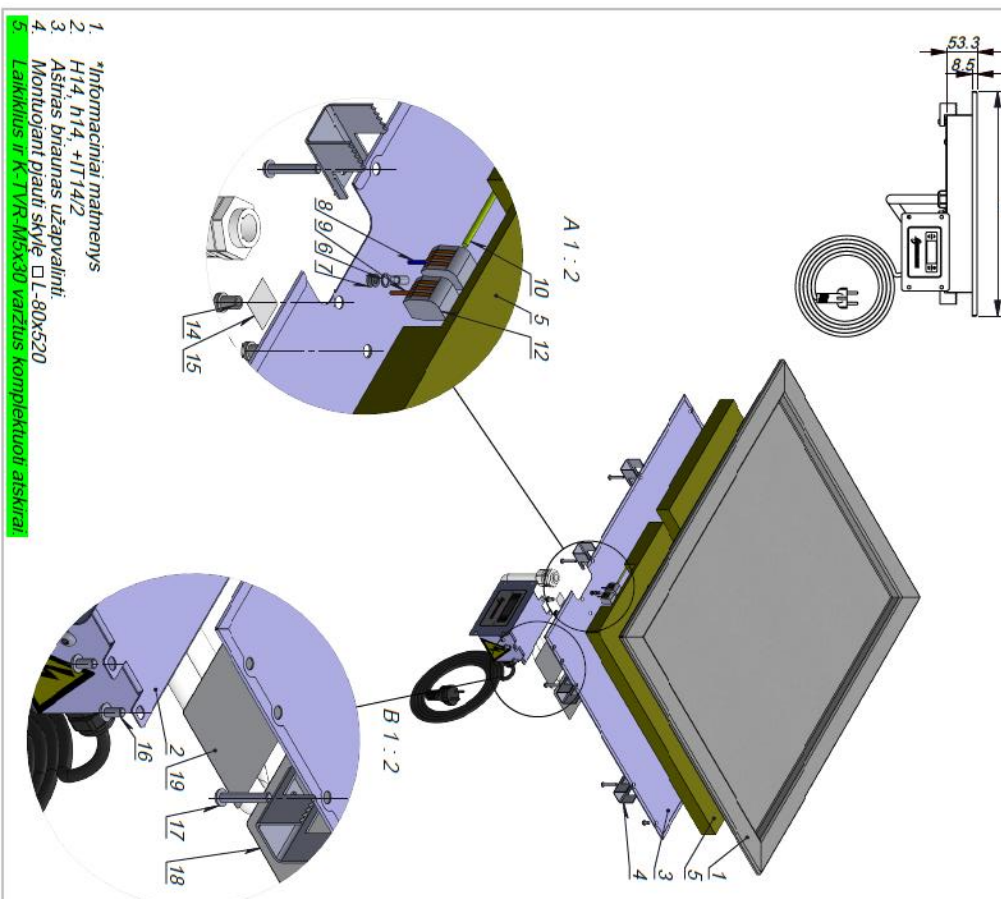
1. Profesionalus darbo stalas [žiūrėta 2018-05-05]. Prieiga per internetą:
<http://www.novameta.lt/lt/gaminiai/nestandardiniai-gaminiai/profesionalus-darbo-stalai-144>
2. Konvekcinės krosnies stovas [žiūrėta 2018-05-05]. Prieiga per internetą:
<http://www.novameta.lt/lt/gaminiai/kiti-darbo-stalai-ir-stovai/stovai-irangai/universalus-konvekcines-krosnies-stovas-12-gn-indams>
3. Rūšiavimo stalas [žiūrėta 2018-05-05]. Prieiga per internetą:
<http://www.novameta.lt/lt/gaminiai/nestandardiniai-gaminiai/indu-plovimo-iranga>
4. Šaldymo stalas su stalčiais gėrimams [žiūrėta 2018-05-05]. Prieiga per internetą:
<http://www.novameta.lt/lt/gaminiai/nestandardiniai-gaminiai/saldomi-stalai-ir-sildoma-iranga>
5. Konvekcinė krosnis [žiūrėta 2018-05-05]. Prieiga per internetą:
<http://www.maistogamybosiranga.eu/produktas/konvekcine-krosnis-easy-line-ece-905-hs-primax-3/>
6. Su maistu besiliečiančios medžiagos ir gaminiai [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per internetą:
http://vmvt.lt/sites/default/files/su_maistu_besilieciancios_medziagos_ir_gaminiai_rekome-dacijos.pdf?language=lt
7. Higienos reikalavimai. [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per internetą:
<http://vmvt.lt/maisto-sauga/verslui/transportavimas/higienos-reikalavimai>
8. Ugnies istorija [žiūrėta 2018-04-17]. Prieiga per internetą:
<https://jotul.com/lt/namuose/ugnies-istorija>
9. Heating element [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
https://en.wikipedia.org/wiki/Heating_element
10. Electric heating element [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
<https://www.webstaurantstore.com/avantco-grid307-electric-heating-element-for-grid-30-countertop-grills/177GRID307.html>
11. Kaitinimo elementai [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
<http://www.kupre.lt/index.php?lang=lt&t=gaminiai&type=pogrupis&grupe=kaitinimo-elementai&tipas=kaitinimo-elementai&potipis=stripiniai&id=39>
12. Kaitinimo elementai elektrinėms viryklėms. [žiūrėta 2018-04-29]. Prieiga per internetą:
<http://www.kupre.lt/index.php?lang=lt&t=gaminiai&id=1>
13. Marmitas. [žiūrėta 2018-04-29]. Prieiga per internetą:
<http://www.audores.lt/marmitai-elektriniai/1262-marmitas-bmn-3.html>

14. Ceramic strip heaters [žiūrėta 2018-05-07]. Prieiga per internetą:
<http://www.anupamheaters.com/ceramic-strip-heaters.php>
15. Ultra – Glo Ceramic infrared strip heaters [žiūrėta 2018-05-07]. Prieiga per internetą:
<https://www.hatcocorp.com/cms/SPECSHEETS/000000004166801-00011-20180509.PDF>
16. Ceramic strip heaters [žiūrėta 2018-05-01]. Prieiga per internetą:
<https://www.hatcocorp.com/en/equipment/strip-heaters/ceramic-strip-heaters>
17. Lavex Janitorial 250 Watt Red Infrared Heat Lamp Light Bulb [žiūrėta 2018-05-01]. Prieiga per internetą:
<https://www.webstaurantstore.com/lavex-janitorial-250-watt-red-infrared-heat-lamp-light-bulb/566250R40RD.html>
18. Infraraudonieji spinduliai [žiūrėta 2018-05-01]. Prieiga per internetą:
<https://mokslai.lt/referatai/fizika/infraraudonieji-spinduliai.html>
19. Infraraudonųjų spindulių maisto pašildytuvas GN 1/1 [žiūrėta 2018-05-01]. Prieiga per internetą:
<http://www.audores.lt/sildomi-padeklai-ir-lempos/587-infraraudonuju-spinduliu-maisto-pasildytuvas-gn-1-1.html>
20. Etched foil heater [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
<http://www.briskheat.com/products/heaters/etched-foil-heaters.html>
21. Silicone rubber heater [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
https://www.alibaba.com/product-detail/water-immersion-electric-coil-heater-element_60457667435.html
22. Silicone heating elements [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
<http://www.undercontrol.co.uk/heating-elements/silicone-heaters/>
23. AISI 304 type stainless steel [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mq304a>
24. Stainless steel – Austenitic – 201-201L-202-204 [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-201201L202204_97.ashx
25. 201 Stainless steel [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
http://www.nks.com/201_stainless_steel.html
26. Silicone Rubber Properties of Silicone Rubber Heating Blankets [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
<https://www.customheatersandresearch.com/silicone-heaters/silicone-rubber-properties-silicone-rubber-heating-blankets/>
27. Silicone rubber heater [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per internetą:
<http://heaterdesigns.com/silicone-rubber/>

28. Akmens vata Paroc WAS 35 [žiūrėta 2018-04-28]. Prieiga per internetą:
<http://www.paroc.lt/gaminiai/-statybines-konstrukcijos/vedinamu-atitvaru-plokstes/paroc-was-35>
29. Vata mineralinė extra [žiūrėta 2018-04-28]. Prieiga per internetą:
<https://lemora.lt/izoliacija/silumos-garso-izoliacija/mineraline-vata/1768-universali-akmens-vatos-plokste-paroc-extra>
30. Hugo Hens. Performance Based Building Design. 2012. [žiūrėta 2018-04-28]. Prieiga per internetą:
https://books.google.lt/books?id=U3-9vP4IDJIC&pg=PR22&lpg=PR22&dq=mineral+wool+thermal+expansion+coefficient&source=bl&ots=nTaz_k2v6Q&sig=U_ynX56FYOe-axL6K-l4lpaPtho&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwiJgaPIIOnYAhXD3KQKHRYRLDfkQ6AEIZTAI#v=onepage&q=mineral%20wool%20thermal%20expansion%20coefficient&f=false
31. Rockwool bouwplaat 210 160mm (3 platen) [žiūrėta 2018-04-28]. Prieiga per internetą:
<https://www.haldobouwmaterialen.nl/rockwool-bouwplaat-210-140mm-1.html>
32. Dial indicators/dial test indicators [žiūrėta 2018-05-12]. Prieiga per internetą:
https://www.mitutoyo.co.jp/eng/pdf/E4329_QuickGuide.pdf
33. MASTECH MS6530B [žiūrėta 2018-05-13]. Prieiga per internetą:
<https://www.lemona.lt/LIUSE/NI/En/Pdf/MS6530B%20EN.pdf>
34. Eliwell Memory 1000 [žiūrėta 2018-05-13]. Prieiga per internetą:
http://www.dsc-clim.fr/i/fiches/87_MANUEL%20TECHNIQUE%20MEMORY%201000.pdf
35. Aluminium AW-6082 [žiūrėta 2018-05-12]. Prieiga per internetą:
http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-6082-T6T651-Plate_148.ashx
36. 3M™ Polyurethane Construction Sealant 525 [žiūrėta 2018-05-26]. Prieiga per internetą:
https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Polyurethane-Construction-Sealant-525/?N=5002385+3293223605&rt=rud
37. SolidWorks dokumentacijos konvekcijos koeficientas skirtingose aplinkose
...> Simulation > Analysis Background > Thermal Analysis > Mechanisms of Heat Transfer > Convection

Maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 surinkimo brėžinys

L	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
L1	308	408	508	278	328	378	276	310	343	272	297	322



1. Informaciniai matavimys
2. H14, h14, +H14/2
3. Aštras binauras užapvalinti.
4. Montuojant plauti skyje □ L-80x520
5. **Laikytis ir KTYR-MKS-30 varžius komplektuoti atskirai**

Formatas	Pozicija	Žymėjimas	Pavadinimas	UWP1 L=400-600	UWP1 L=700-900	UWP1 L=1000-1200	UWP1 L=1300-1500	Pastaba standartams
A4	1	UWP1-01.00 SB	Paviršius-korpusas	1	1	1	1	Žr. brėžinius
A4	2	UWP1-04.00 SB	Valdymo dėžutė	1	1	1	1	Žr. brėžinius
A4	3	UWP1-00.01	Dugnas	1	1	1	1	Žr. brėžinius
A4	4	UWP1-00.02	Laikiklis	4	8	10	10	Žr. brėžinius
b/b	5	K-BIA-30	Alumens vata	1	2	3	4	L1x508
Komplektacija elektifikaciam								
b/b	6	K-EJAKOI-1.504N	Kilpa laidui KOI neizoliuota	1	1	1	1	
b/b	7	K-TK-DA4G-4L	Kniede	1	1	1	1	
b/b	8	K-EK-1-SMEL	Laidas	1	1	1	1	
b/b	9	K-EK-1-SRUD	Laidas	1	1	1	1	
b/b	10	K-EK-2-SGZ	Įžeminimo laidas	1	1	1	1	
b/b	11	K-EJKU-2	Kaladėlė užspaundinama 2 vietų	2	-	-	-	
b/b	12	K-EJKU-3	Kaladėlė užspaundinama 3 vietų	2	-	-	-	
b/b	13	K-EJKU-5	Kaladėlė užspaundinama 5 vietų	2	2	2	2	
b/b	14	K-TKS-MKS-ZN	Kniede sriegine iškilii	1	1	1	1	
b/b	15	K-LIP-42	Lipdukas "Įžeminimas"	1	1	1	1	
b/b	16	K-TVR-MAS70-NPL-		10	7	11	11	
b/b	17	ISO7380-TX	Varžius	4	8	10	10	
b/b	18	KTYR-MKS-30-NPL-	Duomenų lipdukas	1	1	1	1	
b/b	19	K-LIP-UWP1-2	El. schemos lipdukas	1	1	1	1	

Šildomas paviršius

Projektoriaus edvinas/

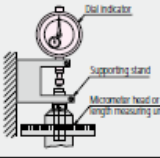
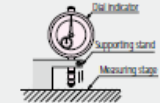


Mastelis: 1:7

Šiur: 1:7

UWP1-00.00 SB

Series N.: 002xxxxxxxxxxxxxxx

Laikrodinio poslinkio indikatoriaus IČ-10 specifikacija

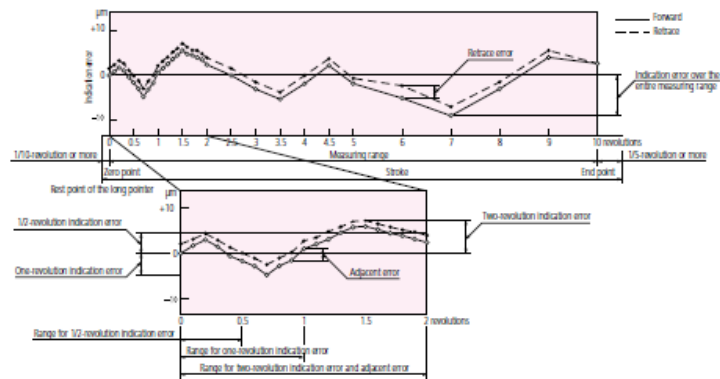
No.	Item	Calibration method	Diagram of calibration setup	Tools for calibration
1	Indication error	Holding the dial indicator with its spindle set vertically downward, follow the procedure prescribed below and determine the error of indication with reference to the dial graduations.		
2	Adjacent error			
3	Retrace error	First, displace the spindle upward over the entire measuring range while plotting errors at every 1/10 revolution of the pointer for the first two revolutions from the zero point, at every half revolution for the next five revolutions, and at every revolution after the fifth revolution, then reverse the spindle displacement at the end of the measuring range of the dial indicator and plot errors at the same points measured during upward spindle displacement. Determine errors from a bidirectional error curve thus obtained. (Fig. 1)		For 0.001mm or 0.002mm graduation dial indicators with a 2mm measuring range or less: A micrometer head or other measuring unit with 0.5µm graduation or less and instrumental error of ±1µm and a supporting stand. For dial indicators other than the above: A micrometer head or other measuring unit with 1µm graduation or less and ±1µm instrumental error and a supporting stand.
4	Repeatability	Apply the contact point of the dial indicator perpendicularly to the upper face of a measuring stage, displace the spindle quickly and slowly five times at a desired position within the measuring range and determine the maximum difference between the five indications obtained.		Measuring stage Supporting stand
5	Measuring force	Holding a dial indicator with its spindle set vertically downward, displace the spindle upward and then downward continuously and gradually and take measurements of the measuring force at the zero, middle, and end points in the measuring range in both the upward and downward directions.		Supporting stand Top pan type spring scale (graduation: 2gf or less) or force gage (sensitivity: 0.007N or less)

Maximum permissible error of indication

Unit: µm

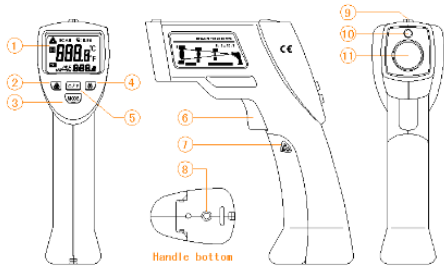
Measuring range	Graduation and measuring range					
	0.01mm 10mm or less	0.002mm 2mm or less	0.002mm Over 2mm and up to 10mm	0.001mm 1mm or less	0.001mm Over 1mm and up to 2mm	0.001mm Over 2mm and up to 5mm
Retrace error	5	3	4	3	3	4
Repeatability	5	0.5	1	0.5	0.5	1
Indication error	1/10 revolution ^{*1}	8	4	5	2.5	5
	1/2 revolution	±9	±5	±6	±3	±6
	One revolution	±10	±6	±7	±4	±7
	Two revolutions	±15	±6	±8	±4	±8
	Entire measuring range	±15	±7	±12	±5	±7

*1: Adjacent accuracy
 Values in the table above apply at 20°C.
 Performance: Maximum permissible errors of a dial indicator shall comply with the table above.
 Permissible errors of indication shall be evaluated inclusive of the uncertainty of calibration.



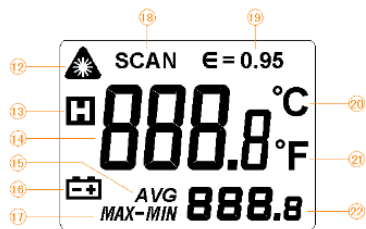
Bekontakčio infraraudonųjų spindulių termometro „MASTECH MS6530B“ specifikacija

III. Explanation on parts



- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. LCD | 2. Laser button |
| 3. Mode button | 4. Backlight button |
| 5. °C/°F button | 6. Trigger |
| 7. Battery cover | 8. Tripod nut |
| 9. Collimator | 10. Laser emission orifice |
| 11. Temperature detect hole | |

IV. LCD illustration



X. Specifications

LCD display: double temperature 4 digitals LCD

D:S: 12:1

Emissivity: 0.95

Spectral response: 8-14 um

Measure range: -20°C~320°C or -4°F~608°F

Accuracy: -20°C~50°C ±2.5°C,
51°C~320°C ±(reading * 1.5%+1°C)

Response time: 0.5 second

Laser power: less than 1 mw

Automatic turn off: hold for 10 seconds

Backlight: kelly

operation surrounding: 0~40°C,10~90%RH

Storage surrounding: -10°C~60°C, ≤75%RH

Battery: 9V 6F22

Size: Long 162*Width 56*high 190mm

Weight: approximately 267g(including battery)

Accessories: battery 9V, operation manual, bag

The longest measuring distance : 12 meters

Daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus - Eliwell Memory 1000 specifikacija

10 SPECIFICATIONS

General specifications

	Standard	Min.	Max.
Supply voltage	230V~	—	±10%
Supply frequency	50Hz/60Hz	—	—
Power draw – <i>printer not in use</i>	5VA	—	—
Power draw – <i>printer in use</i>	20VA	—	—
Insulation rating	2	—	—
Ambient operating temperature	—	0°C	40°C
Ambient operating humidity (non-condensing)	—	10%	90%
Storage temperature	—	-20°C	+70°C
Ambient storage humidity (non-condensing)	—	10%	90%

11 APPLICABLE STANDARDS

11.1 European Community Directives

The product complies with the following *European Community Directives*:

- Council Directive 2006/95/EC
- Council Directive 2004/108/EC

and complies with the following harmonised regulations: EN 61010-1 & EN 61326-1

Eliwell monitoring systems in the Memory 1000 family:

Can be used in EN 12830-compliant applications.

11.1.1 EN12830 compatibility

Memory 1000 is capable of recording temperatures as per EN12830 regulation at the following conditions:

- recording interval must be set. ≤ 30 minutes
- onboard probes must be performed with Eliwell NTC probes
- Televis network resources must be provided with Eliwell NTC probes

NOTE, FOR PRINTER ENABLE MODELS ONLY: recording of the temperatures from resources in the Televis network is suspended while printing. In order to guarantee the recordings according to EN12830 it is suggested to operate as following: set a recording interval of 15 minutes and, after a print process is terminated, wait at least 20 minutes before running a new print process.

11.1.2 Limitation to the recording frequency for the Televis network resources

In case of recording intervals shorter than 15 minutes, the history of the resources in the Televis network may present missing recording due to communication errors (e.g. for disturbances to the communication line independent than Memory 1000) or because of the recordings are suspended during the print processes.

11.2 Application information sheet

11.2.1 Type of data logging

Suitable for storage.

11.2.2 General Requirements

Measurement range

- Onboard probes: -40...+50°C
- Network devices: Use only class II rated devices (Eliwell).

Protection rating provided by outer casings

- IP 20.

Supply voltage and frequency

- 230V ~ +10% 50/60 Hz ± 3 Hz.
- 230V ~ -15% 50/60 Hz ± 3 Hz.

Power failures

Non-volatile internal memory, 10-year duration.

11.2.3 Requirements for metrological characteristics

Maximum permissible errors, and temperature measurement resolution and error

- Onboard probes: Class I -40...+50°C **NTC INPUTS ONLY**.
- Network devices: Depends on Class II network devices.

Recording frequency

Configurable AUTO SAVE (30").

N.B.: See table A.

Recording time

To save hard copy of data (see section 6.5.4)

- Minimum value of 30".
- Maximum value of 1 year.

N.B.: See table A.

Maximum relative time measurement error and time recording error

<0.1%.

Response time

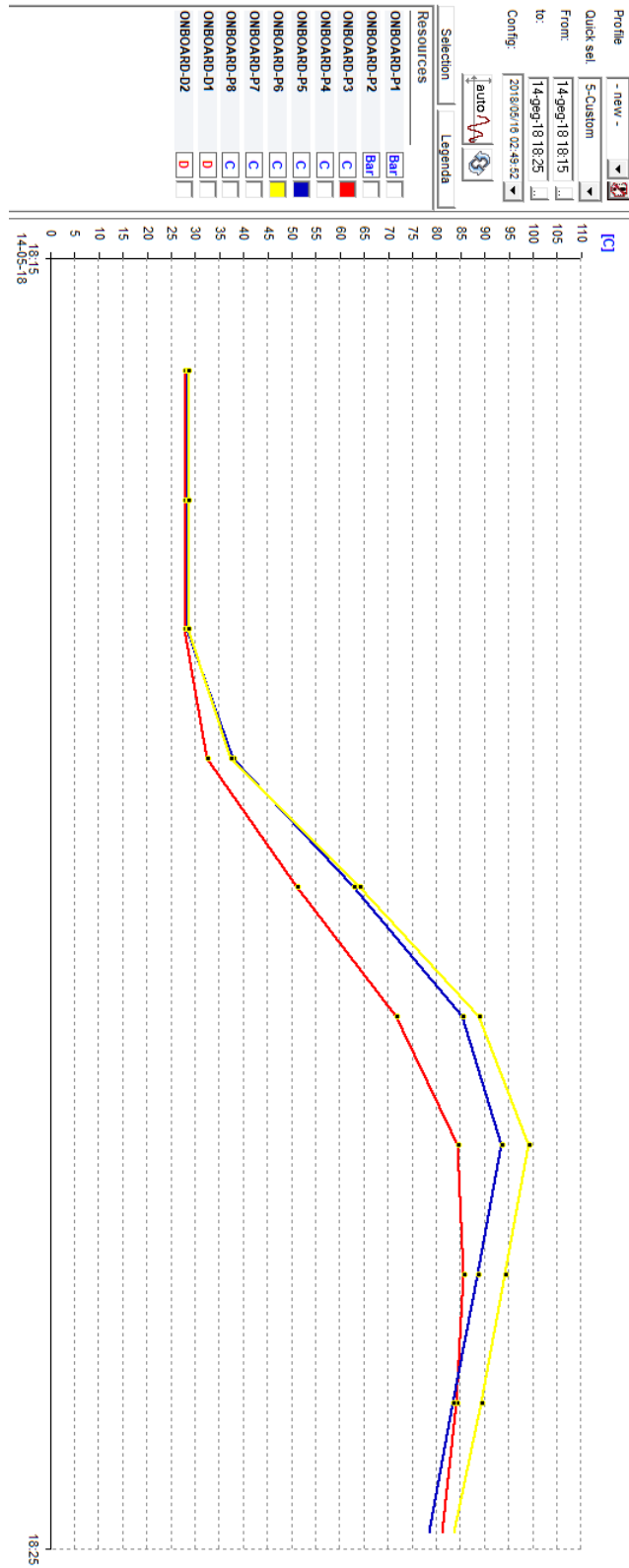
30".

Type A climatic environment and influence of ambient temperature.

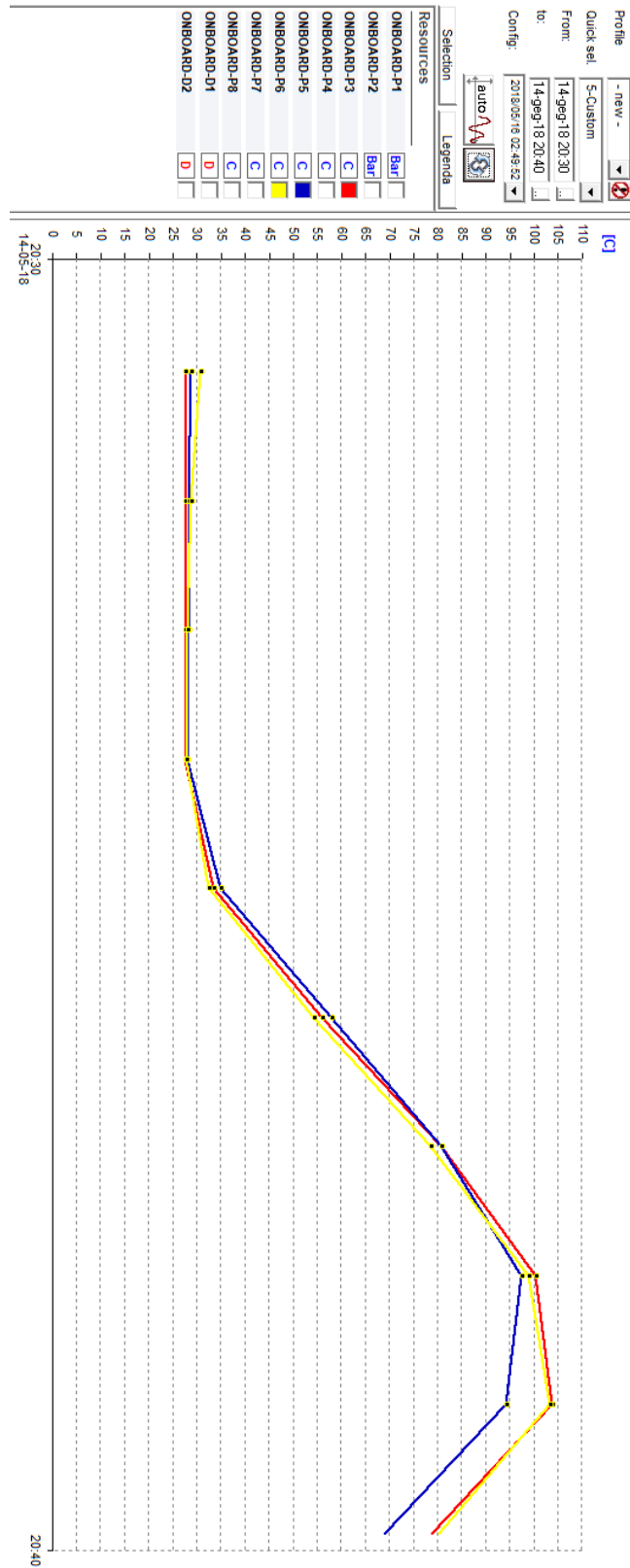
Type A climatic environment and temperature test under data logger storage and transport conditions.

Electrical disturbances and radiated electromagnetic field susceptibility compliant with EN 61326-1.

Daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus - Eliwell Memory 1000 duomenys: maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1,5 mm stalviršiu temperatūros pasiskirstymas skirtinguose paviršiaus taškuose: P3, P5, P6



Daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus - Eliwell Memory 1000 duomenys: maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 2 mm stalviršiu temperatūros pasiskirstymas skirtinguose paviršiaus taškuose: P3, P5, P6



Daugiakanalio temperatūros ir slėgio duomenų registratoriaus - Eliwell Memory 1000 duomenys: maisto ruošimo šildomo paviršiaus UWP1 su 1,5 mm stalviršiu ir 6 mm AW-6082 aliuminio lydinio intarpu temperatūros pasiskirstymas skirtinguose paviršiaus taškuose: P3, P5, P6

