



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Jūrų transporto priemonėse naudojamų priešgaisrinių durų
konstrukcijos parametru tyrimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Mantas Sakalauskas
Projekto autorius

Doc. Dainius Vaičiulis
Vadovas

Panevėžys, 2020



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Jūrų transporto priemonėse naudojamų priešgaisrinių durų konstrukcijos parametrų tyrimas

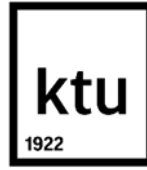
Baigiamasis magistro studijų projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Mantas Sakalauskas
Projekto autorius

Doc. Dainius Vaičiulis
Vadovas

Recenzentas / Recenzentė

Panevėžys, 2020



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Mantas Sakalauskas

Jūrų transporto priemonėse naudojamų priešgaisrinių durų konstrukcijos parametrų tyrimas

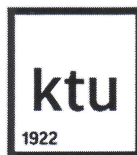
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Manto Sakalausko, baigiamasis projektas tema „Jūrų transporto priemonėse naudojamų priešgaisrinių durų konstrukcijos parametrų 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
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Magistrantui Mantui Sakalauskui

Baigiamojo projekto tema lietuvių kalba

JŪRŲ TRANSPORTO PRIEMONĖSE NAUDOJAMŲ PRIEŠGAISRINIŲ DURŲ KONSTRUKCIJOS PARAMETRŲ TYRIMAS

Baigiamojo projekto tema anglų kalba

INVESTIGATION OF STRUCTURAL PARAMETERS OF FIRE DOORS USED IN MARINE VEHICLES

Patvirtinta 2020 m. balandžio 6 d. dekanu potvarkiu Nr.V25-13-7-1.

Parengto baigiamojo projekto įkėlimo į Lietuvos akademinės elektroninės bibliotekos informacinės sistemos (eLABa) talpyklą ir Moodle aplinką terminas iki 2020 m. birželio 1 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tyrimą atlikti taikant baigtinių elementų metodą. Išnagrinėti bent tris skirtingas priešgaisrinių durų konstrukcijas.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai, kurie turi būti atskleisti projekte

Išnagrinėti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose tiriamos priešgaisrinės durys. Nustatyti kokią įtaką priešgaisrinių durų temperatūriniam deformavimosi pobūdžiui ir didumui turi durų konstrukcijos ypatumai ir durų gamybai naudojamos medžiagos.

Vadovas: Doc. dr. Dainius Vaičiulis
(vadovo pareigos, vardas, pavardė)

Užduotį gavau: Mantas Sakalauskas
(studento vardas, pavardė)

2020 m. balandžio 29 d.

Sakalauskas, Mantas. Jūrų transporto priemonėse naudojamų priešgaisrinių durų konstrukcijos parametru tyrimas. Magistro baigiamasis projektas. Vadovas doc. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): transporto priemonių inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *priešgaisrinės durys, jūrų transporto durys, termo-mechaninė analizė, BEM.*

Panevėžys, 2020. 66 p.

Santrauka

Baigiamojo projekto objektas – jūrų transporto priešgaisrinės durys. Pagrindinis tikslas – ištirti, kaip jūrų transporto priešgaisrinių durų temperatūrinės deformacijos priklauso nuo durų konstrukcijos ypatumų ir naudojamų medžiagų. Baigiamąjį projektą sudaro keturi skyriai:

1-ame skyriuje atlikta mokslinės literatūros apžvalga, kurioje nagrinėjamos priešgaisrinės konstrukcijos (modeliavimas bei eksperimentiniai tyrimai).

2-ame skyriuje išnagrinėti ir pateikti pagrindiniai reikalavimai, kurie keliami „B“ klasės priešgaisrinėms durims.

3-iame skyriuje sudarytas supaprastintas durų BEM modelis: pašalinti tokie durų elementai, kaip spyna, rankenos, vyriai (spynos bei vyrių dalys, kurios kontaktuoja su stakta ir varčia, pakeistos standžiais ryšiais); durų angos apvadas, stakta ir sienos paviršiai laikomi vienu kūnu; tarp besiliečiančių paviršių šilumos laidumo nuostolių nėra; besiliečiantys kūnai laikomi standžiai sujungti. Ypatinguose tokio durų modelio taškuose gautos vidutinės temperatūros ir vidutinės temperatūrinės deformacijos, nuo temperatūrų ir deformacijų, nustatytų laboratorijoje testų metu, atitinkamai skiriasi 7% ir 11%.

4-ame skyriuje atlikti skaitiniai tyrimai su naujomis durų konstrukcijomis, kuriuose keičiamas durų varčios plieno storis (nuo 0,6 mm iki 2,0 mm), naudojamos skirtingų rūšių izoliacinės medžiagos („SuperWool“, „FireMaster“, „MaxWool“) ir papildomi standumo profiliai varčios viduje (U, Z, L).

Nustatyta, kad didinant durų varčios plieno lakštų storį vyrių bei abiejose varčios pusėse temperatūra ir temperatūrinės deformacijos padidėja, o atraminėje varčios pusėje sumažėja. Parinkus tinkamą izoliacinę medžiagą („FireMaster“ arba „SuperWool“) galima gauti temperatūros ir temperatūrinių deformacijų reikalavimus tenkinančią „B-30“ klasės priešgaisrinių durų konstrukciją. Varčioje panaudojus papildomą standumo profilį gaunama, kad ypatinguose durų taškuose temperatūra padidėja, o temperatūrinės deformacijos sumažėja.

Sakalauskas, Mantas. Investigation of structural parameters of fire doors used in marine vehicles. Master Thesis Final Degree Project. Head doc. Dainius Vaičiulis. The Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering, Technology Sciences.

Keywords: *fire doors, marine doors, thermos-mechanical analysis, FEM.*

Panevėžys, 2020. 66 p.

Summary

The object of the final project – fire doors used in marine vehicles. The main objective – investigate how the temperature deformations of fire doors used in marine vehicles depend on the peculiarities of the door construction and the materials used in it. The final project consists of four chapters:

In Chapter 1, a review of the scientific literature is performed, which examines fire structures (modeling and experimental research).

Chapter 2 examines and presents the basic requirements for „B“ class fire doors.

Chapter 3 provides a simplified door FEM model: removed door elements such as lock-case, handle, door hinges (lock and hinges parts in contact with the frame and door-frame, replaced by rigid ties); the counter-frame, the door-frame and the panel wall surfaces are considered as one body; there is no loss of thermal conductivity between the contacting surfaces and the contacting bodies are kept rigidly connected. The average temperature and average temperature deformations obtained at special points in the door model differ from the temperatures and deformations determined in the laboratory tests by 7% and 11% respectively.

In Chapter 4, numerical studies were performed with new door constructions that vary the thickness of the door-leaf steel (from 0,6 mm to 2,0 mm), using different types of insulation materials („SuperWool“, „FireMaster“, „MaxWool“) and additional stiffness profiles inside the door-leaf (U, Z, L).

It was found that increasing the thickness of door-leaf steel sheet on the hinge side and on the both sides increases the temperature and temperature deformations while increasing the thickness of the door-leaf on the opposite side of hinges decreases the temperature and temperature deformations. By choosing the right insulation material („FireMaster“ or „SuperWool“) it is possible to obtain a „B-30“ class fire door construction that meets the requirements of temperature and temperature deformations. The use of an additional stiffness profile in the door-leaf results in an increase in temperature and a decrease in temperature deformations at specific door points.

Turinys

| | |
|---|-----------|
| Lentelių sąrašas | 8 |
| Paveikslų sąrašas | 9 |
| Įvadas..... | 12 |
| 1. Literatūros apžvalga ir analizė | 13 |
| 2. Jūrų transporto priešgaisrinių durų sąlygos | 21 |
| 3. Durų modeliavimas-modelio sukūrimas | 23 |
| 3.1. Priešgaisrinių durų temperatūriniai skaičiavimai | 25 |
| 3.2. Priešgaisrinių durų temperatūrinių deformacijų skaičiavimai | 28 |
| 3.3. Modelio tikslumo nustatymas..... | 34 |
| 4. Skaitiniai durų tyrimai | 36 |
| 4.1. Durų varčios plieno lakštų storio įtaka | 36 |
| 4.1.1. Vyrių pusės plieno lakštas | 37 |
| 4.1.2. Atraminės pusės plieno lakštas..... | 39 |
| 4.1.3. Abiejų pusių plieno lakštai | 41 |
| 4.1.4. Tyrimo, kai keičiamos durų varčios plieno lakštų storiai, apibendrinimas | 43 |
| 4.2. Durų varčios izoliacinės medžiagos įtaka..... | 43 |
| 4.2.1. Durų varčios izoliacinė medžiaga – „SuperWool Plus blanket“ | 44 |
| 4.2.2. Durų varčios izoliacinė medžiaga – „MaxWool“ | 48 |
| 4.2.3. Durų varčios izoliacinė medžiaga – „FireMaster Marine Plus blanket“ | 51 |
| 4.2.4. Tyrimo, kai keičiamos durų varčios izoliacinė medžiaga, apibendrinimas..... | 54 |
| 4.3. Durų varčios viduje naudojamo standumo profilio įtaka | 55 |
| 4.3.1. U formos standumo profilis..... | 56 |
| 4.3.2. Z formos standumo profilis | 58 |
| 4.3.3. L formos standumo profilis | 60 |
| 4.3.4. Tyrimo, kai durų varčios viduje naudojamas standumo profilis, apibendrinimas | 62 |
| Išvados | 64 |
| Informacijos šaltinių sąrašas | 65 |

Lentelių sąrašas

| | |
|---|----|
| 1 lentelė. A525 markės (pagal ASTM standartą) galvanizuoto plieno fizikinės ir mechaninės savybės | 24 |
| 2 lentelė. Izoliazijos „RockWool SeaRox SL440“ fizikinės ir mechaninės savybės | 25 |

Paveikslų sąrašas

| | |
|---|----|
| 1 pav. Konstrukcijos modelis [1]..... | 13 |
| 2 pav. Konstrukcijos modelis ir laboratorijos specialii krosnis [2] | 14 |
| 3 pav. Durų varčios sandara [3]..... | 14 |
| 4 pav. Tradicinio ir inovatyvaus priešgaisrinių durų modelio palyginimas [5]..... | 15 |
| 5 pav. Naujo ir seno modelio eksperimento, BEM ir analitinio skaičiavimo rezultatų palyginimas [5] | 16 |
| 6 pav. Modelio ir realaus testo vidutinės temperatūros ant varčios rezultatų palyginimas [6] | 16 |
| 7 pav. Testuojamų durų temperatūra, pamatuota ant durų varčios ypatingųjų taškų [7] | 17 |
| 8 pav. Eksperimentinių, teorinių skaičiavimų ir realaus testo vidutinės temperatūros ant varčios rezultatų palyginimas [10] | 18 |
| 9 pav. BEM modelio ir realaus testo rezultatų palyginimas [11] | 18 |
| 10 pav. Dvigubų durų modelio ir realaus testo vidutinės temperatūros ant varčios rezultatų palyginimas [12] | 19 |
| 11 pav. Laivo sienų (plokščių) modelis [13] | 19 |
| 12 pav. Sutvirtintos konstrukcijos modelis [14]..... | 20 |
| 13 pav. „B“ klasės durys įstatytos į plokščių sieną | 21 |
| 14 pav. Priešgaisrinių durų varstymo kryptis | 22 |
| 15 pav. Ypatingieji durų taškai..... | 22 |
| 16 pav. Priešgaisrinių durų modelis, su išdidintu pjūviu..... | 23 |
| 17 pav. Galvanizuoto plieno tamprumo modulio E ir takumo ribos σ_y priklausomybė nuo temperatūros [5]..... | 24 |
| 18 pav. Galvanizuoto plieno ir izoliacinės medžiagos šilumos laidumo priklausomybė nuo temperatūros [5]..... | 25 |
| 19 pav. Temperatūros ir konvekcijos sąlyga | 26 |
| 20 pav. Priešgaisrinių durų modelis suskaidytas baigtiniais elementais | 27 |
| 21 pav. Temperatūros pasiskirstymo rezultatai, gauti naudojant „Solidworks Simulation“ | 28 |
| 22 pav. Plokščių sienos įtvirtinimas | 29 |
| 23 pav. Priešgaisrinių durų angos, staktos ir sienos kontaktas..... | 30 |
| 24 pav. Varčios ir staktos jungtys (mėlyna ir violetine spalvomis pažymėti sujungiamieji paviršiai) | 31 |
| 25 pav. Varčios ir staktos kontaktuojantys paviršiai (pažymėti mėlyna ir violetine spalvomis) | 32 |
| 26 pav. Slėgio ir temperatūros sąlyga..... | 33 |
| 27 pav. Priešgaisrinių durų, veikiamų temperatūros, deformavimosi pobūdis išilgai durų storio (t.y. kryptimi statmena paveiksluoto plokštumai; teigiamos poslinkių vertės nurodo, kad durys išsilenkia nuo skaitytojo, o neigiamos – į skaitytoją)..... | 33 |
| 28 pav. Priešgaisrinių durų temperatūros, gautos taikant BEM (■) ir nustatytos eksperimentiškai (■), palyginimas..... | 34 |
| 29 pav. Priešgaisrinių durų skersinių įlinkių (absoliutinės deformacijos), gautų taikant BEM (■) ir nustatytų eksperimentiškai (■), palyginimas | 34 |
| 30 pav. Ypatingieji durų taškai: a – nustatant temperatūras; b – nustatant temperatūrines deformacijas | 36 |
| 31 pav. Priešgaisrinių durų varčios modelis | 36 |
| 32 pav. Temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, vyrių pusėje, storio | 37 |
| 33 pav. Santykinės temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, vyrių pusėje, storio | 37 |
| 34 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) temperatūrinių deformacijų priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo vyrių pusėje..... | 38 |
| 35 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) santykinių įlinkių priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo vyrių pusėje | 38 |

| | |
|---|----|
| 36 pav. Temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, atraminėje pusėje, storio | 39 |
| 37 pav. Santykinės temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, atraminėje pusėje, storio | 39 |
| 38 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) temperatūrinių deformacijų priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo atraminėje pusėje | 40 |
| 39 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) santykinių įlinkių priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo atraminėje pusėje..... | 40 |
| 40 pav. Temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto storio abiejose pusėse | 41 |
| 41 pav. Santykinės temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto storio abiejose pusėse | 41 |
| 42 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) temperatūrinių deformacijų priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo abiejose pusėse..... | 42 |
| 43 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) santykinių įlinkių priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo abiejose pusėse..... | 42 |
| 44 pav. Priešgaisrinių durų varčios modelis..... | 43 |
| 45 pav. „RockWool SeaRox SL 440“, „SuperWool Plus blanket“, „MaxWool“, „FireMaster Marine Plus blanket“ šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo temperatūros..... | 44 |
| 46 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio (☒), „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m ³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas | 44 |
| 47 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga | 45 |
| 48 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga | 45 |
| 49 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidaranti temperatūrinė deformacija, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio (☒), „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m ³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas..... | 46 |
| 50 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga | 47 |
| 51 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga | 47 |
| 52 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m ³ tankio (☒), „MaxWool“ 160 kg/m ³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas | 48 |
| 53 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga | 48 |
| 54 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „MaxWool“ 160 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga | 49 |
| 55 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidaranti temperatūrinė deformacija, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m ³ tankio (☒), „MaxWool“ 160 kg/m ³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas..... | 49 |
| 56 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga..... | 50 |
| 57 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „MaxWool“ 160 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga..... | 50 |
| 58 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio (☒), „FireMaster Marine Plus blanket“ 160 kg/m ³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas | 51 |
| 59 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga..... | 51 |

| | |
|---|----|
| 60 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga..... | 52 |
| 61 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarančios temperatūrinės deformacijos, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio (■), „FireMaster Marine Plus blanket“ 160 kg/m ³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas..... | 52 |
| 62 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga..... | 53 |
| 63 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m ³ tankio izoliacinė medžiaga..... | 53 |
| 64 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) gautų temperatūros rezultatų palyginimas keičiant varčios izoliacinę medžiagą (■ – „RockWool SeaRox SL 440“ 150 kg/m ³ ; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m ³ ; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m ³ ; ■ – „MaxWool“ 64 kg/m ³ ; ■ – „MaxWool“ 160 kg/m ³ ; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 64 kg/m ³ ; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 128 kg/m ³)..... | 54 |
| 65 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30b pav.) gautų temperatūrinių deformacijų rezultatų palyginimas keičiant varčios izoliacinę medžiagą (■ – „RockWool SeaRox SL 440“ 150 kg/m ³ ; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m ³ ; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m ³ ; ■ – „MaxWool“ 64 kg/m ³ ; ■ – „MaxWool“ 160 kg/m ³ ; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 64 kg/m ³ ; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 128 kg/m ³)..... | 55 |
| 66 pav. Priešgaisrinių durų konstrukcijose naudojami standumo profiliai | 55 |
| 67 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U (■) ir nėra profilio (■), palyginimas..... | 56 |
| 68 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U | 56 |
| 69 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarančios temperatūrinės deformacijos, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U (■) ir nėra profilio (■), palyginimas | 57 |
| 70 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U | 57 |
| 71 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z (■) ir nėra profilio (■), palyginimas | 58 |
| 72 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z | 58 |
| 73 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarančios temperatūrinės deformacijos, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z (■) ir nėra profilio (■), palyginimas..... | 59 |
| 74 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z..... | 59 |
| 75 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■), L(2) (■) ir nėra profilio (■), palyginimas..... | 60 |
| 76 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■) ir L(2) (■)..... | 61 |
| 77 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarančios temperatūrinės deformacijos, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■), L(2) (■) ir nėra profilio (■), palyginimas ... | 61 |
| 78 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■) ir L(2) (■)..... | 62 |
| 79 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) gautų temperatūros rezultatų palyginimas panaudojant varčios viduje skirtingos formos standumo profilius (■ – Be standumo profilio; ■ – U standumo profilis; ■ – Z standumo profilis; ■ – L(1) standumo profilis; ■ – L(2) standumo profilis)..... | 63 |
| 80 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30b pav.) gautų temperatūrinių deformacijų rezultatų palyginimas panaudojant varčios viduje skirtingos formos standumo profilius (■ – Be standumo profilio; ■ – U standumo profilis; ■ – Z standumo profilis; ■ – L(1) standumo profilis; ■ – L(2) standumo profilis)..... | 63 |

Įvadas

Temos aktualumas. Pasyvioji priešgaisrinė apsauga neatskiriama statinio konstrukcijos dalis. Pagrindinė šios apsaugos užduotis užkirsti kelią gaisrams arba sulėtinti ugnies plitimą. Tai gali būti ugniai atsparios pertvaros, sienos arba grindys, tačiau vienas pagrindinių saugos elementų naudojamų užtikrinti gaisrinį saugumą – gaisro temperatūrai atsparios durys. Priešgaisrinėms durims keliami du pagrindiniai reikalavimai: durys privalo atlikti savo darbinę funkciją ir užtikrinti žmonių saugumą evakuacijos metu. Dėl šių priežasčių durų konstrukcija sudėtinga. Įprastai priešgaisrines duris sudaro įvairios medžiagos, kurios turi pasižymėti tam tikromis savybėmis, kad būtų užtikrinamas durų funkcionalumas. Šios savybės tikrinamos privalomuose gaisriniuose bandymuose. Priešgaisrinių durų eksperimentai labai brangūs, todėl tyrimų metu patiriamas sąnaudas galima sumažinti pasitelkus skaitinius inžinerijos metodus.

Baigiamojo projekto objektas - jūrų transporto priešgaisrinės durys.

Baigiamojo projekto tikslas - ištirti kaip jūrų transporto priešgaisrinių durų temperatūrinės deformacijos priklauso nuo durų konstrukcijos ypatumų ir naudojamų medžiagų.

Baigiamojo projekto uždaviniai:

1. Atlikti Lietuvos ir užsienio autorių mokslinių publikacijų, kuriose nagrinėjami priešgaisrinių durų ypatumai, apžvalgą.
2. Nurodyti būtinas aplinkos sąlygas kurioms esant reikia atlikti priešgaisrinių durų modeliavimą. Pateikti reikalavimus, kuriuos turi atitikti priešgaisrinės durys, esant šioms sąlygoms.
3. Sudaryti priešgaisrinių durų kompiuterinį bandomąjį modelį pagal „B“ klasės priešgaisrines duris. Nustatyti kiek skiriasi duomenys, paimti iš „B“ klasės durų eksperimentinio tyrimo ataskaitos, nuo skaičiavimo duomenų, gautų naudojant BEM ir bandomąjį modelį.
4. Ištirti kokią įtaką jūrų transporto priešgaisrinių durų deformavimosi pobūdžiui ir didumui turi durų konstrukcijos ypatumai.
5. Ištirti kokią įtaką jūrų transporto priešgaisrinių durų deformavimosi pobūdžiui ir didumui turi naudojamų medžiagų savybės ir kiekis (durų elementų storiai).

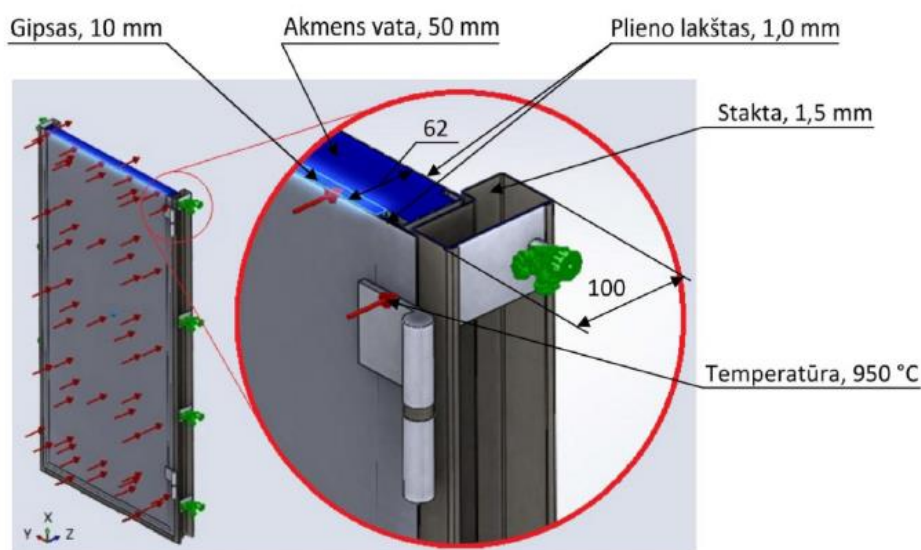
Pranešimai ir moksliniai darbai baigiamojo projekto tematika. Dalyvauta studentų mokslinėje konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2020“ (TVA-2020), vykusioje Panevėžyje 2020 m. balandžio 24 d. Skaitytas pranešimas tema „Jūrų transporto priemonėse naudojamų priešgaisrinių durų modeliavimas ir jo tikslumo nustatymas“. Pranešimo pagrindu parengtas straipsnis, kuris įtrauktas į studentų mokslinės konferencijos TVA-2020 darbų rinkinį.

Baigiamojo projekto sandara ir apimtis. Baigiamąjį magistro projektą sudaro akademinio sąžiningumo deklaracija, baigiamojo projekto užduotis, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis, lentelių ir paveikslukų sąrašai, įvadas, keturi skyriai, išvados ir literatūros sąrašas. Aiškinamojo rašto apimtis 66 p., kuriuose yra 80 paveikslukų ir 2 lentelės.

1. Literatūros apžvalga ir analizė

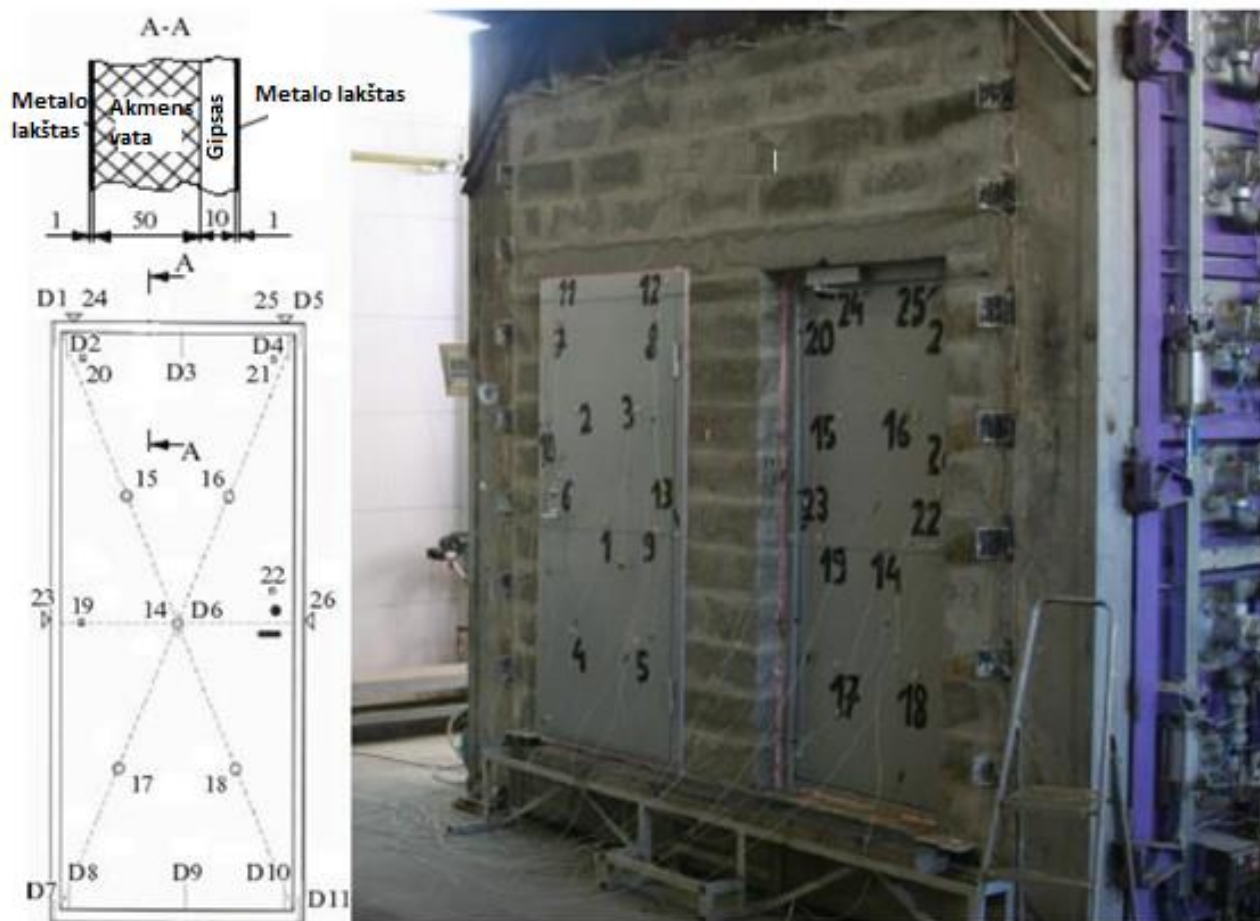
Priešgaisrinių durų paklausa yra labai didelė. Per pastarąjį dešimtmetį išaugo ne tik konstrukcijos stipruminiai ir priešgaisriniai reikalavimai, tačiau užsakovai gamintojams pradėjo kelti reikalavimus dėl estetiško durų vaizdo. Dažnai estetiškai gražių gaminių detalės būna gaminamos iš medžiagų, kurios pasižymi prastomis fizikinėmis savybėmis. Tam, kad tokios durys tinkamai funkcionuotų išlaikydamos savo savybes, jos privalo būti išsamiai ištiriamos teoriniais ir praktiniais tyrimais.

Sluoksniuotų konstrukcijų tyrimą atliko Remigijus Guobys daktaro disertacijoje „Sluoksniuotųjų konstrukcijų tyrimas gaisro sąlygomis“ [1]. Pagrindinė darbo užduotis buvo ištirti konstrukcijų deformavimąsi esant gaisro sąlygoms ir suformuoti tokios konstrukcijos tyrimo metodiką. Autorius pasiūlė sluoksniuotų konstrukcijų modeliavimo bei parametrų valdymo algoritmą. Pagal šį algoritmą sudarytas kompiuterinis modelis (žr. 1 pav.). Modelyje galima reguliuoti temperatūrą bei visus konstrukcijos parametrus. Panaudojus šį modelį nustatyta, kad metalinės konstrukcijos, kurios turi būti atsparios didelei kaitrai, privalo būti projektuojamos taip, kad mažintų bendrus nepalankius įlinkius nepageidaujamos vietose. Autorius teigia, kad dideli (75 – 80 mm), temperatūros sukelti, poslinkiai metalinei konstrukcijai yra mažiau pavojingi nei mažesni poslinkiai (17 – 20 mm), kylantys visame objekte. Autorius modelio rezultatus lygina su realiais eksperimentais ir teigia, kad jo modelio neapibrėžtys svyruoja sąlyginai mažose, tai yra nuo 2,7 iki 9,1 procento.



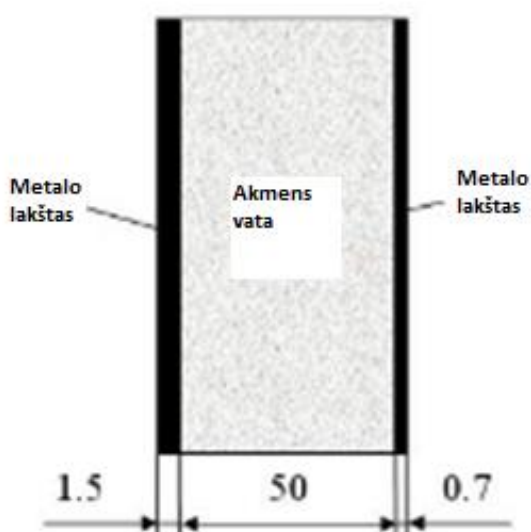
1 pav. Konstrukcijos modelis [1]

R. Guobys kartu su V. Vekteriu ir V. Mokshin 2012 metais atliko tyrimą „Daugiasluoksnės konstrukcijos su gipso plokšte temperatūros pokyčių ir temperatūrinių deformacijų tyrimas ir modeliavimas“ [2]. Atliktas eksperimentas su priešgaisrinėmis durimis (žr. 2 pav.). Sukurtas baigtinių elementų modelis. Modelyje durys sudarytos iš 1 mm skardos storio. Durų varčios viduje įdėta 50 mm storio akmens vata (tankis 140 kg/m^3) ir 10 mm storio gipso plokštė. Eksperimentas atliktas dviem atvejais: kai gipso plokštė arčiau šilumos šaltinio, o kitu atveju atvirkščiai – toliau. Realūs eksperimento rezultatai lyginami su duomenimis, gautais baigtinių elementų metodu. Skaičiavimo ir matavimo rezultatai sutapo pakankamai tiksliai. Parodyta, kad tokio tipo konstrukcijų tyrimui galima naudoti skaitmeninius metodus išvengiant sudėtingų ir brangių testų su specialia krosnimi.



2 pav. Konstrukcijos modelis ir laboratorijos speciali krosnis [2]

Tie patys trys autoriai 2016 metais atliko naują tyrimą „Sluoksniuotos konstrukcijos elgsena esant šilumai“ [3]. Šiame tyrime panaudotas „SolidWorks Simulation“ baigtinių elementų paketas durų modeliavimui ir testavimui (žr. 3 pav.).



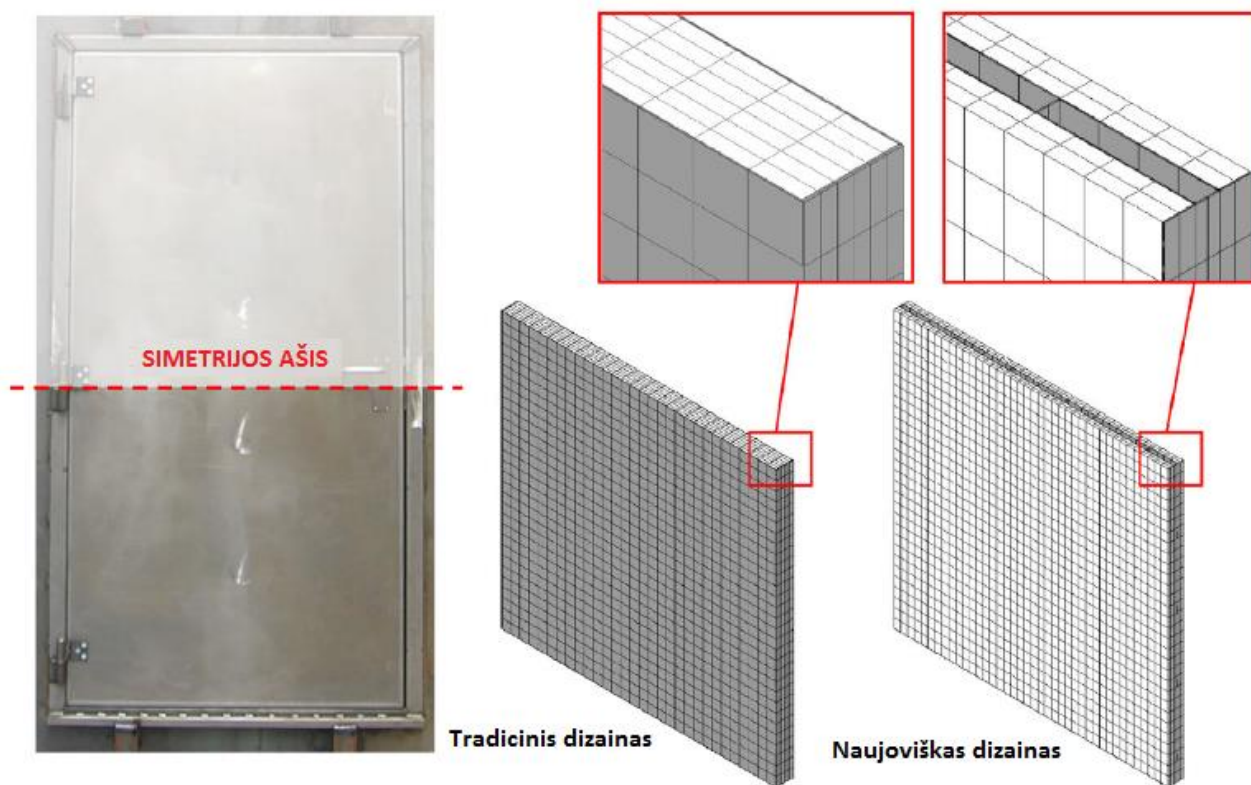
3 pav. Durų varčios sandara [3]

Pagal duomenis, gautus naudojant kompiuterinį modelį, nuspręsta, kad durys eksperimento metu bus sudarytos iš skirtingų metalo skardų storių (1,5 mm ir 0,7 mm), o varčios viduje naudojama akmens

vata (tankis 33 kg/m³). Priešgaisrinės durys buvo kaitinamos aukštoje temperatūroje 60 minučių. Atlikto tyrimo rezultatai parodė, kad durys efektyvesnės tuomet, kai storesnė skarda arčiau šilumos šaltinio. Autoriai teigia, kad norint gauti dar geresnius rezultatus reikalinga didesnio tankio akmens vata tarp skardos lakštų. Temperatūros skirtumas tarp eksperimentinių ir baigtinių elementų modelio duomenų tik 2 – 8 procentai.

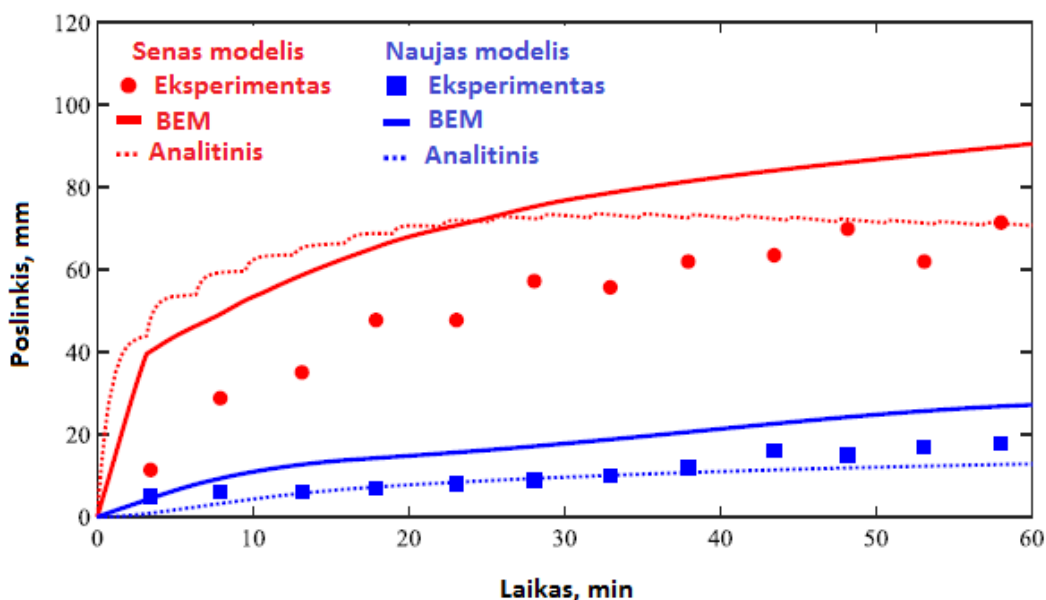
Darbe [4] tirta fizikinių reiškinių įtaka priešgaisrinių durų bandymų rezultatams. Durys buvo stebimos infraraudonųjų spindulių termografu bei naudojant tradicines termoporas. Tyrimų rezultatai parodė, kad po 10 minučių krosniai įkaitus iki 100°C klijai, jungiantys izoliaciją kartu su durų varčios skarda, dehidratavo. Tęsiant bandymą pastebėta, kad atsiskyrė suklijuotos konstrukcijos dalys. Atsiskyrus dalims padidėjo šilumos perdavimo koeficientas. Durys išlanko viršutinėje dalyje, o atsivėrusi anga turėjo tiesioginį poveikį temperatūros pokyčiams.

Moksliniame straipsnyje „Inovatyvus priešgaisrinių durų modeliavimas“ [5] siūloma naujoviška durų sandaros schema, siekianti sumažinti durų termines deformacijas bei išlaikyti izoliacinės medžiagos savybes. Tam buvo keičiamos sudedamosios dalys (izoliacinė medžiaga ir konstrukcijos detalės) ir šių dalių išdėstymas. Šiam tyrimui atlikti sukurtas supaprastintas kompiuterinis 3D baigtinių elementų modelis.



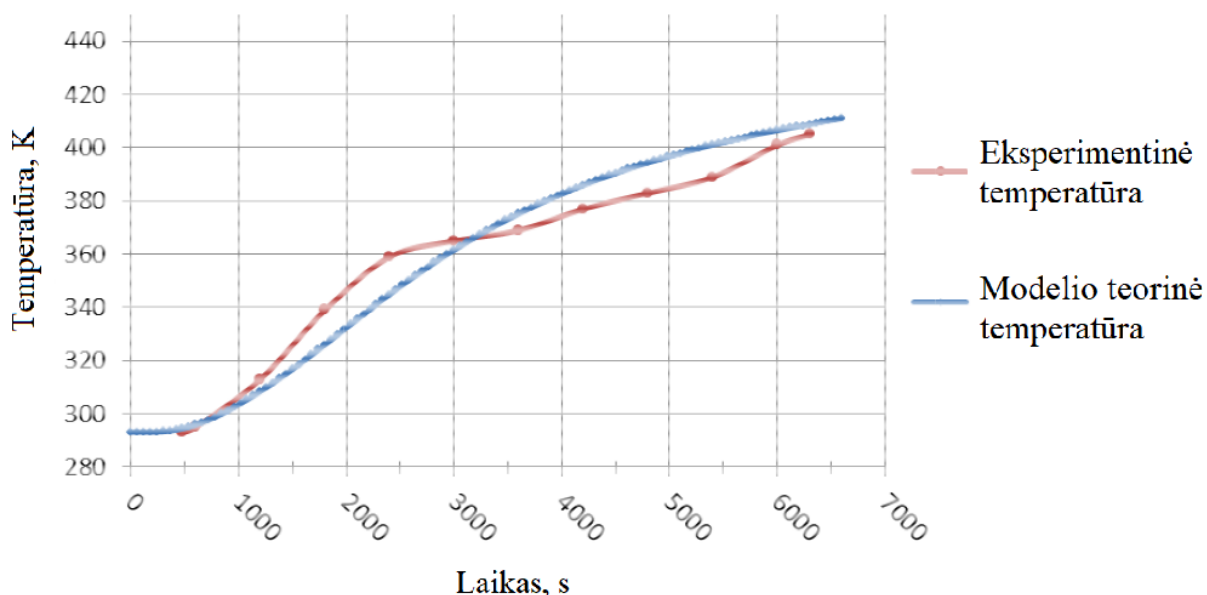
4 pav. Tradicinio ir inovatyvaus priešgaisrinių durų modelio palyginimas [5]

Naujoje konstrukcijoje, durų varčios viduryje, izoliacinėje medžiagoje paliekamas oro tarpas, kai tuo tarpu senojoje konstrukcijoje oro tarpo nėra (žr. 4 pav.). Abėjos durys realiai testuojamos, o gauti rezultatai lyginami tarpusavyje. Darbo autoriai pabrėžia, kad temperatūra abiem atvejais išorėje buvo maždaug apie 120°C, tačiau durų deformacijos skyrėsi apie 3 kartus. Naujasis durų modelis su oro tarpu deformavosi ir pasislinko kur kas mažiau (žr. 5 pav.).



5 pav. Naujo ir seno modelio eksperimento, BEM ir analitinio skaičiavimo rezultatų palyginimas [5]

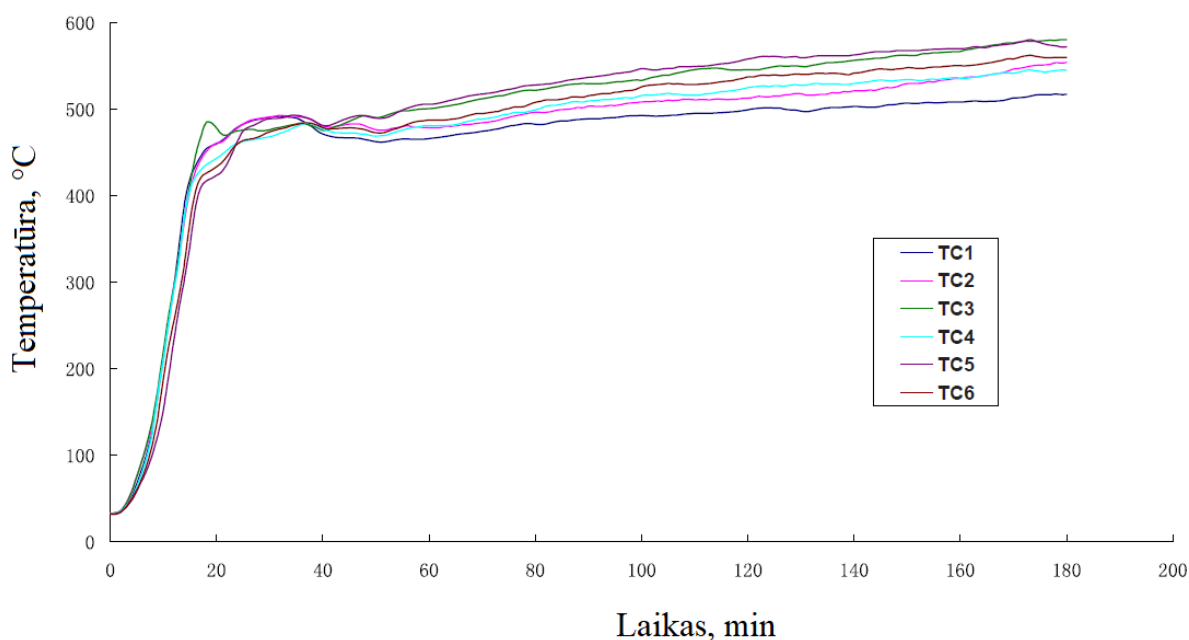
Moksliniame straipsnyje „Priešgaisrinių durų šiluminės ir mechaninės analizės skaitmeninė metodika“ [6] aprašoma autorių sukurta metodika, kuria siekiama patikrinti priešgaisrinių durų struktūros reakciją į termines apkrovas. Straipsnyje aprašomos testuojamos priešgaisrinės durys negali būti išbandytos laboratorijoje dėl durų dydžio, o vienintelis būdas patikrinti jų konstrukcinį vientisumą kilus gaisrus yra skaitinis modeliavimas. Pradžioje buvo ištestuojamos mažesnės priešgaisrinės durys laboratorijoje – gaisriniuose bandymuose. Pagal gautus duomenis sudaromas gan tikslus baigtinių elementų modelis, kurio skaičiavimai beveik atitinka realius testuotų durų duomenis (žr. 6 pav.). Tuomet šis, mažesnis, modelis didinamas į norimą durų dydį ir skaičiuojamas varčios temperatūros vidurkis.



6 pav. Modelio ir realaus testo vidutinės temperatūros ant varčios rezultatų palyginimas [6]

Dar vienu priešgaisrinių durų tyrimas aprašytas straipsnyje „Plieninių priešgaisrinių durų atsparumo ugniai tyrimas“ [7]. Jame aprašomos gaisrui atsparios durys, kurios buvo sukurtos įvertinant buvusių

bandymų duomenis, jų analizę ir stebėjimus. Autoriai teigia, kad durų konstrukcija pakankamai vientisa ir standi. Durys nesideformuoja esant didelei temperatūrai, tačiau pasirinkta durų izoliacinė medžiaga labai prasta. Varčioje esanti medžiaga perkaista po 10-ties testo minučių (žr. 7 pav.).

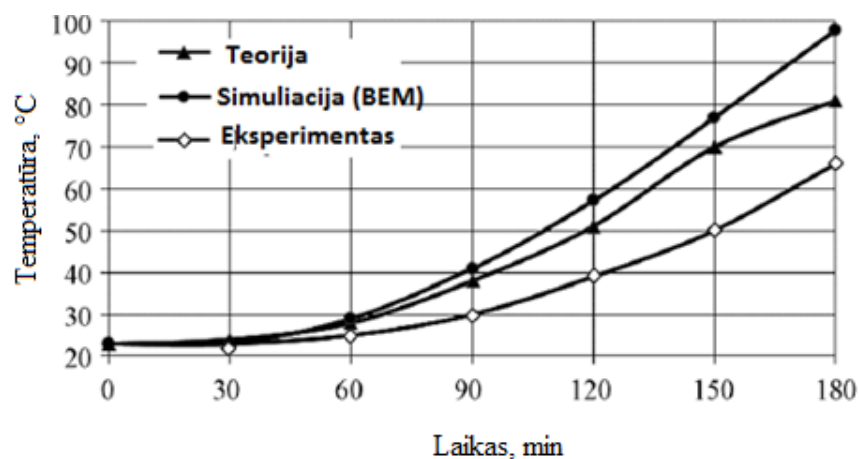


7 pav. Testuojamų durų temperatūra, pamatuota ant durų varčios ypatingųjų taškų [7]

Dažnai aukštesnės klasės priešgaisrinių durų viduje dedama gipso plokštė, kuri sumažina temperatūrą vienoje ar kitoje priešgaisrinių durų pusėje. Toks tyrimas aprašomas straipsnyje „Skaitmeninis šilumos ir masės perdavimo mechanizmų tyrimas gipso plokštėje, esant gaisro sąlygoms“ [8]. Šiame straipsnyje nagrinėjami šilumos ir masės pokyčiai gipso plokštėje, kai ją veikia didelis karštis. Straipsnio autoriai teigia, kad esant didelei kaitrai plokštė išskiria garus, kurie sukelia kondensaciją – formuoja vandens lašus. Šie šių vandens lašai duris „aušina“, todėl durys ilgiau išlaiko mažesnę paviršiaus temperatūrą.

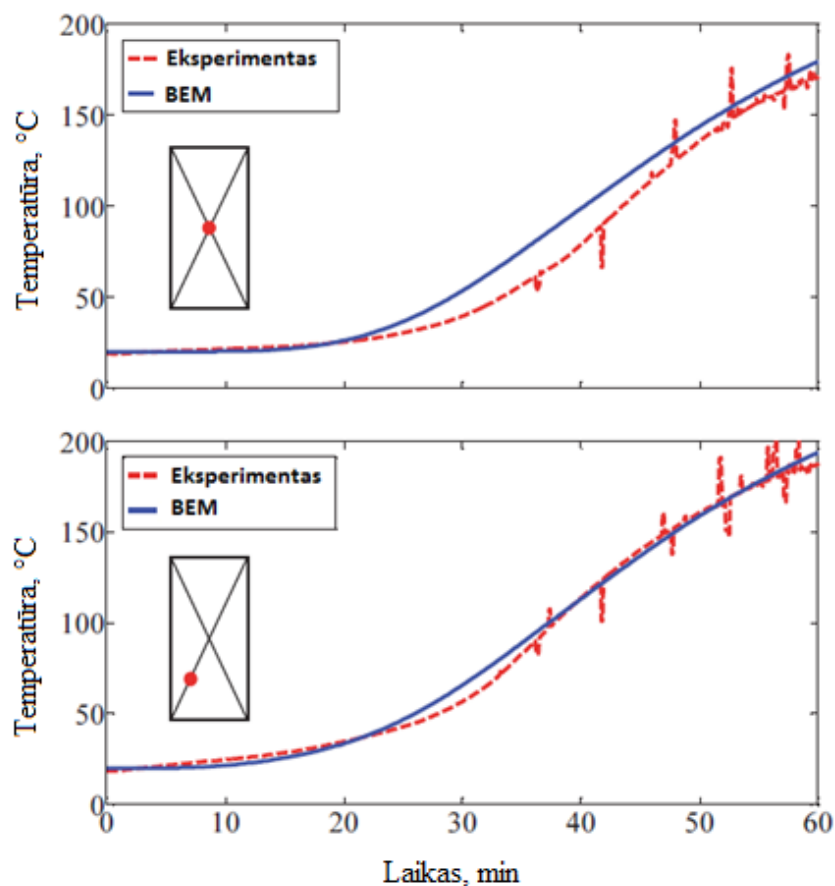
Labai panašus tyrimas pateikiamas straipsnyje „Gipso plokščių elgesys kilus gaisrui“ [9]. Šis straipsnis patvirtina anksčiau minėto straipsnio pateiktas išvadas. Temperatūrai pakilus iki 300 °C gipsas išskiria garus, kurie formuoja vandens lašus ir mažina temperatūrą. Toliau kylant temperatūrai (virš 300 °C) gipsas praranda savo fizines savybes.

Darbo „AP1000 branduolinio reaktoriaus priešgaisrinių durų projektavimas ir šiluminė analizė“ [10] objektas labai didelės priešgaisrinės durys. Šių durų pagrindinė užduotis apsaugoti žmones nuo gaisro, jei jis kiltų AP1000 branduolinėje sistemoje. Durys suprojektuojamos pagal priešgaisrinių durų reikalavimus ir sukuriamas matematinis durų modelis. Remiantis šilumos perdavimo teorija daugiasluoksnės šilumos perdavimo teorija ir integruotos šilumos perdavimo teorija nustatomos pradinės sąlygos bei sudaromos diferencialinės lygtys. Lygtys sprendžiamos naudojant skaitinius inžinerijos metodus. Tyrimo rezultatai parodė, kad atsižvelgiant į šiluminę apkrovą visa konstrukcija gali atlaikyti 3 valandų degimą. Bandymų duomenys ne visiškai sutampa su gautais duomenimis, atlikus teorinius skaičiavimus ir skaitmeninį modeliavimą (žr. 8 pav.).



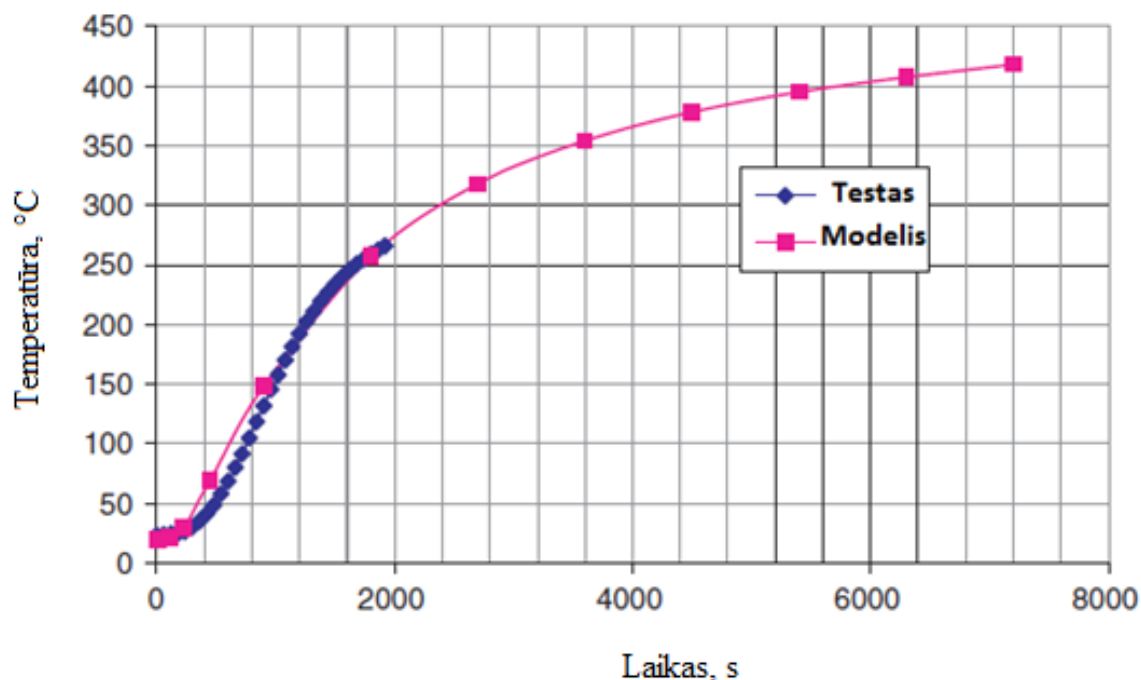
8 pav. Eksperimentinių, teorinių skaičiavimų ir realaus testo vidutinės temperatūros ant varčios rezultatų palyginimas [10]

Moksliniame straipsnyje „Jūrų karo pramonės priešgaisrinių durų terminė analizė“ [11] pateiktas tyrimas, parodantis priešgaisrines duris kilus gaisrui. Tam buvo sukurtas baigtinių elementų modelis. Modelis lyginamas su realiais eksperimentų matavimais, kurie gauti atliekant standartinius durų gaisro bandymus. Gauti rezultatai rodo, kad skaitinis modelis gali pakankamai tiksliai prognozuoti susidarantią temperatūrą esant didelei šilumai (žr. 9 pav.).



9 pav. BEM modelio ir realaus testo rezultatų palyginimas [11]

Dvigubų priešgaisrinių durų eksperimentinių duomenų palyginimas su duomenimis, gautais naudojantis baigtinių elementų programine įranga, aprašomas straipsnyje „Priešgaisrinių durų termo-mechaninė analizė“ [12].



10 pav. Dvigubų durų modelio ir realaus testo vidutinės temperatūros ant varčios rezultatų palyginimas [12]

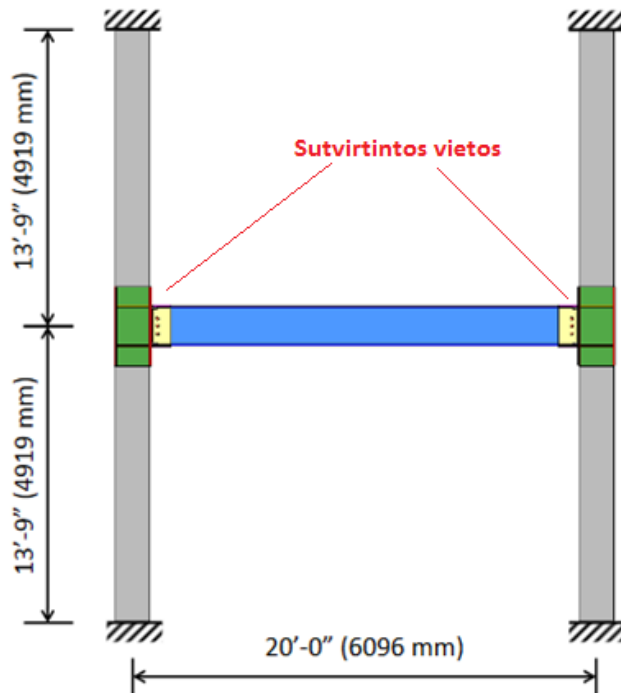
Kaip matyti iš 10 pav. durys veikiamos aukštos temperatūros. Nustatyta, kad netiesinė nusistovėjusios būsenos analizė tiksliai bandant atkartoti realaus gaisro temperatūros testo rezultatus.

Izoliacinė vata, kuri dedama tarp laivo sienų (plokščių), dažnai naudojama ir tarp durų kaip izoliacinė medžiaga nuo didelio karščio (žr. 11 pav.). Šios izoliacinės medžiagos nagrinėjamos straipsnyje „Kompozitinių plokščių šiluminės charakteristikos tyrimai, naudojantis baigtiniu elementu metodu: gipso plokštės, akmens vata, stiklo pluoštai ir celiuliozinės izoliacijos“ [13]. Straipsnyje pateikiamos sudėtinės kompozitinių medžiagų baigtinių elementų modelių detalės. Terminės analizės rezultatai pateikiami laiko ir temperatūros kreivėse. Rezultatai lyginami su Europos sąjungos leistinomis normomis. Eksperimentiniai ir skaitiniai tyrimai parodė, kad tinkamas medžiagų panaudojimas tarp plokščių sumažina temperatūras ir didina atsparumą ugniai. Autoriai teigia, kad akmens vatos izoliacija užtikrina didesnę atsparumą ugniai nei stiklo pluošto ar celiuliozės pluošto audiniai. Akmens vatos tankis neturėjo didelės įtakos plokščių šiluminėms savybėms, o celiuliozės audinių tankis priešingai – turėjo įtaką.



11 pav. Laivo sienų (plokščių) modelis [13]

Priešgaisrinių durų tam tikros dalys virinamos, kitos dalys kniedijamos ar prisukamos varžtais, todėl svarbu atkreipti dėmesį, kokią įtaką durims turi sujungimai. Straipsnyje „Konstrukcinių plieninių jungčių elgesys esant gaisrui“ [14] buvo tiriamas plieninis rėmas, veikiamas aukštos temperatūros. Tyrimas atliekamas naudojant baigtinių elementų metodą. Tiriamasis modelis pateiktas 12 pav. Straipsnyje buvo tirti suvirinti ir varžtais sujungti plieninių rėmų modeliai. Skaitinio eksperimento metu temperatūra buvo sukelta iki 700°C, o vėliau konstrukcija vėsinama iki kambario temperatūros. Abiem atvejais konstrukcija viršijo takumo ribą dėl per didelių konstrukcijos deformacijų.



12 pav. Sutvirtintos konstrukcijos modelis [14]

Įvairių autorių mokslinės literatūros analizė parodė, kad pasitelkus skaitinius inžinerijos metodus ir kompiuterinį modeliavimą galima sudaryti pakankamai tikslų priešgaisrinių durų modelį, kuris atitiktų eksperimentinių tyrimų rezultatus.

2. Jūrų transporto priešgaisrinių durų sąlygos

Tarptautinė jūrų organizacija (IMO) parengė priešgaisrinės saugos taisykles pagal Tarptautinę konvenciją dėl žmonių gyvybės apsaugos jūroje (SOLAS). 1998 metų liepos mėnesį IMO pristatė procedūrų kodeksą (FTP kodeksas), kuriame pateikiamos ugniai saugių konstrukcijų bei laivuose naudojamų medžiagų priešgaisrinių bandymų procedūros. Iš esmės, FTP kodekse naudojami Tarptautinės standartų organizacijos (ISO) ugnies atsparumo bandymai, testuojamas įvairus specifinių gaminių ne degumas bei atsparumas ugniai, gaminių degumas, liepsnos plitimas, dūmai ir toksiškumas žmogaus sveikatai.

Šiame skyriuje aprašomi reikalavimai pagal IMO 2010 FTP kodo 3 dalį [15], kurie skirti „B“ klasės priešgaisrinėms durims (žr. 13 pav.). Šios klasės durys skirstomos į tris grupes – „B-30“, „B-15“ ir „B-0“. Kiekvienai grupei keliami skirtingi reikalavimai:

- „B-30“ grupė turi tenkinti durų įkaitimo ir deformavimosi reikalavimus mažiausiai 30 min;
- „B-15“ grupė turi tenkinti durų įkaitimo ir deformavimosi reikalavimus mažiausiai 15 min;
- „B-0“ grupė gali netenkinti durų įkaitimo reikalavimo, tačiau turi tenkinti deformavimosi reikalavimą viso testo metu.



13 pav. „B“ klasės durys įstatytos į plokščių sieną

Priešgaisrinės durys testuojamos specialioje gaisriniais tyrimams skirtoje krosnyje. Testuojamų durų viriai privalo būti išorinėje krosnies pusėje, kad durys atsivertų 14 pav. pavaizduota kryptimi.



14 pav. Priešgaisrinių durų varstymo kryptis

Po to, kai priešgaisrinių durų konstrukcija įstatoma į krosnį – pradedamas testas. Krosnyje slėgis pakeliamas iki 20 Pa ir išlaikomas viso testo metu. Krosnyje temperatūra keičiama atsižvelgiant į sekančią priklausomybę:

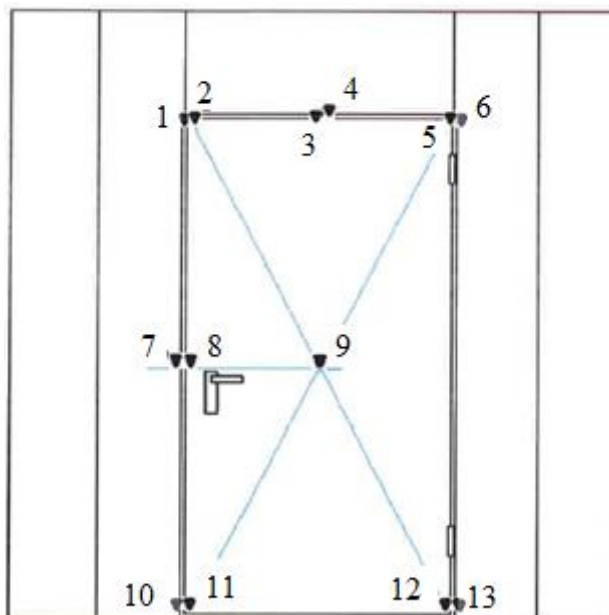
$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

čia T – vidutinė krosnies temperatūra, °C;

t – laikas, minutėmis. „B“ klasės durų testas trunka 36 minutes.

Reikalavimai durų įkaitimui. Priešgaisrinių durų vyrų pusėje termoelementų pagalba nustatyta vidutinė temperatūra negali būti didesnė nei 140 °C, o didžiausia leistina temperatūra nustatyta bet kurio termoelemento pagalba, neturėtų viršyti 225 °C.

Reikalavimai durų deformacijoms. Viso testo metu neturi būti matomos liepsnos vyrų pusėje, o tai reiškia, kad tarp varčios ir staktos tarpai turi išlikti mažesni nei 70 mm, o varčios vidurys (9 taškas) negali deformuotis daugiau nei 150 mm. Ypatingieji taškai, kuriuose matuojamos deformacijos pavaizduoti 15 pav.



15 pav. Ypatingieji durų taškai

3. Durų modeliavimas-modelio sukūrimas

Durų modelis sudaromas pagal realias priešgaisrines duris, kurios buvo eksperimentiškai tiriamos. Didžiausia temperatūra duris veikia paskutinėmis eksperimento minutėmis, todėl skaičiuodami laikysime, kad temperatūra pastovi, o jos dydis toks, koks pasiekiamas paskutinėmis eksperimento minutėmis. Priešgaisrinių durų modeliui ir temperatūros bei temperatūrinių deformacijų skaičiavimams atlikti naudojama 3D modeliavimo programa – „SolidWorks“ ir jos priedas „Simulation“.

Priešgaisrinių durų konstrukcija susideda iš trijų skirtingų segmentų – durų varčios, durų staktos bei angos apvado. Varčią ir staktą tarpusavyje jungia trys jungtys – du vyriai ir spynos liežuvėlis. Angos apvadas tvirtinamas prie staktos per specialiai tam skirtas skyles.

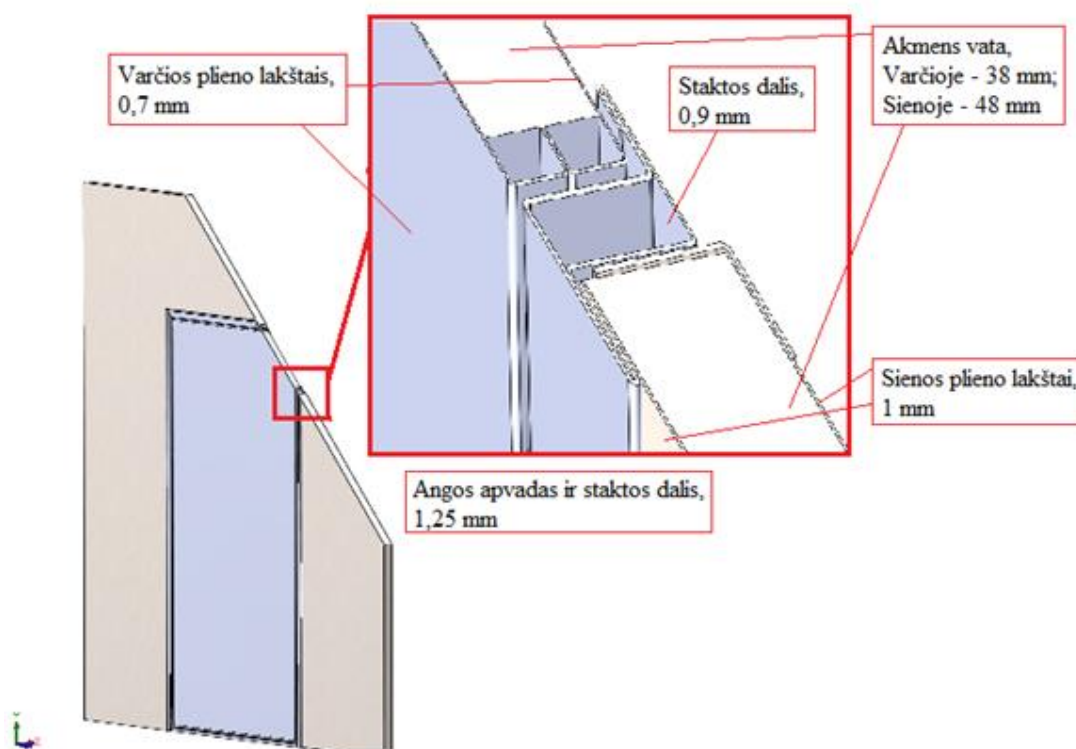
Bendras durų varčios storis yra 39,5 mm. Varčią sudaro du A525 markės (pagal ASTM standartą) galvanizuoto plieno lakštai (žr. lent. 1) po 0,7 mm kiekvienas. Varčioje dedama 38 mm storio izoliacinė akmens vata „RockWool SeaRox SL 440“ (žr. 2 lent.).

Staktos bendras storis yra 46 mm. Stakta susideda iš trijų A525 markės galvanizuoto plieno lakštų su skirtingais storiais, vienos dalies storis 1,25 mm, antros 0,9 mm, o slenksčio storis 2,0 mm.

Durų angos apvadas yra pagamintas, kaip ir stakta, iš A525 markės galvanizuoto plieno, kurio storis yra 1,25 mm.

Visas durų modelis įstatomas į supaprastintą 50 mm storio plokščių sienos modelį. Sieną sudaro trys dalys – du 1,0 mm storio plieno lakštai ir viduje esanti vatų izoliacija – 48 mm.

Sudaryto virtualaus „B“ klasės durų modelio dalys pavaizduotos 16 pav.

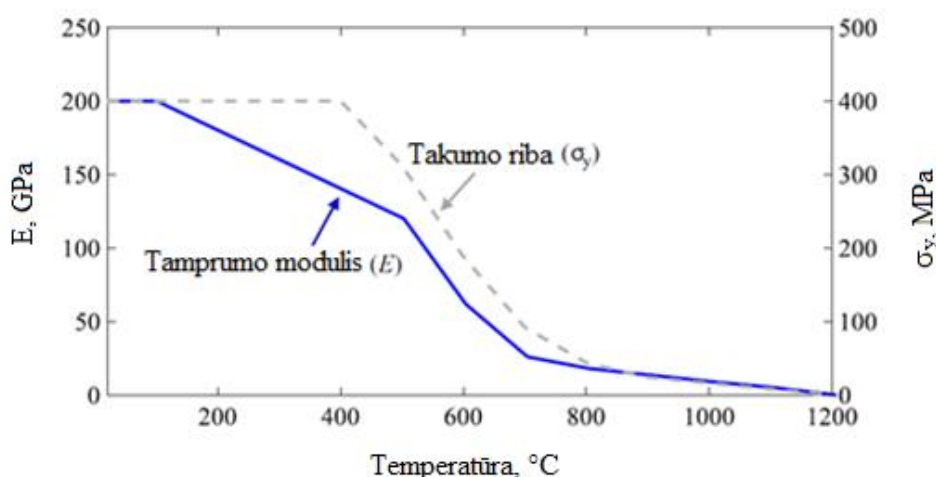


16 pav. Priešgaisrinių durų modelis, su išdidintu pjūviu

Išoriniai staktos matmenys 1130×2182 mm, varčios modelio matmenys 1032×2114 mm, plokščių sienos matmenys 2750×2750 mm.

Priešgaisrinės durys modeliuojamos esant aukštomis temperatūroms, todėl modelyje reikia įvertinti naudojamų medžiagų savybių kitimą, priklausomai nuo temperatūros dydžio. Tačiau nepavyko rasti visų galvanizuoto A525 markės plieno ir vatos „RockWool“ savybių kitimo nuo temperatūros duomenų. Todėl šiame darbe daromos tokios prielaidos:

- A525 markės galvanizuoto plieno Puasono koeficiento, tankio, stiprumo ribos ir šilumos plėtimo koeficiento vertės nepriklauso nuo temperatūros;
- A525 markės galvanizuoto plieno tamprumo modulio, takumo ribos ir šilumos laidumo verčių kitimo dėsningumai keičiantis temperatūrai atitinka duomenis, pateiktus 17 ir 18 pav.;
- izoliacinės vatos „RockWool“ Puasono koeficiento, tankio, stiprumo ribos ir sąlyginės takumo ribos vertės nepriklauso nuo temperatūros;
- izoliacinės vatos „RockWool“ šilumos laidumo verčių kitimo dėsningumai keičiantis temperatūrai atitinka duomenis, pateiktus 18 pav.



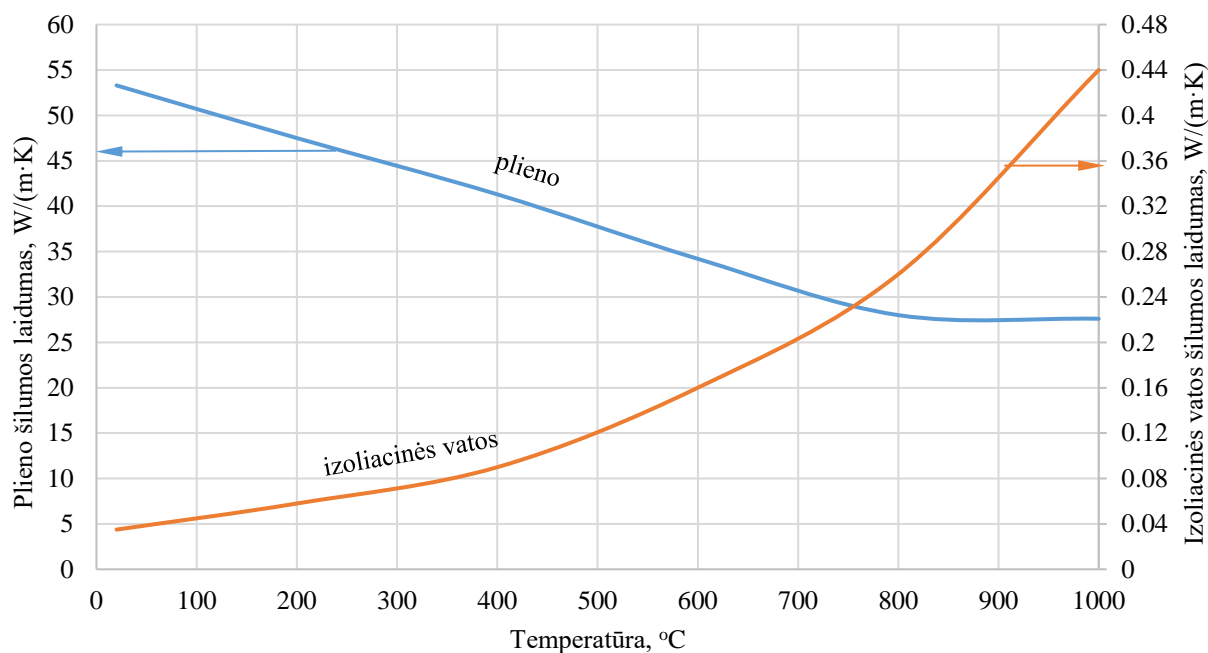
17 pav. Galvanizuoto plieno tamprumo modulio E ir takumo ribos σ_y priklausomybė nuo temperatūros [5]

A525 markės galvanizuoto plieno fizikinių ir mechaninių savybių skaitinės vertės pateiktos 1 lent., o „RockWool“ izoliacinės vatos – 2 lent.

1 lentelė. A525 markės (pagal ASTM standartą) galvanizuoto plieno fizikinės ir mechaninės savybės

| | |
|--|--------------------------|
| Tamprumo modulis E [5] | žr. 17 pav. |
| Puasono koeficientas ν^* | 0,29 |
| Tankis ρ^* | 7870 kg/m ³ |
| Stiprumo riba σ_u^* | 357 MPa |
| Takumo riba σ_y [5] | žr. 17 pav. |
| Šilumos plėtimosi koeficientas α [16] | $1,2 \times 10^{-5}$ 1/K |
| Šilumos laidumas λ [5] | žr. 18 pav. |

* – duomenys paimti iš programinio paketo „SolidWorks“ medžiagų duomenų bazės.



18 pav. Galvanizuoto plieno ir izoliacinės medžiagos šilumos laidumo priklausomybė nuo temperatūros [5]

2 lentelė. Izoliazijos „RockWool SeaRox SL440“ fizikinės ir mechaninės savybės

| | |
|---|-----------------------|
| Tamprumo modulis E^* | 8,2 MPa |
| Puasono koeficientas ν^* | 0 |
| Tankis ρ [17] | 150 kg/m ³ |
| Stiprumo riba σ_u^* | 0,4 MPa |
| Sąlyginė takumo riba σ_y^* | 0,001 MPa |
| Šilumos laidumas λ [5] | žr. 18 pav. |
| * – duomenys gauti iš „RockWool“ atstovų Danijoje, Hovedgaden 584, 2640 Hedehusene. | |

3.1. Priešgaisrinių durų temperatūriniai skaičiavimai

Sprendžiamas stacionarinis temperatūrinis uždavinys („*Thermal Simulation*“). Pasinaudojus (1) formule apskaičiuojama krosnies viduje susidariusi temperatūra po 36 kaitinimo minučių:

$$T = 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot 36 + 1) + 20 = 869 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Tolimesniems skaičiavimams laikysime, kad modelio visos plokštumos, esančios krosnies viduje, įkaitusios iki $T = 900^\circ\text{C}$ temperatūros (žr. 19 pav.).

Laboratorijos, kurioje buvo atlikti eksperimentai, vidinių patalpų konvekcijos koeficientas nėra žinomas, todėl jį apskaičiuosime. Skaičiuosime vertikaliuosius natūralios konvekcijos šilumos perdavimą. Žinome, kad plokštumos (sienų) aukštis yra $L = 2,75$ m, o aplinkos terpė – oras.

Pradžioje suskaičiuojame vidutinę temperatūrą tarp laboratorijos patalpų ir krosnies išorinių sienų:

$$T_{skr} = \frac{(T_{lab} + T_{kr})}{2} = \frac{20 + 220}{2} = 120 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

čia T_{lab} – temperatūra laboratorijos viduje, $^\circ\text{C}$;

T_{kr} – krosnies išorinių sienų temperatūra, °C;

Pagal gautą vidutinę temperatūra parenkame reikalingas oro savybes atlikti skaičiavimams. Savybės pateiktos žemiau [18], [19]:

- oro tankis – $\rho = 0,88 \text{ kg/m}^3$;
- oro klampa – $\mu = 0,0000229 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$
- specifinė oro šiluma – $C_p = 1000 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$;
- oro šilumos laidumas – $k = 0,033 \text{ J/m} \cdot \text{K}$;
- oro šilumos plėtimosi koeficientas – $\beta = 0,00251 \text{ K}^{-1}$.

Temperatūros skirtumas tarp laboratorijos patalpų ir krosnies išorinių sienų:

$$T_{\Delta} = (T_{kr} - T_{lab}) = 220 - 20 = 200 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Prandtlio skaičius [20]:

$$P_r = \frac{(\mu \cdot C_p)}{k} = \frac{(0,0000229 \cdot 1000)}{0,033} = 0,69 \quad (4)$$

Grashofio skaičius [20]:

$$G_r = \frac{L^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot T_{\Delta} \cdot \beta}{\mu^2} = \frac{2,75^3 \cdot 1,0^2 \cdot 9,81 \cdot 200 \cdot 0,00251}{0,0000229^2} = 5,3 \cdot 10^{12} \quad (5)$$

Relėjaus skaičius [20]:

$$R_a = G_r \cdot P_r = 5,3 \cdot 10^{12} \cdot 0,69 = 3,68 \cdot 10^{12} \quad (6)$$

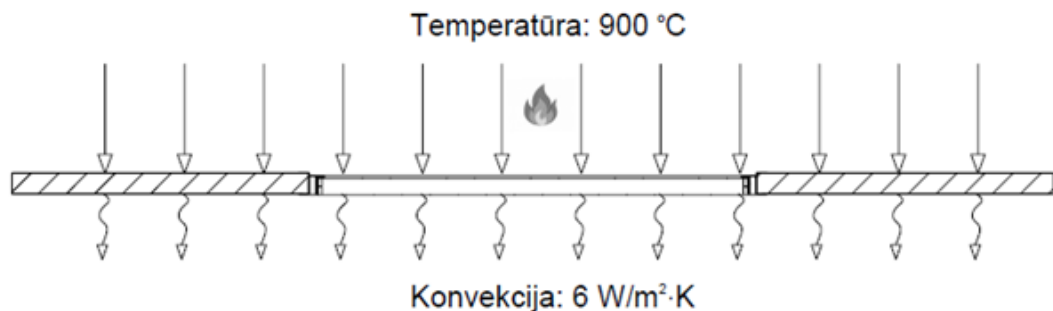
Nuselto skaičius [20]:

$$N_u = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{P_r} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot (3,68 \cdot 10^{12})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,69} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 = 1686 \quad (7)$$

Šilumos konvekcijos koeficientas [20]:

$$h_c = \frac{N_u \cdot k}{L} = \frac{1686 \cdot 0,033}{2,75} = 6,18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (8)$$

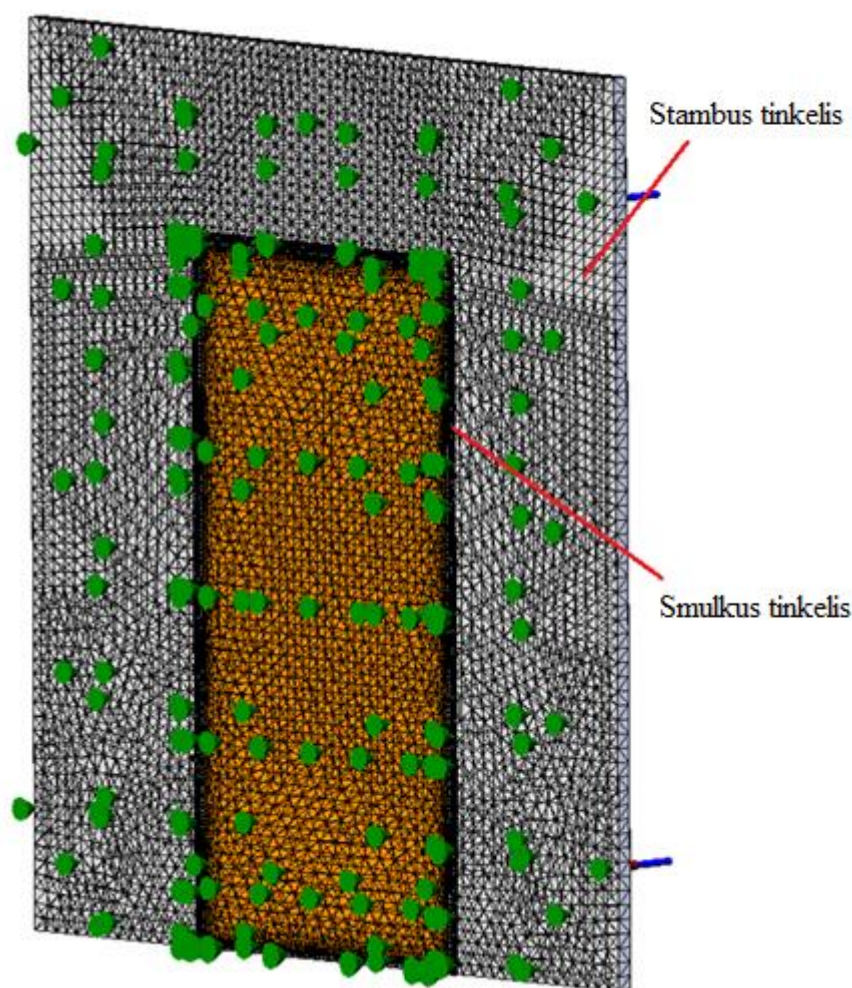
Tolimesniuose skaičiavimuose laikysime, kad laboratorijos patalpų vidaus vidutinė konvekcijos koeficiento vertė $h_c = 6 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ (žr. 19 pav.).



19 pav. Temperatūros ir konvekcijos sąlyga

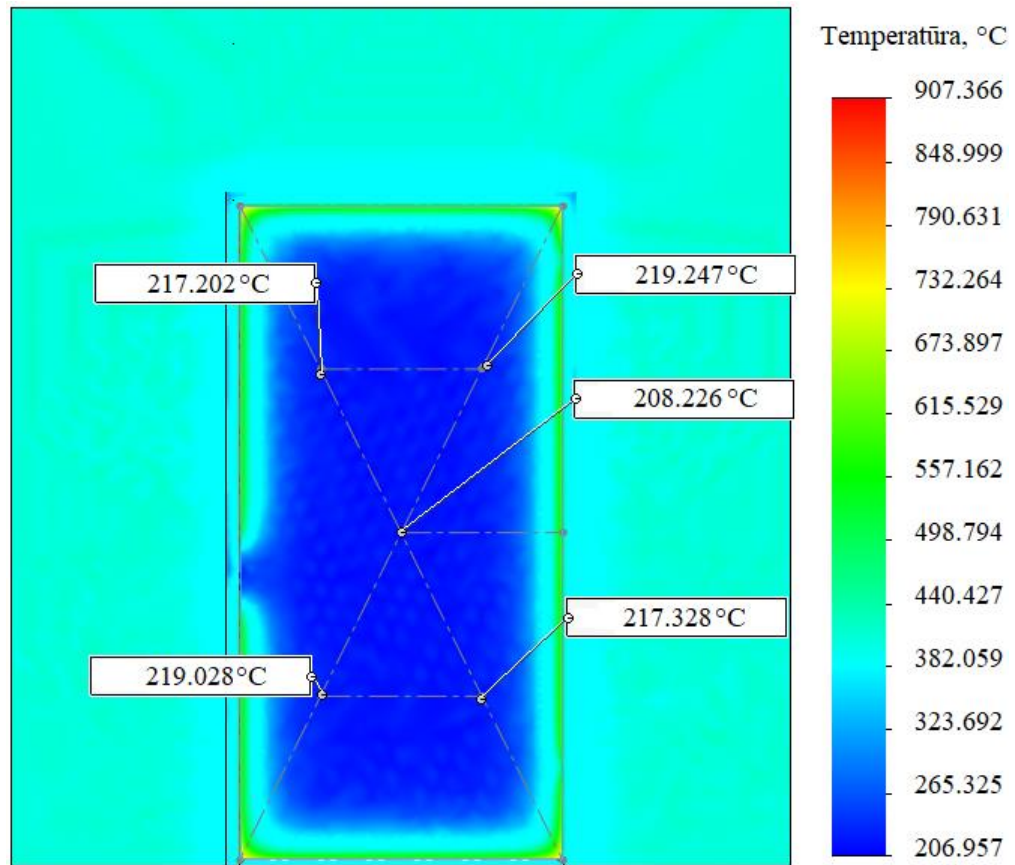
Sprendžiant temperatūrinį uždavinį laikoma, kad tarp kontaktuojančių paviršių šilumos laidumo nuostolių nėra.

Modelis suskaidomas baigtiniais elementais (žr. 20 pav.). Stengiantis sumažinti skaičiavimo trukmę ir skaičiavimams naudojamą kompiuterio atminties kiekį buvo pasirinktas dviejų dydžių baigtinių elementų tinkelis. Didesnių matmenų kūnai suskaidomi į didesnio dydžio baigtinius elementus, kurių briaunos vidutinis ilgis yra apie 50 mm, kai tuo tarpu mažesni į smulkesnius – 10 mm. Durų baigtinių elementų modelis sudarytas iš 121 067 elementų, kurie apjungia 237 177 mazgus.



20 pav. Priešgaisrinių durų modelis suskaidytas baigtiniais elementais

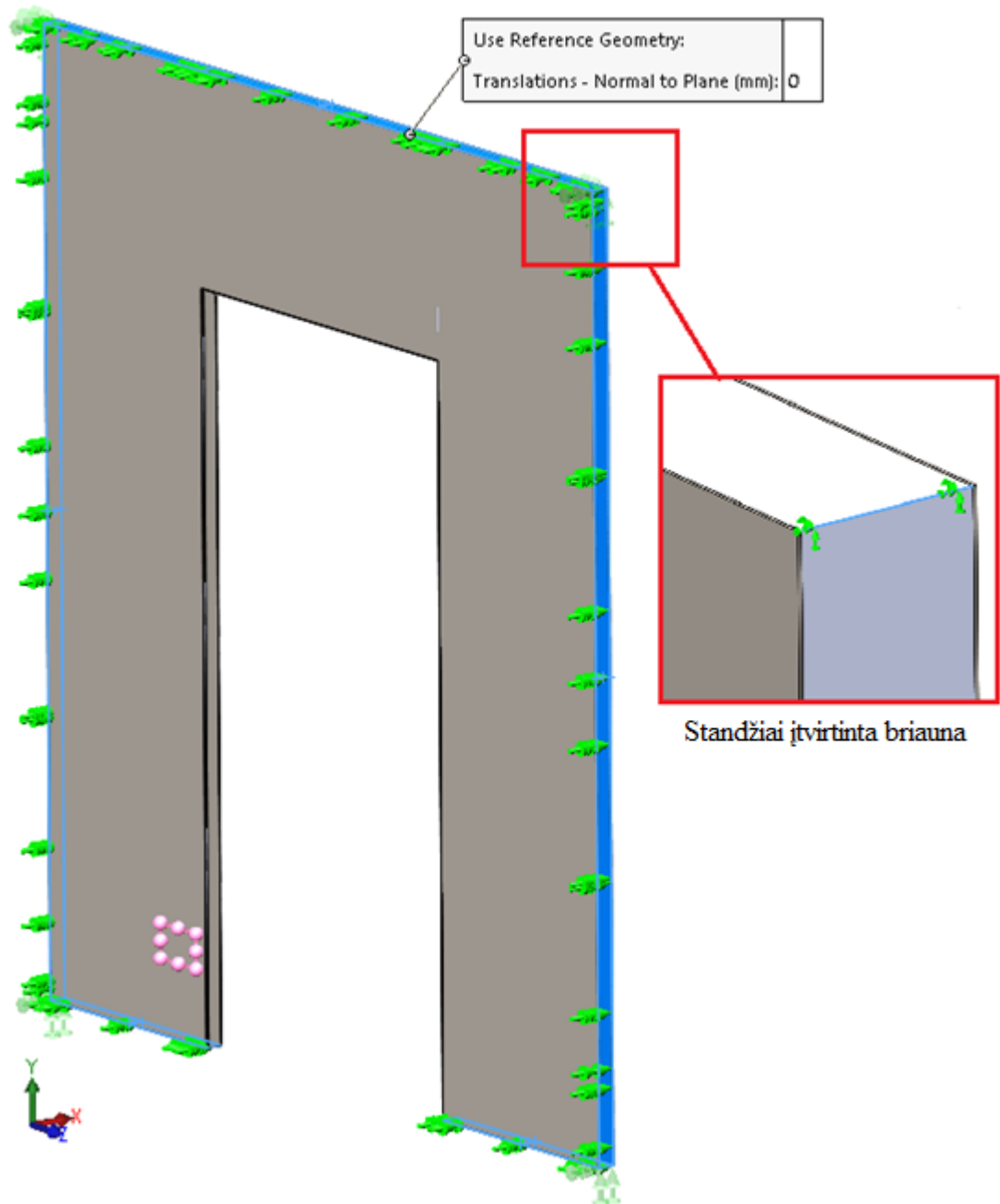
Išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros parodytos 21 pav.



21 pav. Temperatūros pasiskirstymo rezultatai, gauti naudojant „Solidworks Simulation“

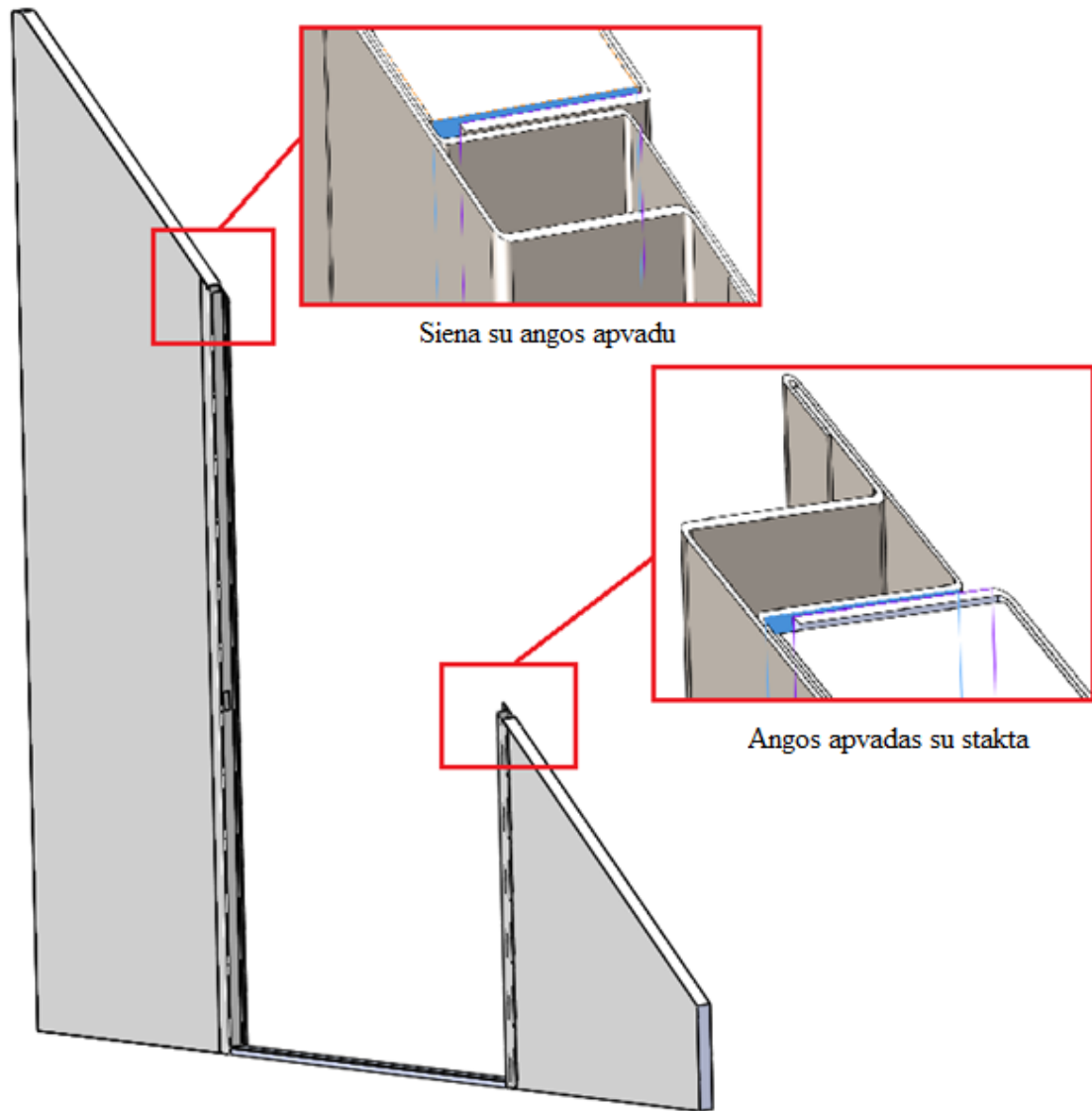
3.2. Priešgaisrinių durų temperatūrinių deformacijų skaičiavimai

Kad nustatyti, kaip veikiant temperatūrai deformuojasi durys, sprendžiamas statinis tamprusis kieto kūno mechanikos uždavinys („Static Simulation“). Įtvirtiname plokščių sieną taip, kad ji negalėtų deformuotis išilgai X ašies (pirmyn ir atgal) (žr. 22 pav.). Tam, kad uždavinys būtų statiškai apibrėžtas, papildomai standžiai įtvirtiname keturias kampines sienos briaunas. Viena iš briaunų parodyta 22 pav.



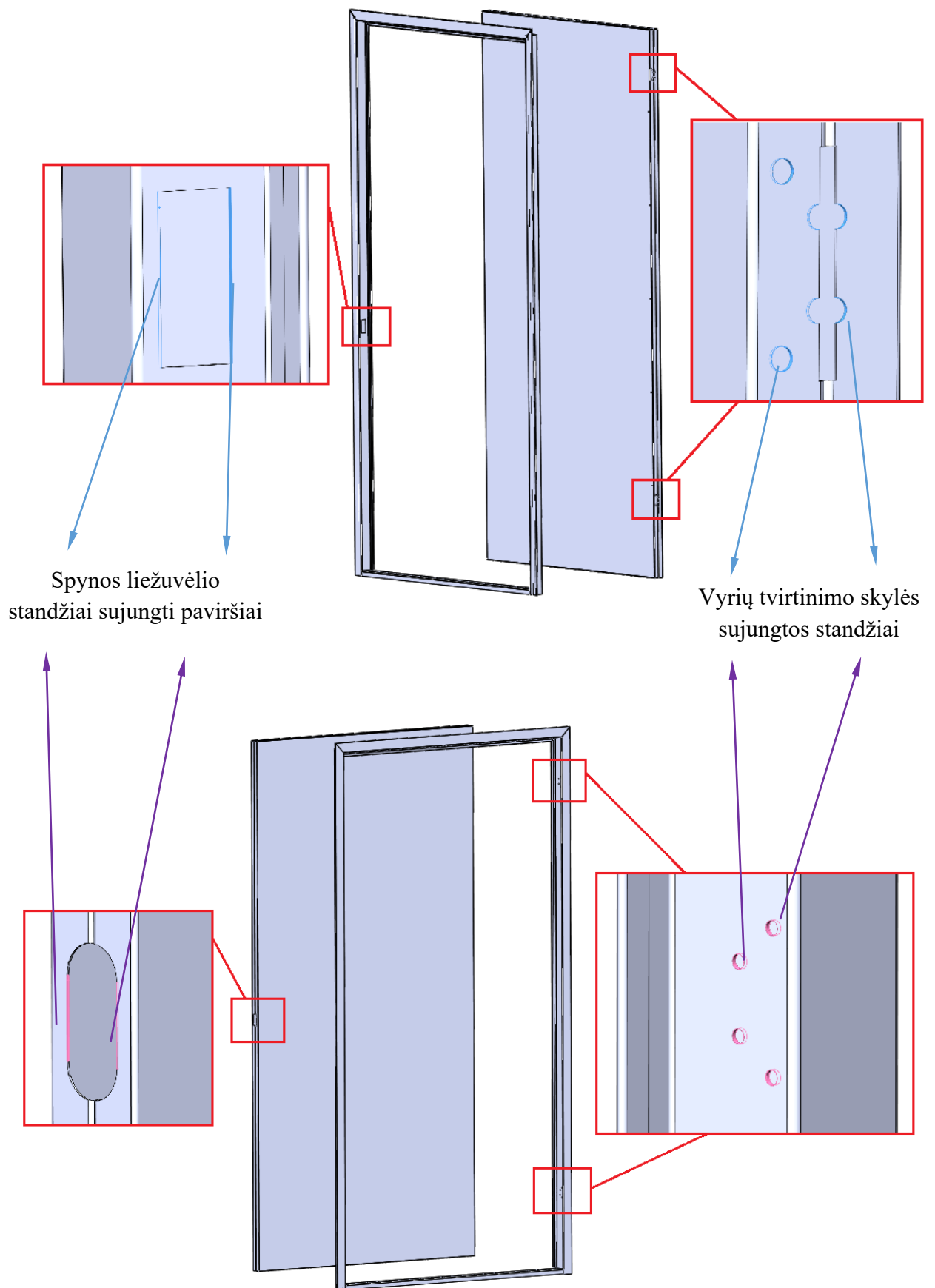
22 pav. Plokščių sienos įtvirtinimas

Kadangi durų modelis supaprastintas, todėl didžiąją dalį durų elementų atstoja ypatingieji ryšiai, kurie atitinka tikrų detalių sujungimus. Durų angos apvadas, stakta ir sienos paviršiai sujungiami į vieną kūną, taip pakeičiant jungiamuosius varžtus (žr. 23 pav.).



23 pav. Priešgaisrinių durų angos, staktos ir sienos kontaktas

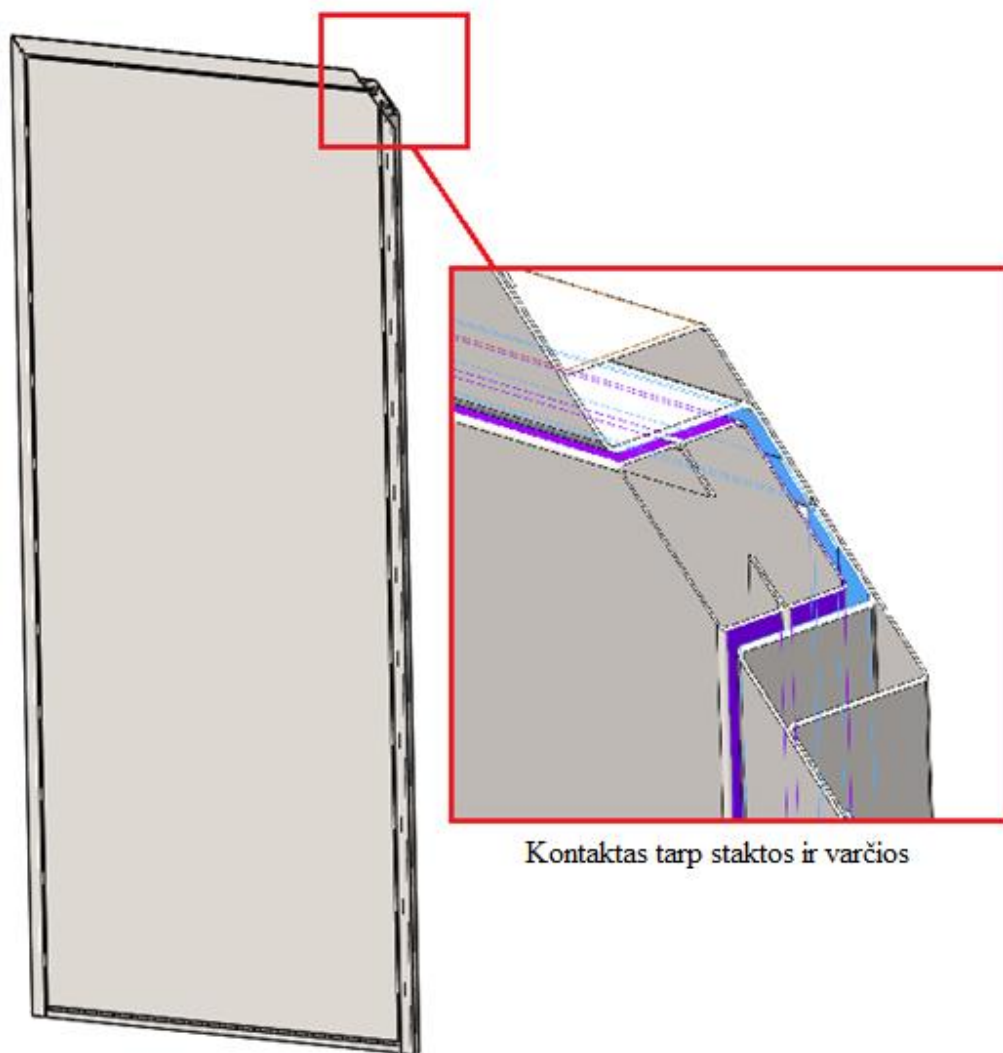
Varčią ir staktą tarpusavyje jungia trys jungtys – du vyriai ir spynos liežuvėlis. Daroma prielaida, kad šie elementai didelės įtakos skaičiavimo rezultatams neturi, todėl juos pašaliname tam, kad supaprastinti modelį. Spyną bei vyrius atstoja standūs ryšiai. Ant varčios ir staktos yra vyrių tvirtinimo skylės, kurios turi būti bendraašės. Per šias skylės standžiai sujungiame varčią ir staktą, tą patį atliekame su spynos liežuvėliu. Varčią ir staktą sujungiantys paviršiai 24 pav. pavaizduoti mėlyna ir violetine spalvomis.



24 pav. Varčios ir staktos jungtys (mėlyna ir violetine spalvomis pažymėti sujungiamieji paviršiai)

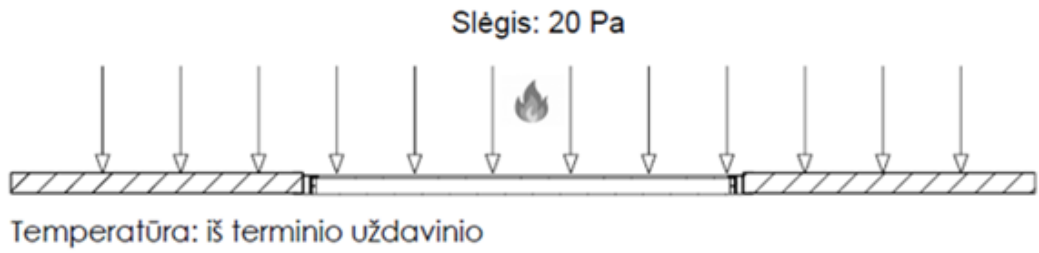
Tam, kad besideformuojant varčios ir staktos tūriai nepersidengtų užduodami papildomi kontaktai (žr. 25 pav.). Šiuo atveju kontaktas modeliuojamas įvertinant trintį, kurios koeficiento vertė imta lygi 0,1.

Visiems kontaktams nustatome, kad baigtiniai elementai tarpusavyje kontaktuoja paviršiais, o ne mazgais (viršūnėmis).



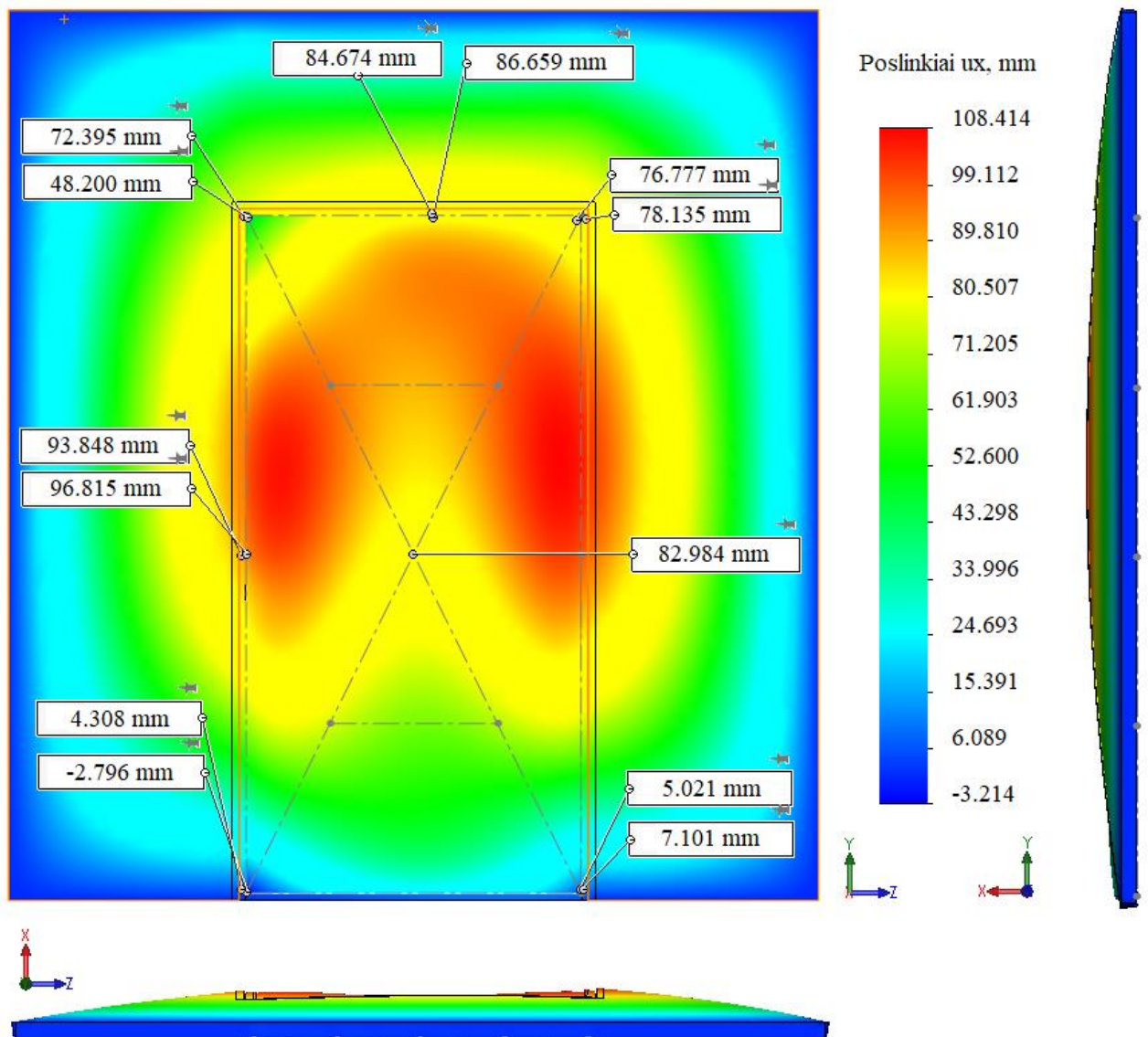
25 pav. Varčios ir staktos kontaktuojantys paviršiai (pažymėti mėlyna ir violetine spalvomis)

Fizikinės modelio medžiagų savybės naudojamos tos pačios, kaip ir skaičiuojant temperatūrinį uždavinį. Modelyje, kūnai liečiasi vienas su kitu tam tikrose vietose, todėl daroma prielaida, kad per šias sąlyčio vietas modelio kūnai sujungti (kaip ir atliekant temperatūrinius skaičiavimus). Skaičiuojant statinį uždavinį temperatūros imamos iš temperatūrinio uždavinio rezultatų. Baigtiniai elementai yra tų pačių dydžių, kaip ir sprendžiant temperatūrinį uždavinį. Plokščių ir durų plokštumoms, kurios yra krosnies viduje, nurodomas 20 Pa slėgis (žr. 26 pav.).



26 pav. Slėgio ir temperatūros sąlyga

Apskaičiuoti durų atskirų sričių poslinkiai (absoliutinės deformacijos) dėl temperatūros poveikio parodyti 27 pav. Čia pavaizduoti X ašies kryptimi kylantys poslinkiai (pagal 27 pav. X ašies kryptis yra statmena paveiksluko plokštumai).

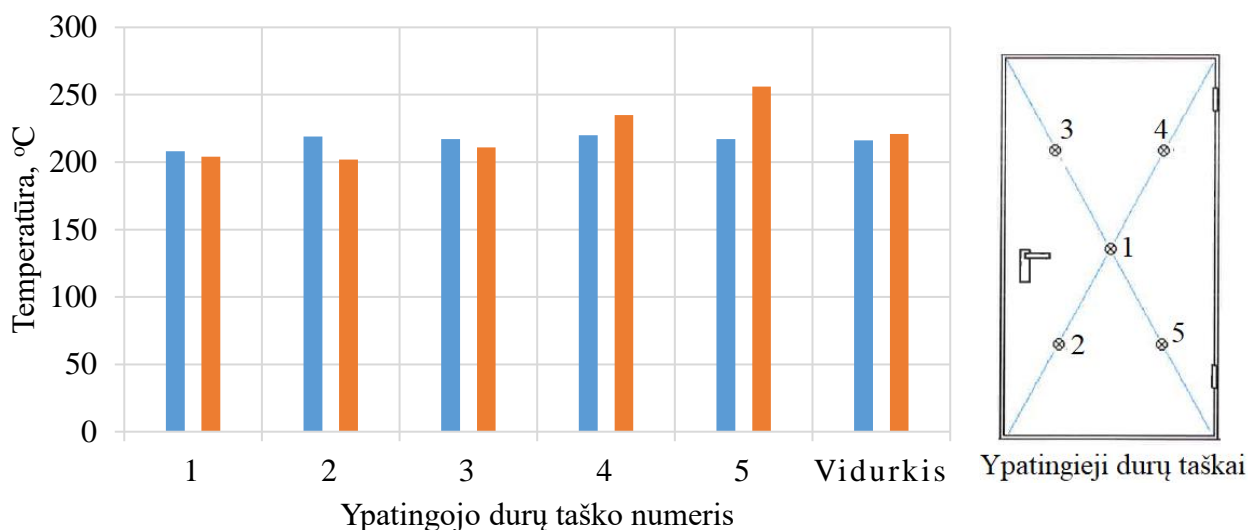


27 pav. Priešgaisrinių durų, veikiamų temperatūros, deformavimosi pobūdis išilgai durų storio (t.y. kryptimi statmena paveiksluko plokštumai; teigiamos poslinkių vertės nurodo, kad durys išsilenkia nuo skaitytojo, o neigiamos – į skaitytoją)

3.3. Modelio tikslumo nustatymas

Rezultatus, gautus BEM (durų temperatūrą ir deformacijas), palyginame su laboratorijos ataskaitoje [21] pateiktais duomenimis (pamatuotais 36 eksperimento minutę) tam, kad įsitikinti ar durų modelis pakankamo tikslumo.

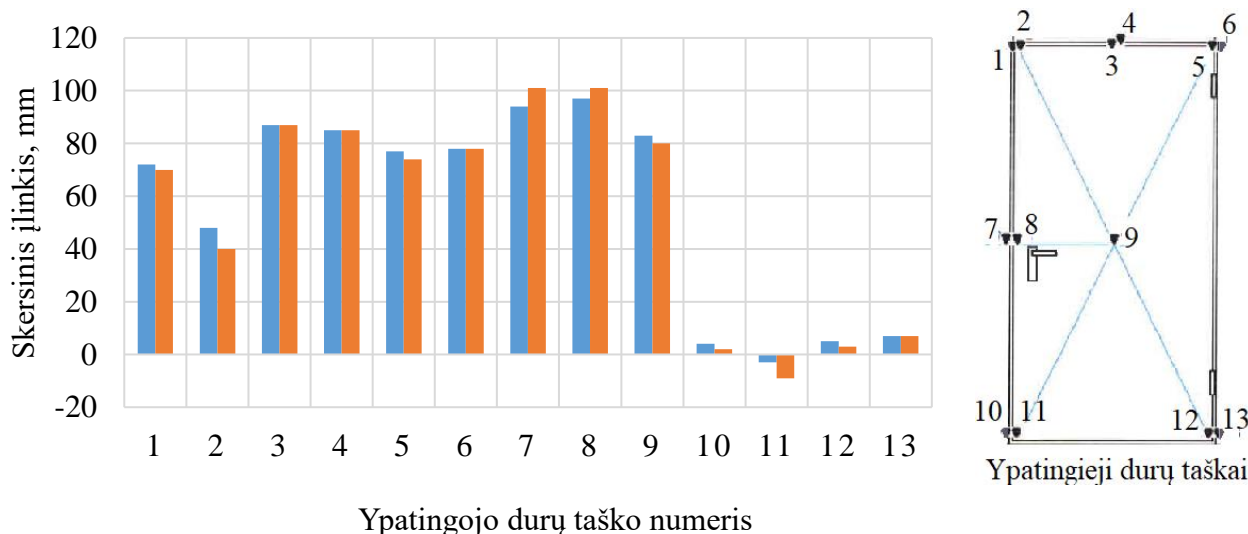
28 pav. pateikiami temperatūros, paimtos iš laboratorijos ataskaitos ir apskaičiuotos BEM, palyginimai.



28 pav. Priešgaisrinių durų temperatūros, gautos taikant BEM (■) ir nustatytos eksperimentiškai (■), palyginimas

Gauti rezultatai pakankamai gerai sutampa. Taškuose 1, 2, 3, 4 paklaidos nesiekia 9%, o šių taškų paklaidų vidurkis yra lygus 4,9%. Paskutiniame taške 5 paklaida – 15%. Visų termoelementų temperatūrų sumos vidurkio paklaida yra apie 2%

29 pav. pateikti deformacijų, gautų eksperimentiškai ir atlikus skaitinį modeliavimą, palyginimai.



29 pav. Priešgaisrinių durų skersinių įlinkių (absoliutinės deformacijos), gautų taikant BEM (■) ir nustatytų eksperimentiškai (■), palyginimas

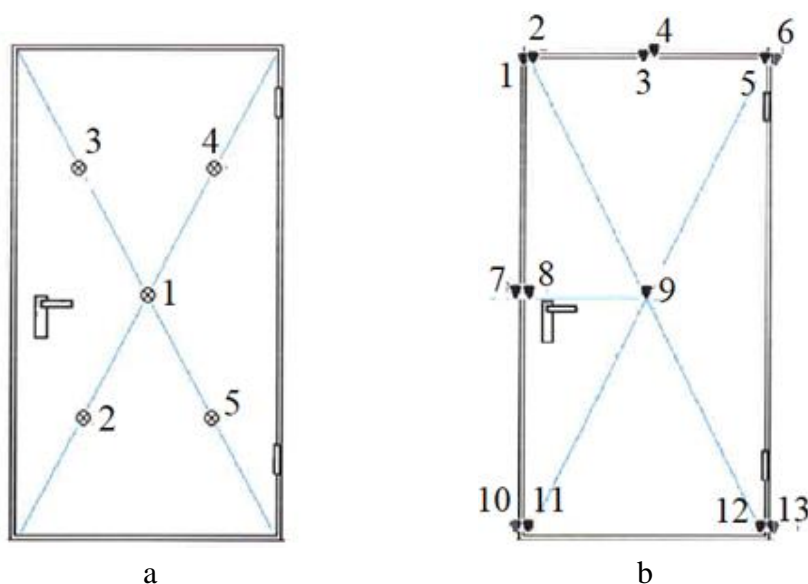
Modelyje gautos deformacijos, kaip ir temperatūros yra pakankamo tikslumo. Taškuose 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13 deformacijų paklaidos nesiekia nei 7%, o šių taškų paklaidų vidurkis yra lygus 2,4%. Tuo tarpu, taške 2 deformacijų paklaida yra didesnė, ji siekia 20%. Taškuose 10, 11 ir 12 paklaidos labai didelės. Taške 10 paklaida 100%, o taške 11 ir 12 – 67%, tačiau tai yra priimtina, nes šiuose taškuose deformacijos yra labai mažos (apie 10 kartų mažesnės už vidutinę vertę, t.y. šių deformacijų absoliutinė vertė neviršija 5 mm, o šiose vietose leistina deformacija yra iki 70 mm). Ypatingose vietose matuojamų temperatūrinių deformacijų paklaidų bendras vidurkis apie 10,9%.

Taigi galime teigti, kad šiame skyriuje aprašytas ugniai atsparių durų modelis pakankamo tikslumo. Todėl tokį durų modelį naudosime ir tolimesniuose tyrimuose.

4. Skaitiniai durų tyrimai

Šiame skyriuje bus atliekami skaitiniai tyrimai, padėsiantys nustatyti priešgaisrinių durų temperatūras ir temperatūrinės deformacijas (skersinius įlinkius), esant skirtingoms durų konstrukcijoms. Skyriaus tikslas nustatyti tinkamus durų konstrukcijos modelius, kurie atitiktų „B-30“ klasės durims keliamus reikalavimus. Skaitiniams durų tyrimams atlikti naudojamas trečiame skyriuje sudarytas priešgaisrinių durų BEM modelis.

Tyrime temperatūros (žr. 30a pav.) ir skersiniai įlinkiai (žr. 30b pav.) matuojami vyrių pusėje ypatinguose taškuose. Ant durų varčios susidarančios temperatūros matuojamos penkiuose taškuose, o skersiniai įlinkiai skirtinguose trylika taškų. Matuojamos temperatūrinės deformacijos ant staktos pavaizduotos skaičiais: 1, 4, 6, 7, 10, 13, o ant varčios: 2, 3, 5, 8, 9, 11, 12.



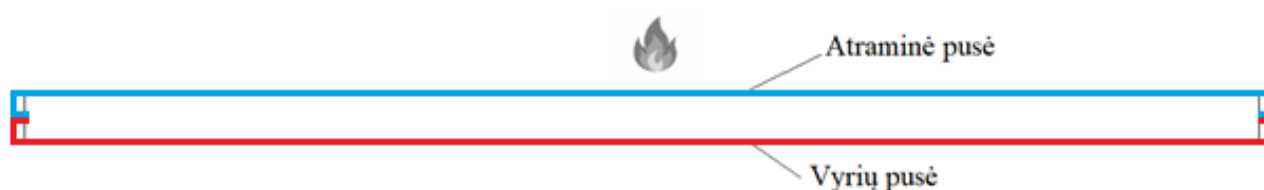
30 pav. Ypatingieji durų taškai: a – nustatant temperatūras; b – nustatant temperatūrinės deformacijas

4.1. Durų varčios plieno lakštų storio įtaka

Šio skaitinio eksperimento metu keičiamas priešgaisrinių durų varčios galvanizuoto plieno storis (žr. 31 pav.). Durų varčios visų plieno lakštų pradinis storis yra 0,7 mm. Atliekami trys skaičiavimai:

- Varčios lakšto storis keičiamas vyrių pusėje (31 pav. raudona spalva);
- Varčios lakšto storis keičiamas atraminėje pusėje (31 pav. mėlyna spalva);
- Varčios lakšto storis keičiamas tolygiai abiejose pusėse.

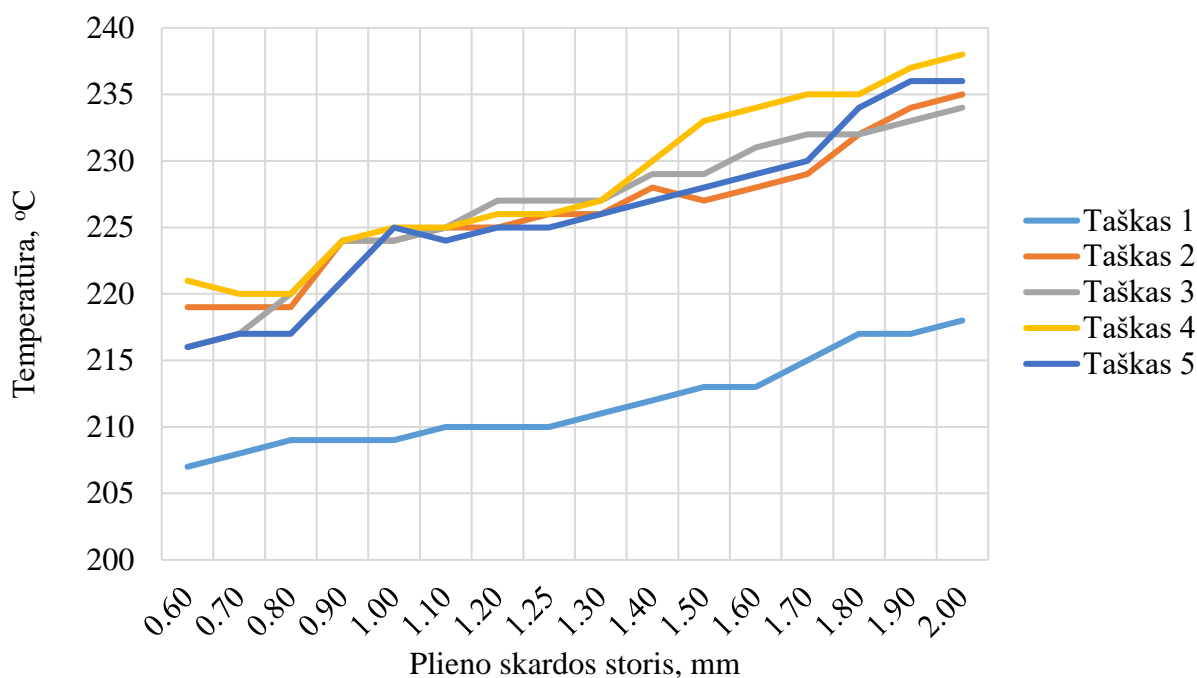
Plieno storis visuose skaitiniuose bandymuose keičiamas nuo 0,6 mm iki 2,0 mm.



31 pav. Priešgaisrinių durų varčios modelis

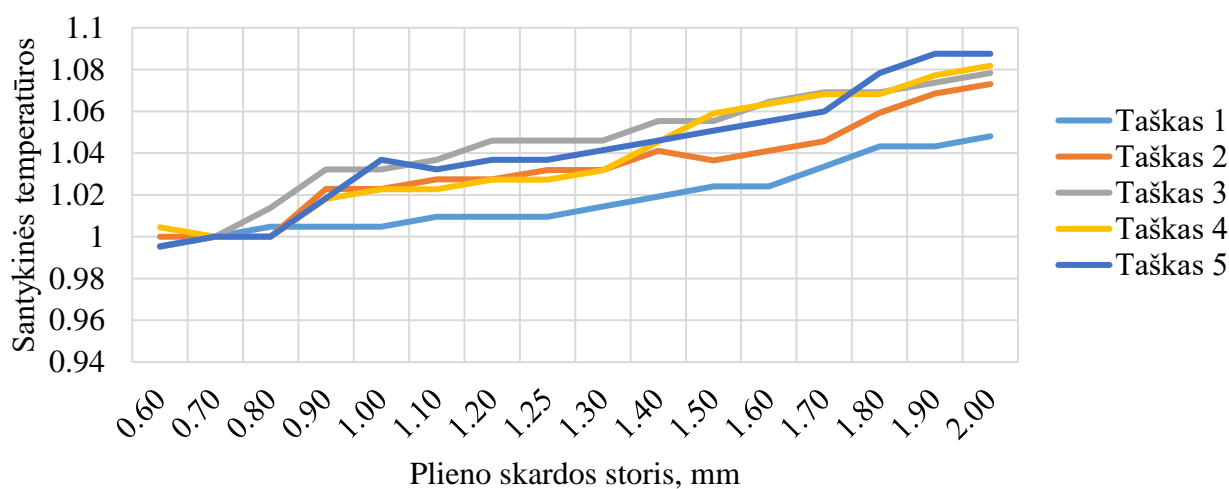
4.1.1. Vyrių pusės plieno lakštas

Išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros priklausomybė nuo varčios skardos storio vyrių pusėje parodyta 32 pav.



32 pav. Temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, vyrių pusėje, storio

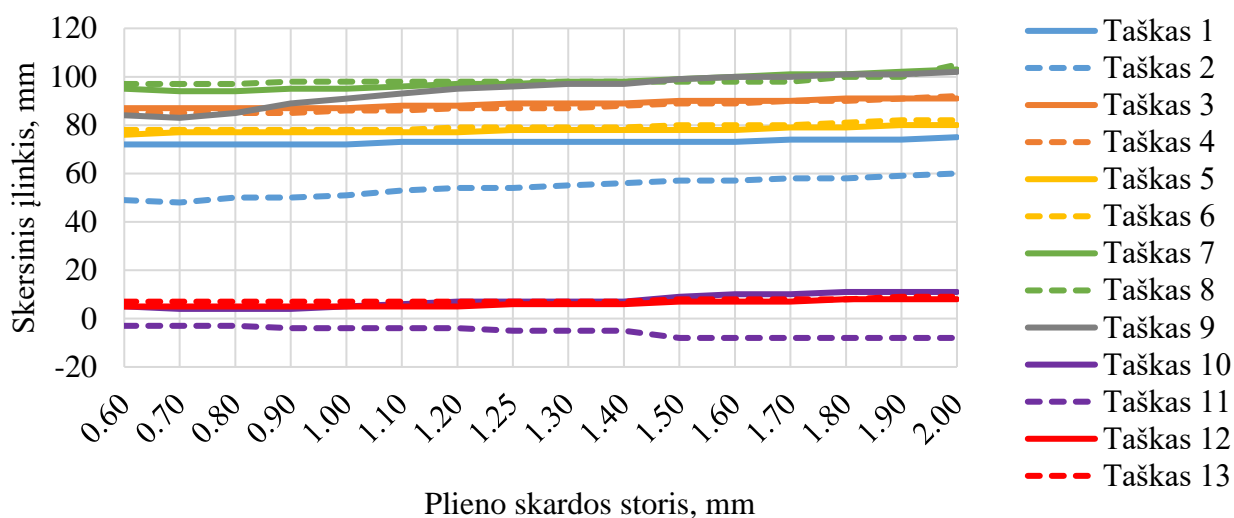
Iš 32 pav. matyti, kad 1-ame taške kyla mažiausia temperatūra, o likusiuose taškuose temperatūra beveik vienoda. Didinant lakšto storį varčios pusėje temperatūra ypatinguose taškuose didėja beveik proporcingai lakšto storiui. Lakšto storiui padidėjus nuo 0,6 mm iki 2,0 mm temperatūra vidutiniškai ypatinguose taškuose padidėja apie 15°C. Durys neatitinka „B-30“ klasės keliamų temperatūrinių reikalavimų.



33 pav. Santykinės temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, vyrių pusėje, storio

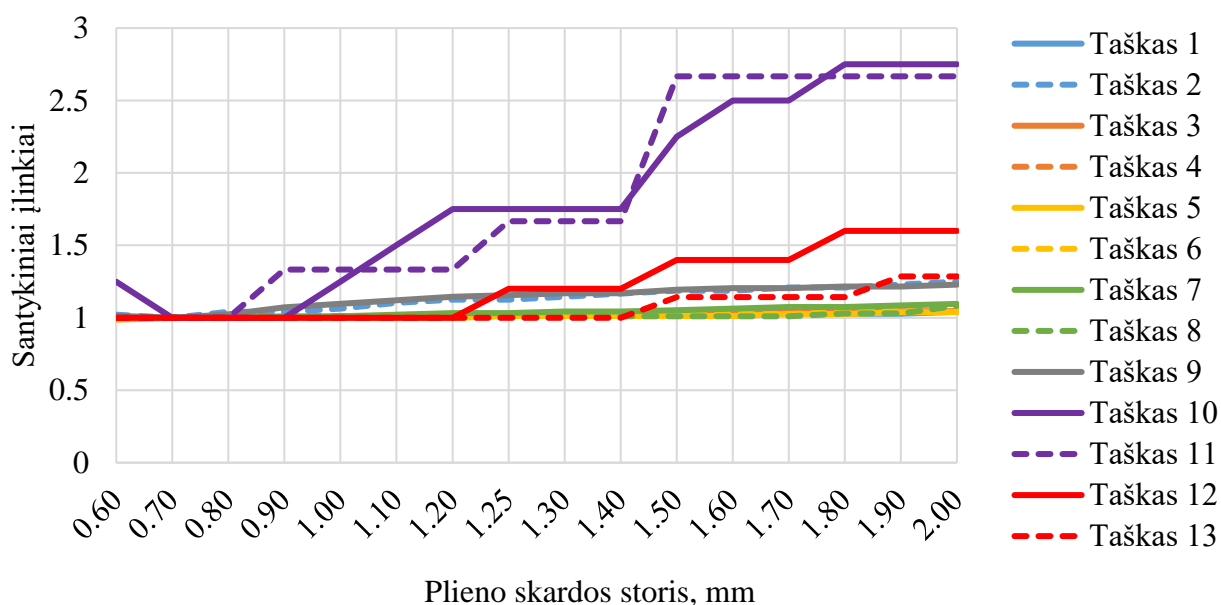
Santykinių temperatūrų (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios visų lakštų storai yra lygūs t.y. 0,7 mm) kitimas pateiktas 33 pav. Matoma, kad 2-ame, 3-ame, 4-ame taškuose padidėjus lakšto storiui santykinės temperatūros padidėja apie 6%, 5-tame taške – apie 8%, o 1-ame – apie 4%.

Apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos priklausomybė nuo varčios skardos storio vyrių pusėje parodyta 34 pav.



34 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) temperatūrinių deformacijų priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo vyrių pusėje

34 pav. matyti, kad didinant skardos storį temperatūrinės deformacijos visuose taškuose nežymiai didėja. Taip pat galima teigti, kad temperatūrinės deformacijos ypatinguose taškuose kinta beveik proporcingai lakšto storiui. Lakšto storiui padidėjus ypatingai padidėja skersinis įlinkis 9-ame taške. Durys atitinka „B-30“ klasės keliamus deformacijos reikalavimus visais atvejais.

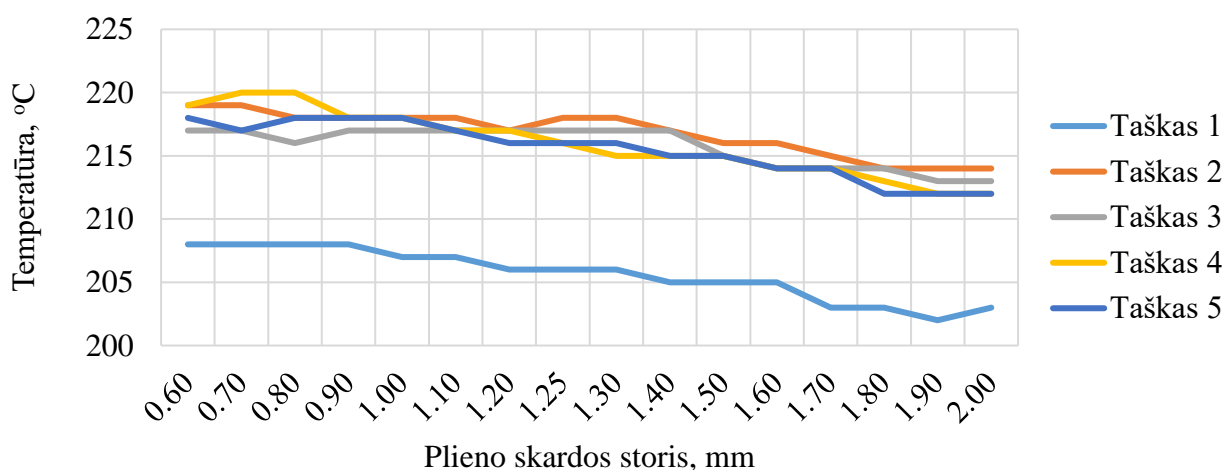


35 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) santykinių įlinkių priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo vyrių pusėje

Santykiniai įlinkiai (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios visų lakštų storiai lygūs t.y. 0,7 mm) pavaizduoti 35 pav. rodo, kad padidėjus plieno lakšto storiui vyrių pusėje temperatūrinės deformacijos 10-ame ir 11-ame taškuose padidėja apie 2,75 karto. 9-ame, 12-ame ir 13-ame taškuose temperatūrinės deformacijos išauga apie 1,25–1,4 karto, likusiuose ypatinguose taškuose temperatūrinės deformacijos padidėja apie 1,03–1,1 karto. Taškuose 10 – 13 laiptuotos kreivės gaunasi dėl to, kad šiuose taškuose temperatūrinės deformacijos sąlyginai labai mažos.

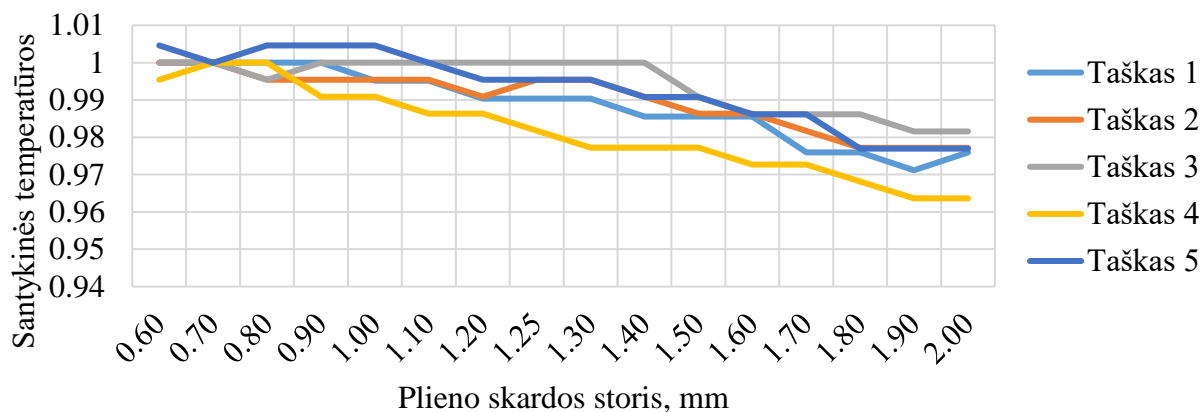
4.1.2. Atraminės pusės plieno lakštas

Išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros priklausomybė nuo varčios skardos storio atraminėje pusėje parodyta 36 pav.



36 pav. Temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, atraminėje pusėje, storio

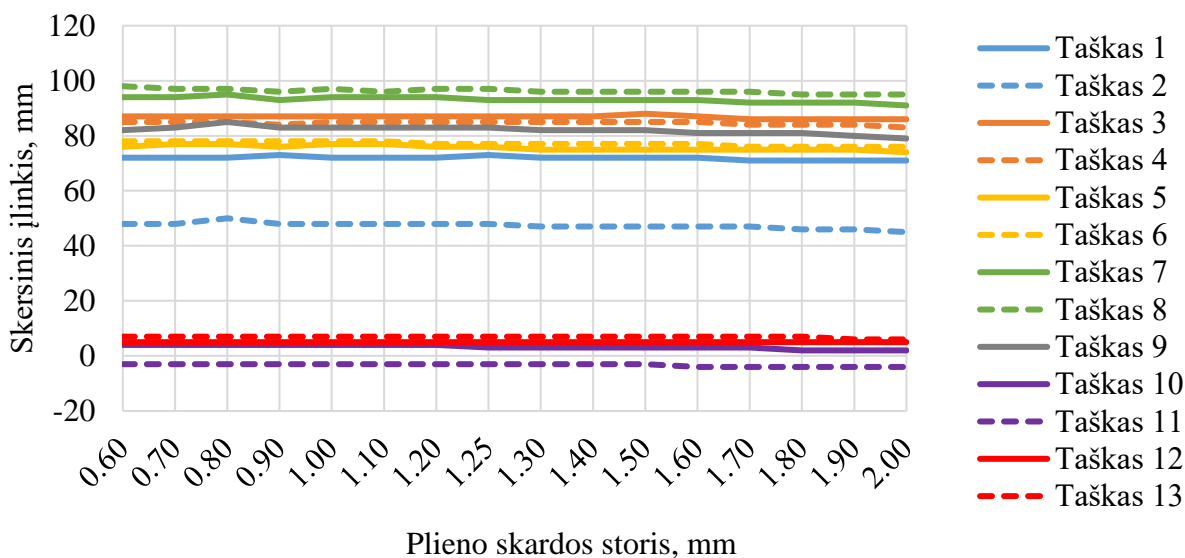
Tyrimas parodė, kad varčios storinimas nuo 0,6 mm iki 2,0 mm atraminėje pusėje padeda sumažinti temperatūros reikšmes ypatinguosiuose taškuose daugiau nei per 5 °C. 36 pav. matyti, kad 1-ame taške kyla mažiausia temperatūra, o likusiuose taškuose temperatūra beveik vienoda. Didinant lakšto storį atraminėje pusėje temperatūra ypatinguose taškuose mažėja beveik proporcingai lakšto storiui. Durys neatitinka „B-30“ klasės keliamų temperatūrinių reikalavimų.



37 pav. Santykinės temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto, atraminėje pusėje, storio

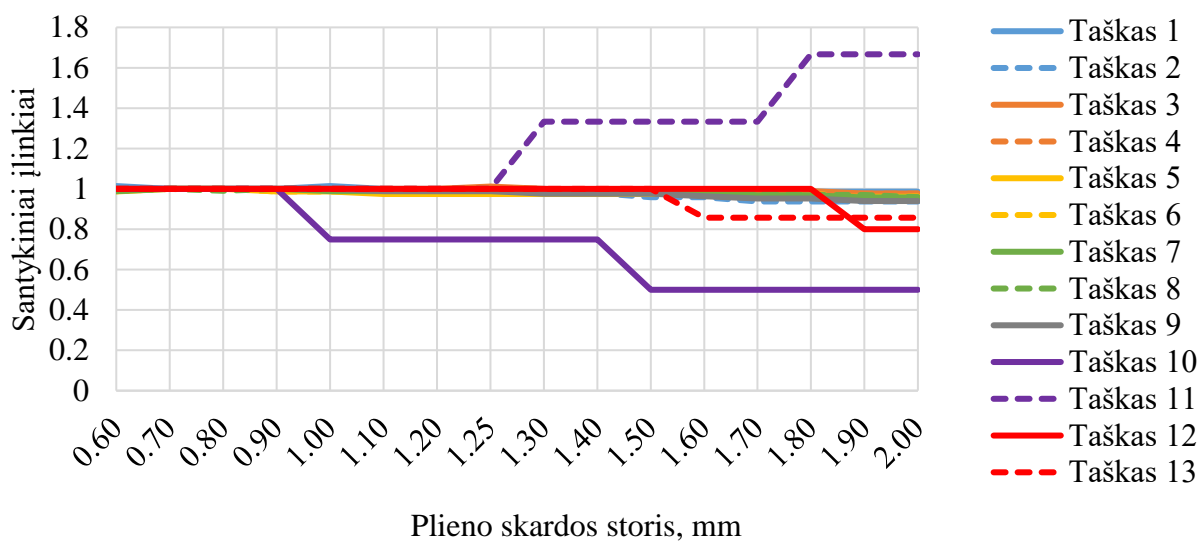
37 pav. pateiktas santykinų temperatūrų kitimas, lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios visų lakštų storiai yra lygūs t.y. 0,7 mm., matyti, kad 1-ame, 2-ame, 5-ame taškuose padidėjus lakšto storiui atraminėje pusėje santykinės temperatūros sumažėja apie 3%. Lyginant su kitais taškais 4-ame taške temperatūra sumažėja daugiausiai, pastarajame taške temperatūra sumažėja per 4%.

Apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos priklausomybė nuo varčios skardos storio atraminėje pusėje parodyta 38 pav.



38 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) temperatūrinių deformacijų priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo atraminėje pusėje

Iš 38 pav. matyti, kad ypatingųjų taškų temperatūrinės deformacijos priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo atraminėje pusėje yra labai nežymi. Visuose taškuose temperatūrinės deformacijos sumažėja. Duryš atitinka „B-30“ klasės keliamus deformacijos reikalavimus visais atvejais.

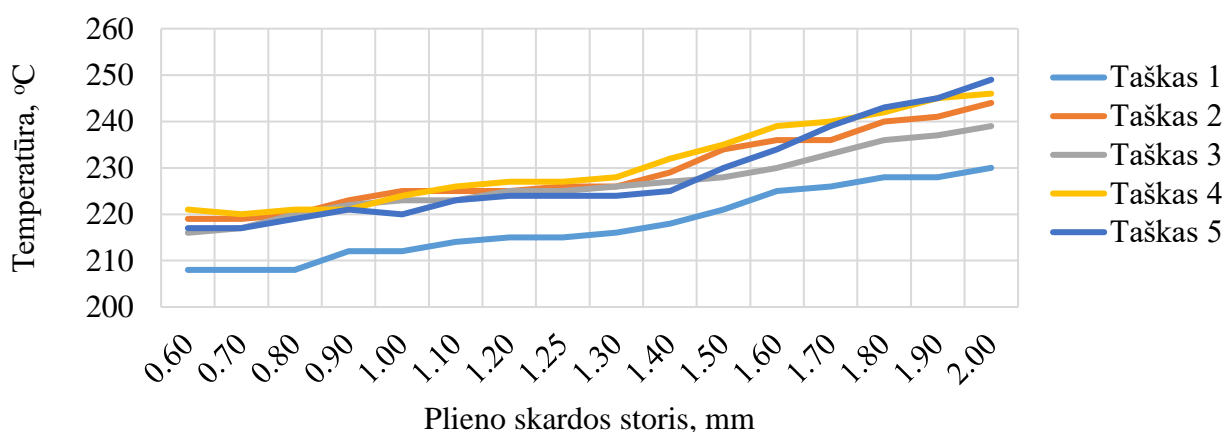


39 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) santykinų įlinkių priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo atraminėje pusėje

39 pav. pavaizduoti santykiniai įlinkiai (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios visų lakštų storiai yra lygūs t.y. 0,7 mm) parodo, kad 11-ame taške temperatūrinės deformacijos padidėja 70%. Tuo tarpu 10-ame taške temperatūrinės deformacijos sumažėjo apie 50%, o 12-ame ir 13-ame taškuose temperatūrinės deformacijos sumažėjo vidutiniškai apie 20%. Visuose kituose ypatinguose taškuose temperatūrinės deformacijos sumažėja labai neženkliai t.y. maždaug apie 4%. Taškuose 10 – 13 laiptuotos kreivės gaunasi dėl to, kad šiuose taškuose temperatūrinės deformacijos sąlyginai labai mažos.

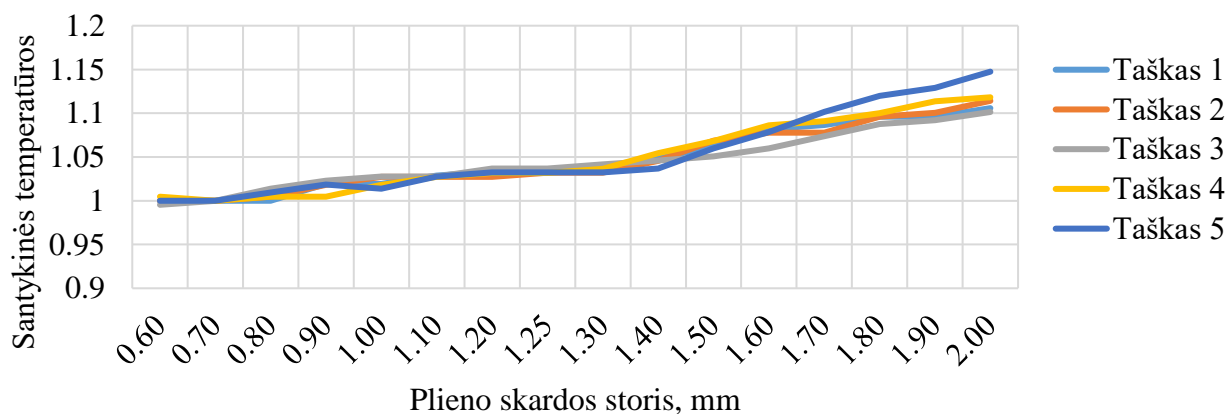
4.1.3. Abiejų pusių plieno lakštai

Išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros priklausomybė nuo varčios skardos storio abiejose pusėse parodyta 40 pav.



40 pav. Temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto storio abiejose pusėse

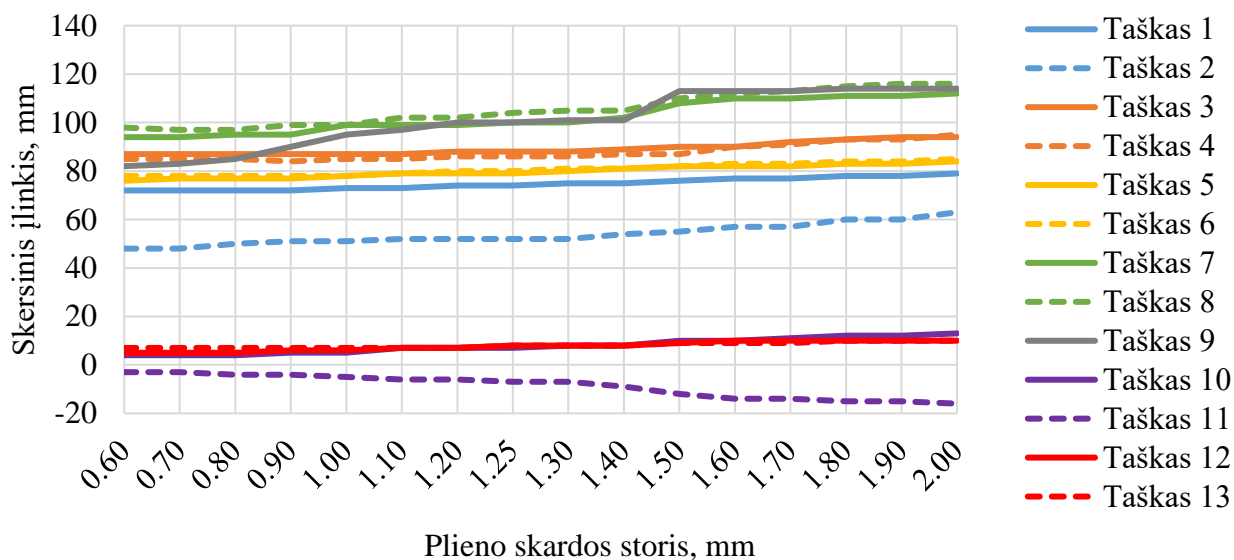
Iš 40 pav. matyti, kad kaip ir prieš tai buvusiuose skaitiniuose tyrimuose 1-ame taške kyla mažiausia temperatūra, o likusiuose taškuose temperatūra beveik vienoda. Didinant lakšto storį abiejose pusėse temperatūra ypatinguose taškuose didėja beveik proporcingai lakšto storiui. Lakšto storiui padidėjus nuo 0,6 mm iki 2,0 mm temperatūra vidutiniškai ypatinguose taškuose padidėja apie 25°C. Durys neatitinka „B-30“ klasės keliamų temperatūrinių reikalavimų.



41 pav. Santykinės temperatūros kitimas ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) priklausomai nuo varčios lakšto storio abiejose pusėse

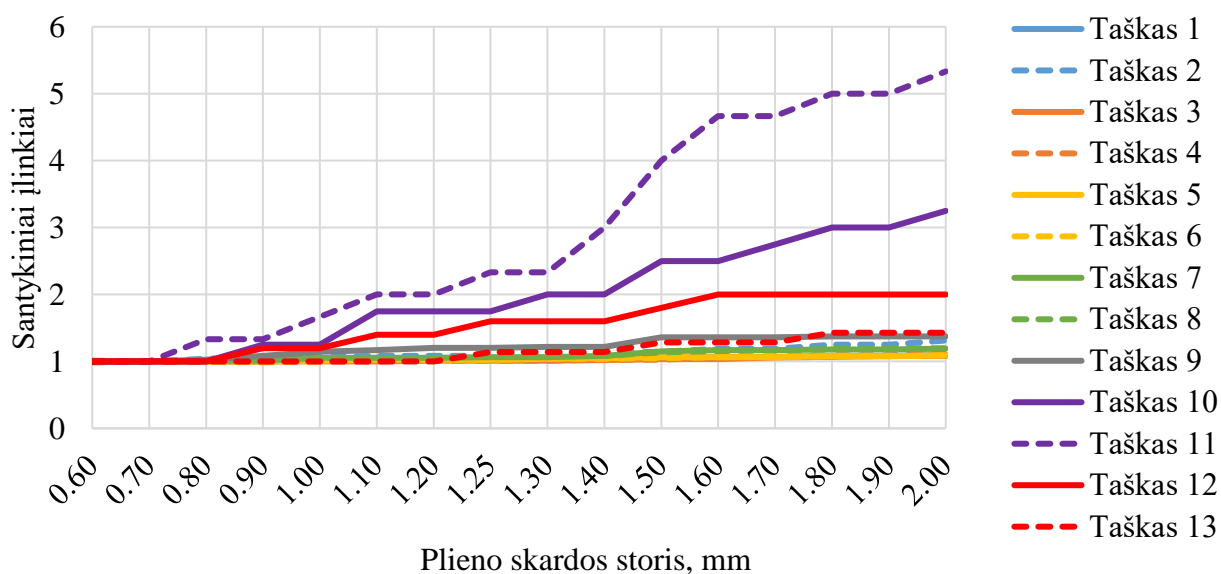
Santykinės temperatūros (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios visų lakštų storiai yra lygūs t.y. 0,7 mm) pateiktos 41 pav. Aiškiai matosi, kad padidėjus varčių lakštų storiams abiejose pusėse visuose ypatinguose taškuose padidėja temperatūros reikšmės. Visuose taškuose temperatūros padidėja maždaug apie 10%, išskyrus 5-tą tašką, čia deformacijos padidėja apie 15%

Apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos priklausomybė nuo varčios skardos storio abiejose pusėse parodyta 42 pav.



42 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) temperatūrinių deformacijų priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo abiejose pusėse

42 pav. matyti, kad temperatūrinės deformacijos padidėja visuose taškuose. Taip pat galima teigti, kad temperatūrinės deformacijos ypatinguose taškuose didėja beveik proporcingai kintant lakšto storiams. Temperatūrinės deformacijos ypatinguose taškuose padidėja vidutiniškai apie 10 mm. Duryms atitinka „B-30“ klasės keliamus deformacijos reikalavimus visais atvejais.



43 pav. Ypatinguosiuose taškuose (žr. 30b pav.) santykinių įlinkių priklausomybė nuo varčios lakšto storio kitimo abiejose pusėse

Santykiniai įlinkiai (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios visų lakštų storiai yra lygūs t.y. 0,7 mm) pavaizduoti 43 pav. rodo, kad padidėjus plieno lakšto storiams abiejose pusėse temperatūrinės deformacijos ypatingai padidėja 11-ame taške, čia jos padidėja apie 5,5 karto. Tuo tarpu 10-ame taške deformacijos padidėja apie 3 kartus, o 12-ame, 9-ame ir 2-ame taškuose 2 kartus. Visuose kituose taškuose temperatūrinės deformacijos padidėja apie 1,5 karto, išskyrus 3-čią, 5-tą ir 6-tą taškus, čia deformacijos padidėja maždaug tik apie 3%. Taškuose 10 – 13 laiptuotos kreivės gaunasi dėl to, kad šiuose taškuose temperatūrinės deformacijos sąlyginai yra labai mažos.

4.1.4. Tyrimo, kai keičiamos durų varčios plieno lakštų storiai, apibendrinimas

Atliktas priešgaisrinių durų varčios galvanizuoto plieno storio kitimo tyrimas parodė, kad varčios plieno storinimas vyrių pusėje ir abiejose pusėse turi neigiamą įtaką temperatūroms ir temperatūrinėms deformacijoms (t.y. temperatūra ir deformacijos išauga), o atraminėje pusėje teigiamą įtaką (t.y. temperatūra ir deformacijos sumažėja):

- Varčios plieno lakštui pastorėjus vyrių pusėje temperatūros vidutiniškai padidėja apie 1,08 karto, o deformacijos apie 1,1 karto.
- Varčios plieno lakštams pastorėjus abiejose pusėse temperatūros vidutiniškai padidėja apie 1,12 karto, o deformacijos apie 1,17 karto.
- Varčios plieno lakštams pastorėjus atraminėje pusėje temperatūros vidutiniškai sumažėja apie 1,02 karto, o deformacijos apie 1,05 karto.

Taigi, atlikti skaitinio tyrimo rezultatai parodė, kad durų varčios plieno storinimas vyrių pusėje bei abiejose pusėse mažina konstrukcijos efektyvumą, o priešgaisrinės durys efektyvesnės tuomet, kai storesnė varčios lapo skarda arčiau šilumos šaltinio, tačiau nei vienas durų modelis neatitiko „B-30“ klasės keliamų reikalavimų dėl per didelių susidarančių temperatūrų ypatinguosiuose taškuose.

4.2. Durų varčios izoliacinės medžiagos įtaka

Šiame skaitiniame tyrime keičiama priešgaisrinių durų varčios vidinės izoliacijos medžiaga (žr. 44 pav.). Durų varčios plieno storis abiejose pusėse 0,7 mm.

Vietoje „RockWool SeaRox SL 440“ akmens vatos panaudosime:

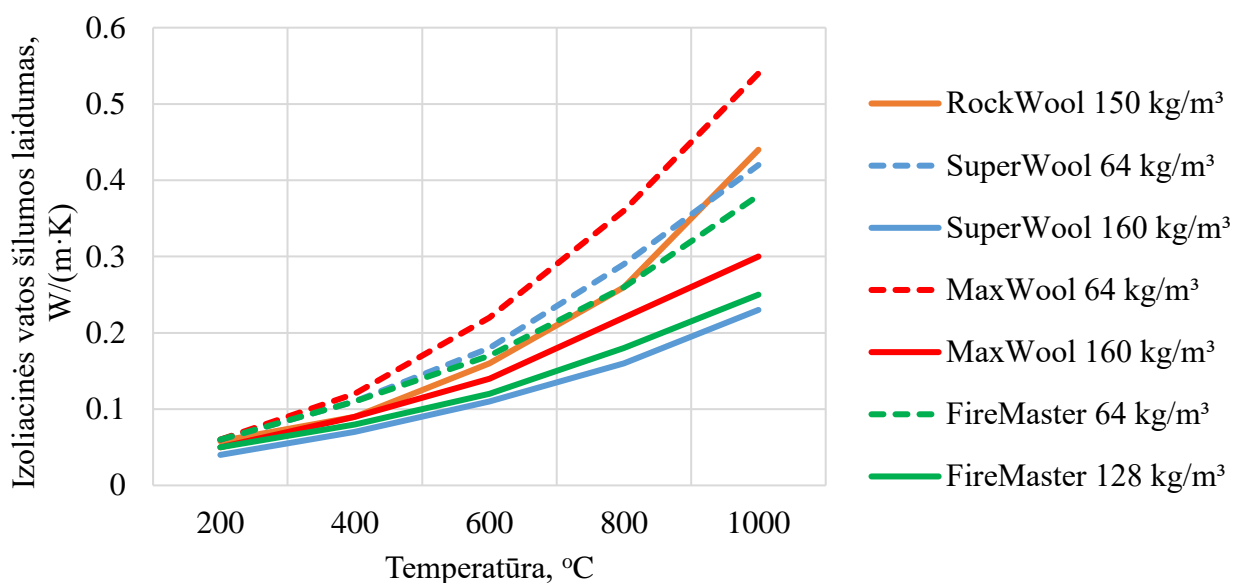
- „SuperWool Plus blanket“ dviejų tankių: (64 kg/m^3 ir 160 kg/m^3) [22];
- „MaxWool“ dviejų tankių: (64 kg/m^3 ir 160 kg/m^3) [23];
- „FireMaster Marine Plus blanket“ dviejų tankių: (64 kg/m^3 ir 128 kg/m^3) [24].



44 pav. Priešgaisrinių durų varčios modelis

Kadangi gamintojai nepateikia dalies skaičiavimams reikalingų fizikinių ir mechaninių savybių (tamprumo modulio, Puasono koeficiento, stiprumo ribos, sąlyginės takumo ribos), todėl darome prielaidą, kad šios savybės atitinka trečiame skyriuje sudaryto modelio izoliacinės vatos savybes: tamprumo modulis – 8,2 MPa, Puasono koeficientas – 0, stiprumo riba – 0,4 MPa, sąlyginė takumo riba – 0,001 MPa.

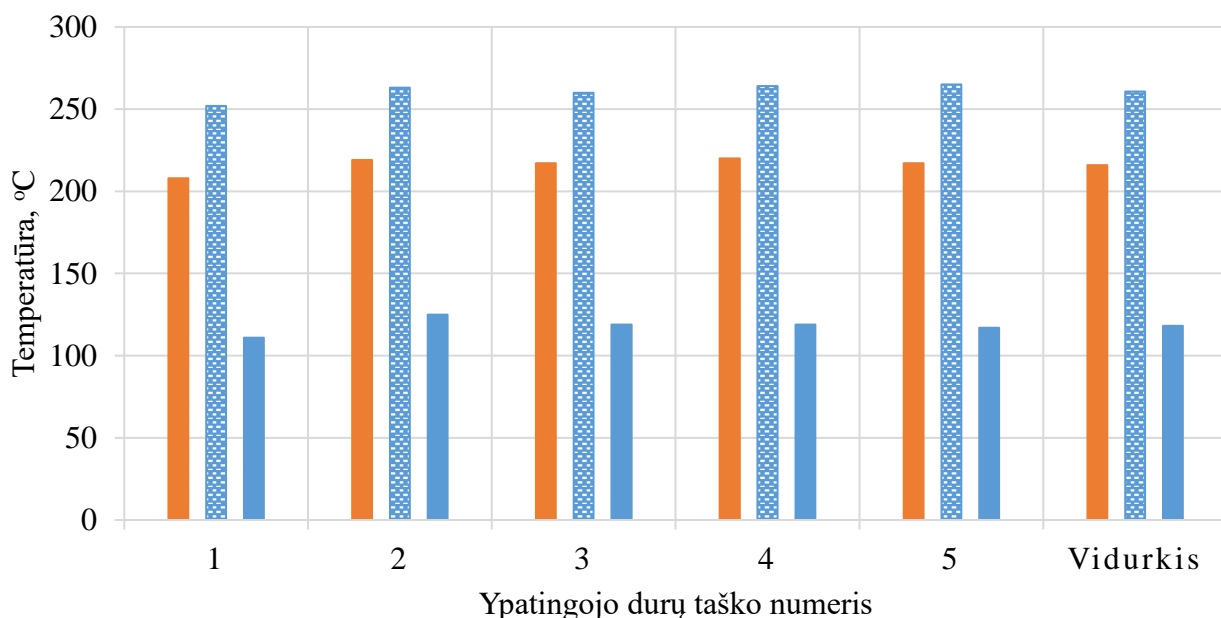
Aukščiau išvardintų izoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficientų priklausomybės nuo temperatūros pateiktos 45 pav.



45 pav. „RockWool SeaRox SL 440“, „SuperWool Plus blanket“, „MaxWool“, „FireMaster Marine Plus blanket“ šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo temperatūros

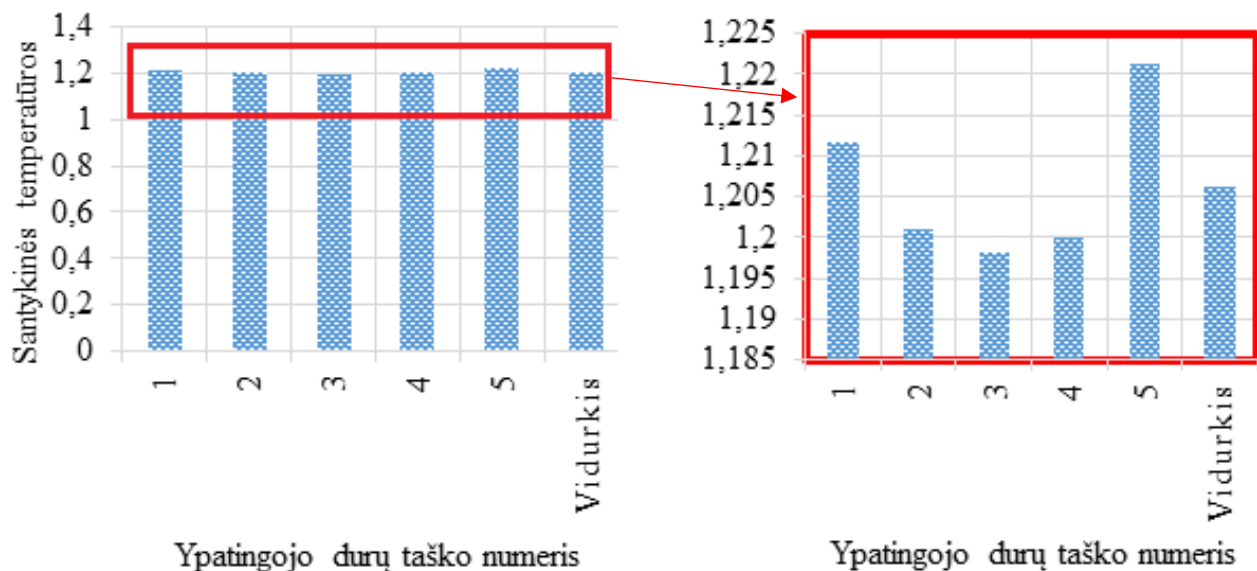
4.2.1. Durų varčios izoliacinė medžiaga – „SuperWool Plus blanket“

Išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros naudojant „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ ir „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą pavaizduotos 46 pav.



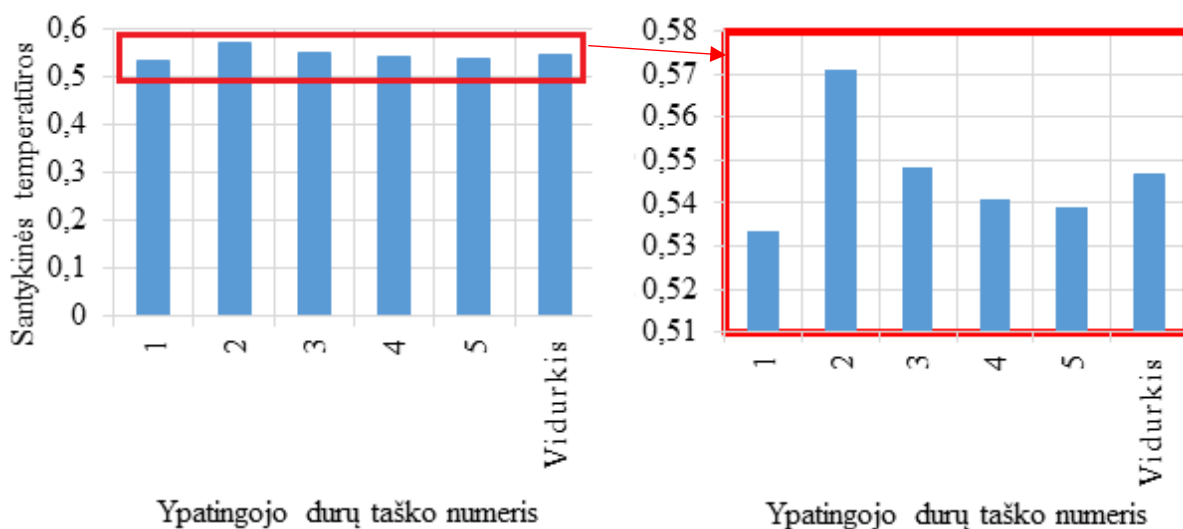
46 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio (▨), „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas

46 pav. matyti, kad „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio durų vata turi neigiamą įtaką skaitinio eksperimento rezultatams, t.y. temperatūros matuojamuose taškuose padidėja. Visų ypatingų taškų temperatūra vidutiniškai padidėjo apie 39 °C. Panaudojus „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio vatą matuojamos temperatūros, atvirkščiai, ypatinguose taškuose sumažėjo. Vidutiniškai visi analizuojami ypatingieji priešgaisrinių durų taškai įkaista 102 °C mažiau nei durų konstrukcija su „RockWool SeaRock SL 440“ akmens vata.



47 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

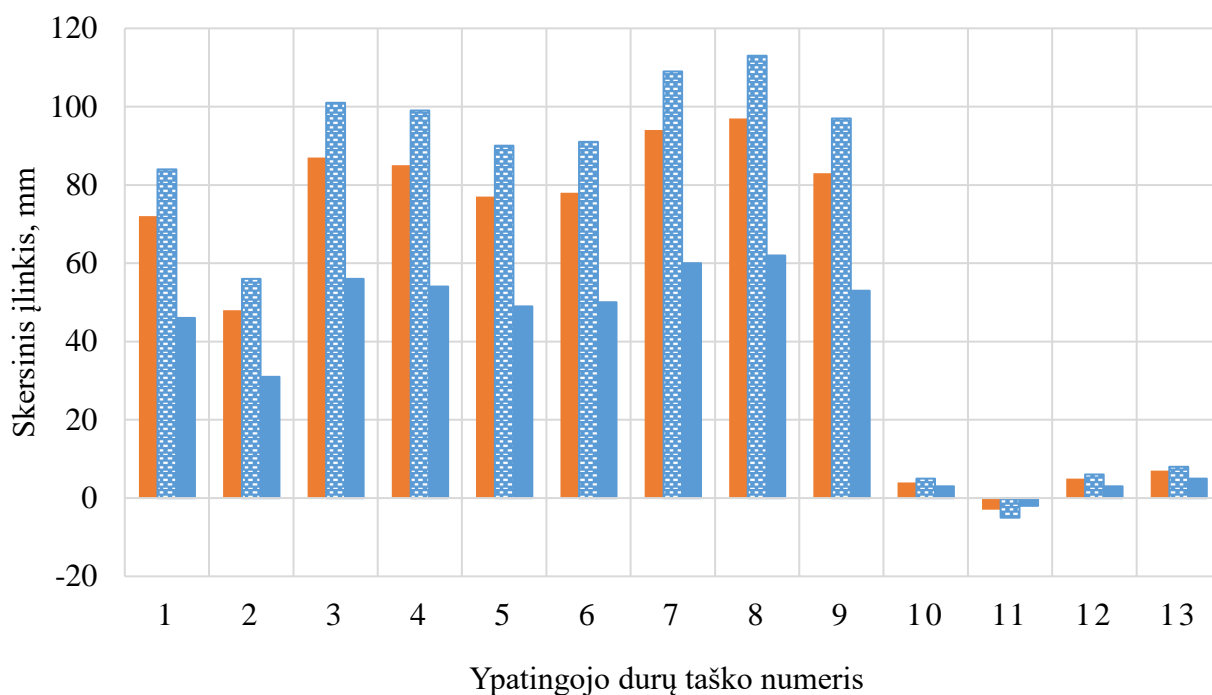
Lyginant su temperatūromis, gautomis kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmens vata santykinės temperatūros parodytos 47 pav., matosi, kad panaudojus „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio keraminę vatą visuose ypatinguosiuose taškuose temperatūros padidėjo maždaug vienodai t.y. temperatūros padidėjo apie 20 % – 22%.



48 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

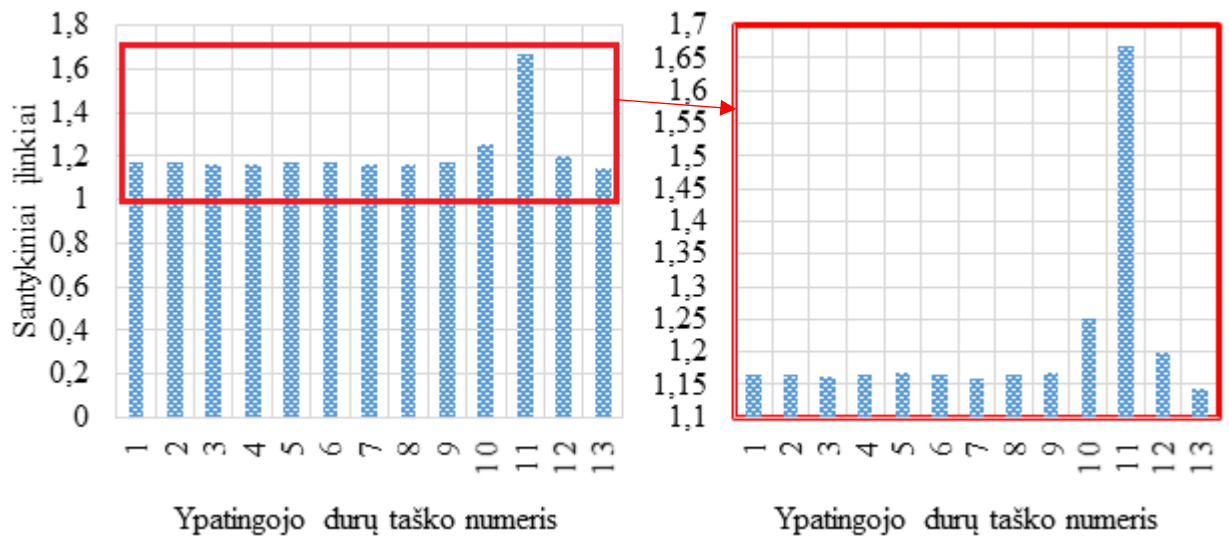
Iš santykinės temperatūros (žr. 48 pav.) matosi, kad naudojant „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio keraminę vatą vietoje RockWool SeaRox SL 440“ akmenų vatos ypatinguose taškuose temperatūra sumažėja t.y. temperatūros ypatinguosiuose taškuose sumažėja apie 43 % – 47 %

Panaudojus „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ ir „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą varčios viduje, apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos parodytos 49 pav.



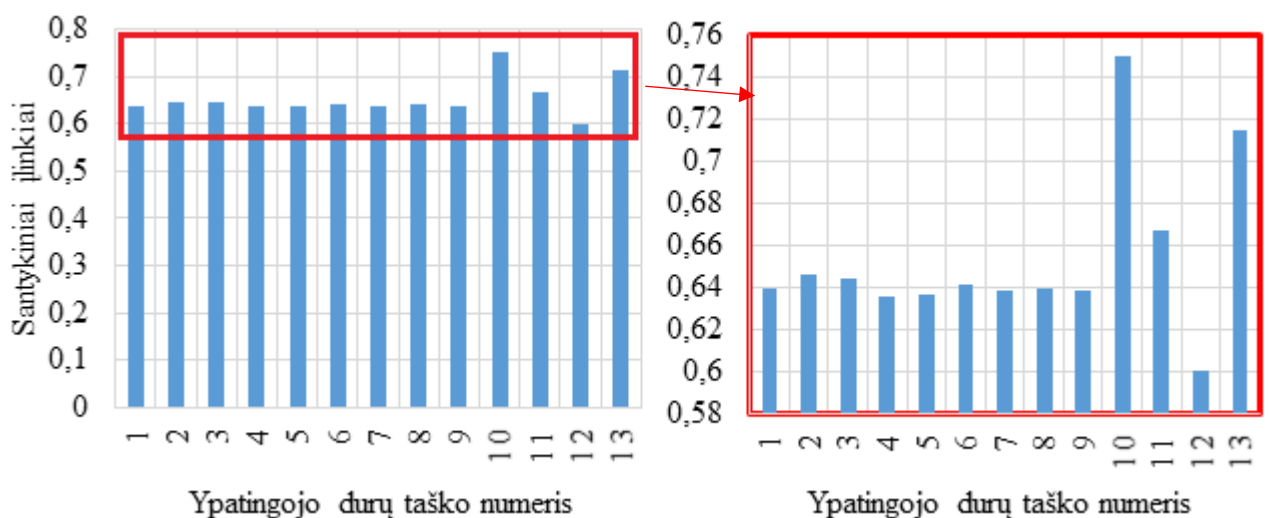
49 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarančios temperatūrinės deformacijos, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio (■), „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas

Iš 49 pav. matyti, kad naudojant „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą visų ypatingųjų durų taškų temperatūrinės deformacijos, jas lyginant su deformacijomis, gautomis naudojant „RockWool SeaRox SL 440“ akmenų vatą, padidėjo, t.y. gaunamos blogesnės kokybės priešgaisrinės durys, o panaudojus „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą visų ypatingųjų durų taškų temperatūrinės deformacijos sumažėjo, t.y. gaunamos geresnės kokybės priešgaisrinės durys.



50 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

Santykiniai įlinkiai (lyginant su skersiniais įlinkiais, gautais, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmens vata) pavaizduoti 50 pav. rodo, kad pakeitus varčios viduje izoliacinę medžiagą į „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio vatą temperatūrinės deformacijos padidėja visuose ypatinguose taškuose. Ypatingai skersiniai įlinkiai padidėjo 11-ame taške – 1,7 karto. Kiek mažiau 10-ame taške – 1,25 karto, o visuose likusiuose taškuose maždaug apie 1,18 karto.

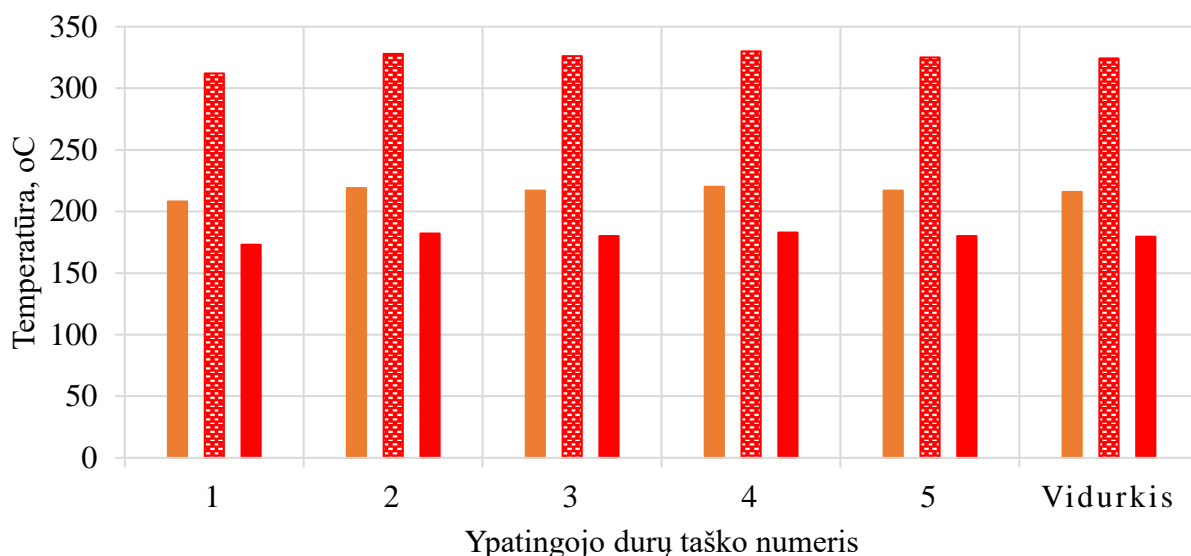


51 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

Santykiniai įlinkiai (lyginant su skersiniais įlinkiais, gautais, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmens vata) pavaizduoti 51 pav. rodo, kad pakeitus varčios viduje izoliacinę medžiagą į „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio vatą temperatūrinės deformacijos sumažėja visuose ypatinguose taškuose. Daugiausiai skersinių įlinkių reikšmė sumažėjo 12-ame taške t.y. apie 40%. Taškuose 1 – 9 ypatingųjų taškų skersiniai įlinkiai sumažėjo apie 35%, o 10-ame taške mažiausiai t.y. apie 25%.

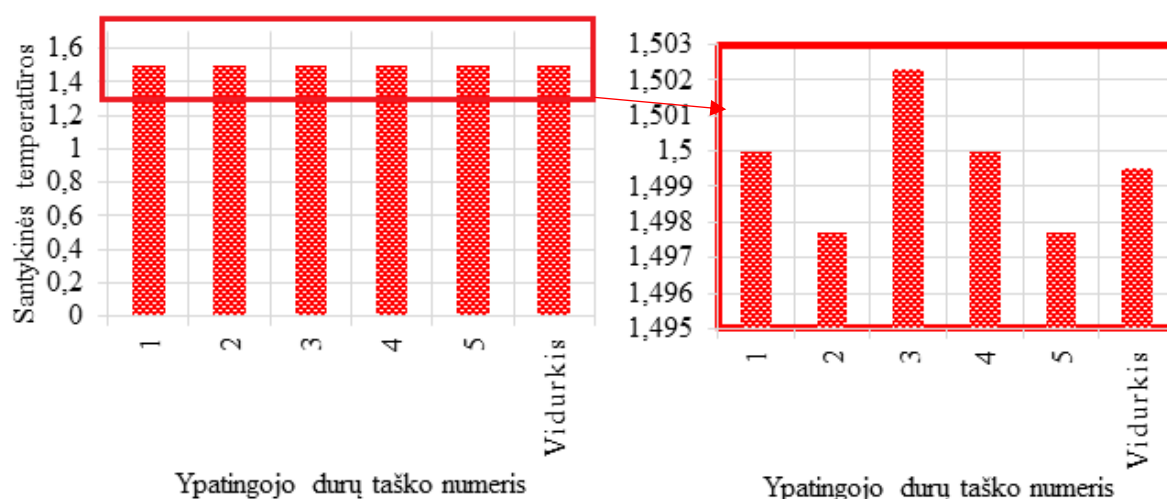
4.2.2. Durų varčios izoliacinė medžiaga – „MaxWool“

Išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros naudojant „MaxWool“ 64 kg/m³ ir „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą pavaizduotos 52 pav.



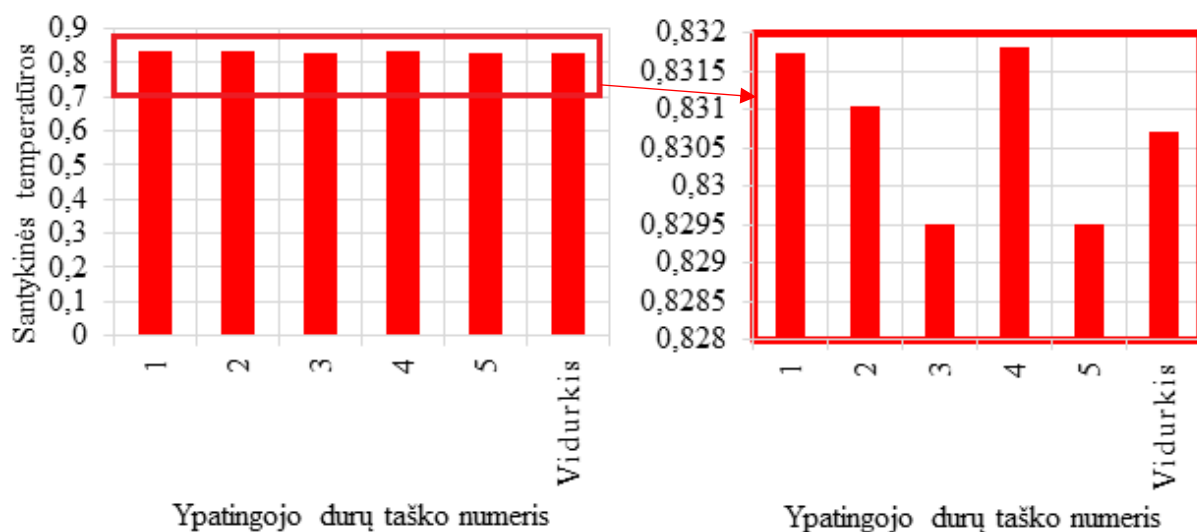
52 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio (▨), „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga palyginimas

Iš 52 pav. matyti, kad panaudojus „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio vatą gaunamos prastesnės kokybės priešgaisrinės durys. Visuose ypatinguosiuose taškuose temperatūros padidėjo maždaug apie 100 °C. Naudojant „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio vatą matuojamos temperatūros ypatinguose taškuose sumažėjo. Vidutiniškai visi analizuojami ypatingieji priešgaisrinių durų taškai įkaista 35 °C mažiau nei durų konstrukcija su „RockWool SeaRock SL 440“ akmens vata.



53 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

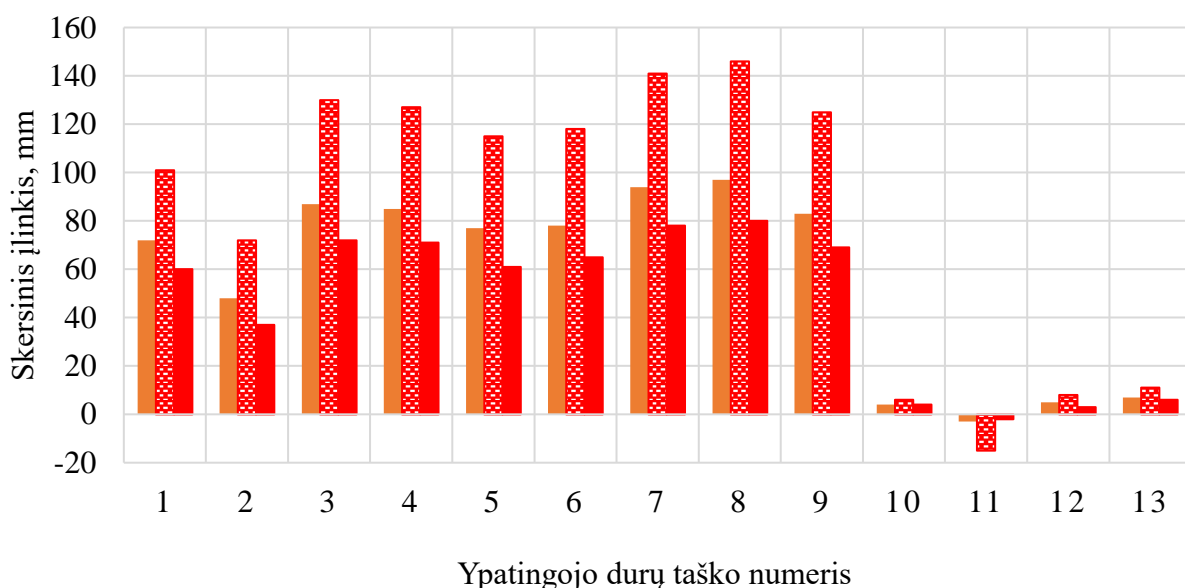
Santykinės temperatūros (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmens vata) parodytos 53 pav. Matyti, kad panaudojus „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio vatą varčios viduje visuose ypatinguosiuose taškuose temperatūros padidėjo beveik vienodai – apie 50%



54 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

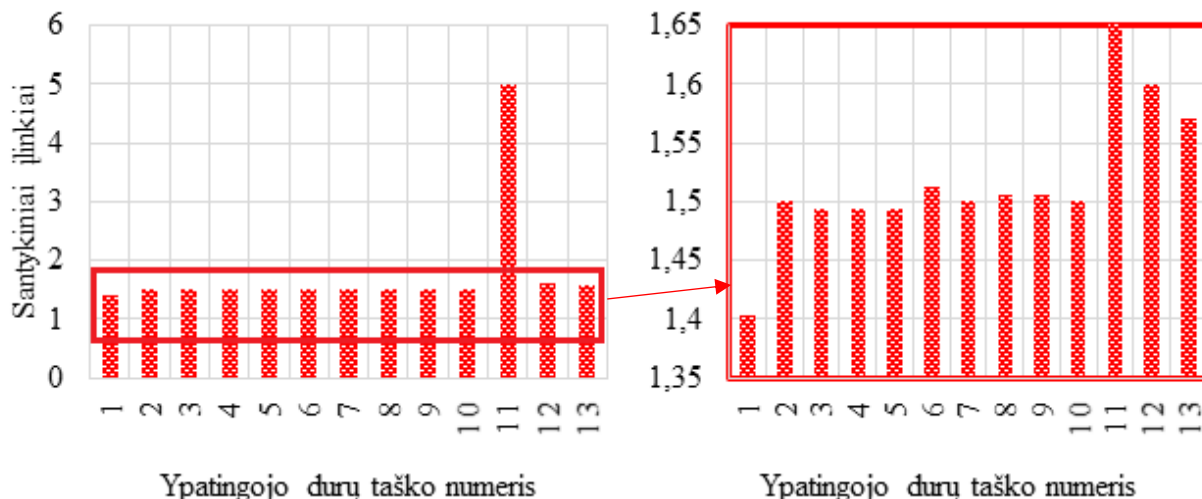
Santykinės temperatūros (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmens vata) parodytos 54 pav. Matyti, kad panaudojus „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio vatą visuose ypatinguosiuose taškuose temperatūros sumažėjo maždaug vienodai t.y. apie 17%.

Panaudojus „MaxWool“ 64 kg/m³ ir „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą varčios viduje, apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos parodytos 55 pav.



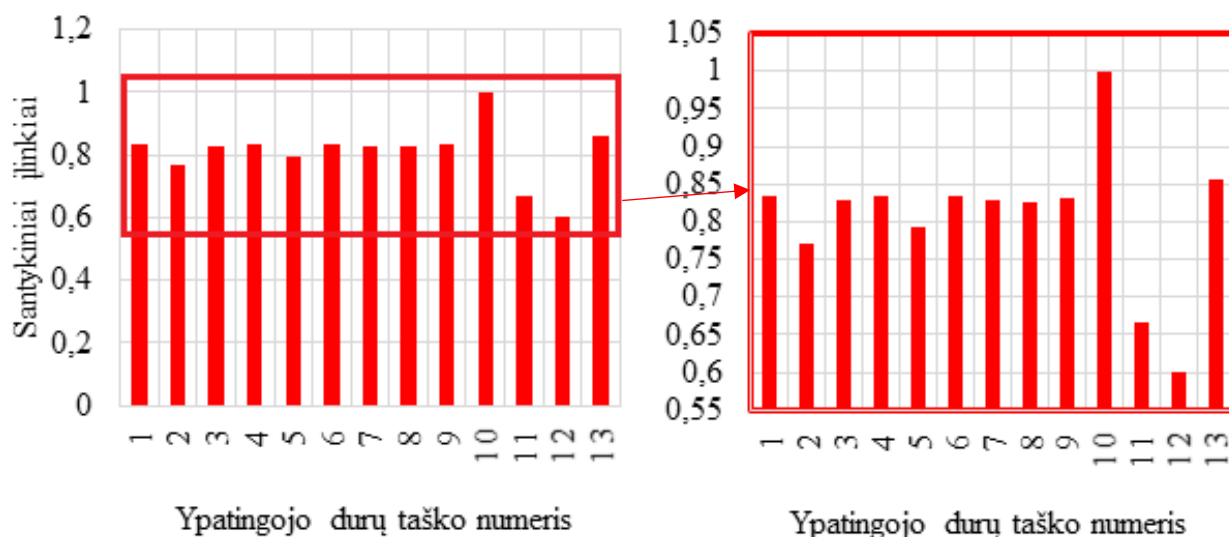
55 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidaranti temperatūrinės deformacijos, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio (▨), „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga, palyginimas

Iš 55 pav. matyti, kad naudojant „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą vietoje „RockWool SeaRox SL 440“ akmens vatos visų ypatingųjų durų taškų temperatūrinės deformacijos padidėjo, t.y. vidutiniškai padidėjo apie 27 mm, tačiau panaudojus „MaxWool“ gamintojo kito tankio vatą (160 kg/m³) rezultatai pagerėjo, t.y. gaunamos geresnės kokybės priešgaisrinės durys, nes beveik visuose ypatinguosiuose taškuose temperatūrinės deformacijos vidutiniškai sumažėjo apie 10 mm.



56 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

Santykiniai įlinkiai (lyginant su skersiniais įlinkiais, gautais, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmens vata) pavaizduoti 56 pav. rodo, kad pakeitus varčios viduje izoliacinę medžiagą į „MaxWool“ 64 kg/m³ tankio vatą ypatingai skersiniai įlinkiai padidėjo 11-ame taške, pastarajame taške temperatūrinės deformacijos padidėjo 5 kartus. Visuose likusiuose ypatinguose taškuose temperatūrinės deformacijos padidėjo tik apie 1,4 – 1,6 karto.



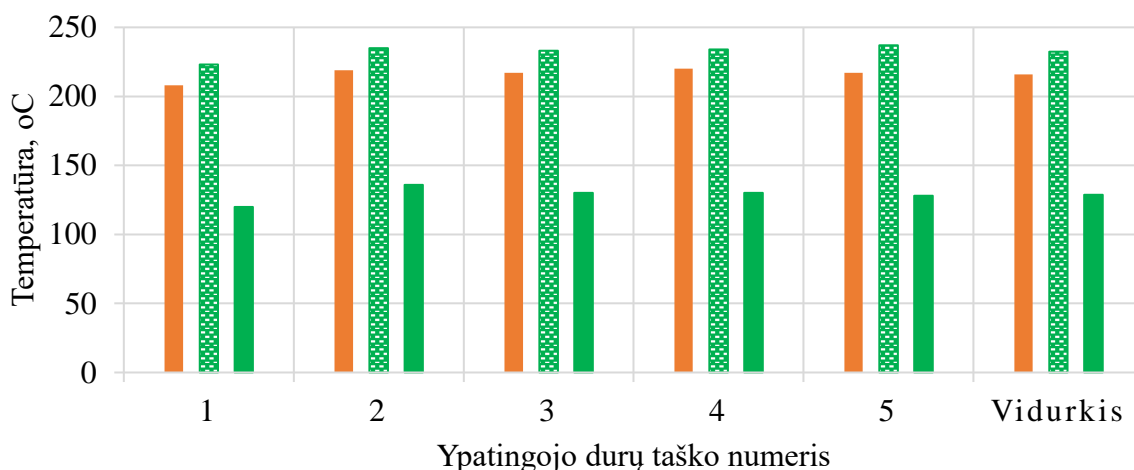
57 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

Varčios viduje pakeitus „RockWool SeaRox SL 440“ izoliacinę medžiagą į „MaxWool“ 160 kg/m³ tankio keramininę vatą gauta, kad santykiniai įlinkiai sumažėjo visuose taškuose išskyrus 10-tą tašką

(žr. 57 pav.). Didžiausias skersinio įlinkio pokytis pastebimas 12-ame ir 11-ame taškuose, čia temperatūrinės deformacijos sumažėjo apie 40%. Tuo tarpu visuose kituose ypatinguose taškuose matuojamos temperatūrinės deformacijos sumažėjo maždaug apie 20%.

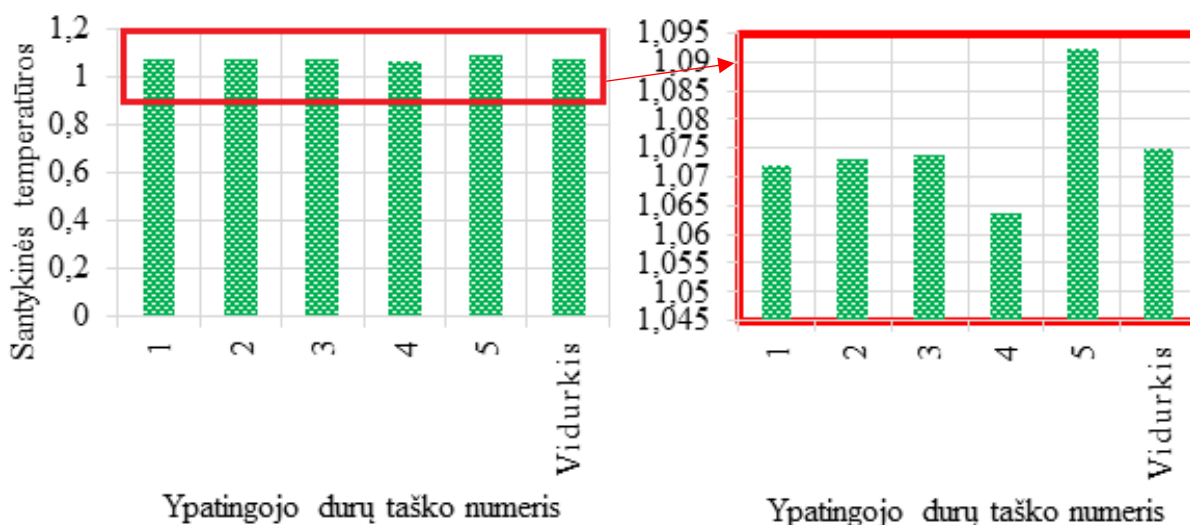
4.2.3. Durų varčios izoliacinė medžiaga – „FireMaster Marine Plus blanket“

Išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros naudojant „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ ir „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą pavaizduotos 58 pav.



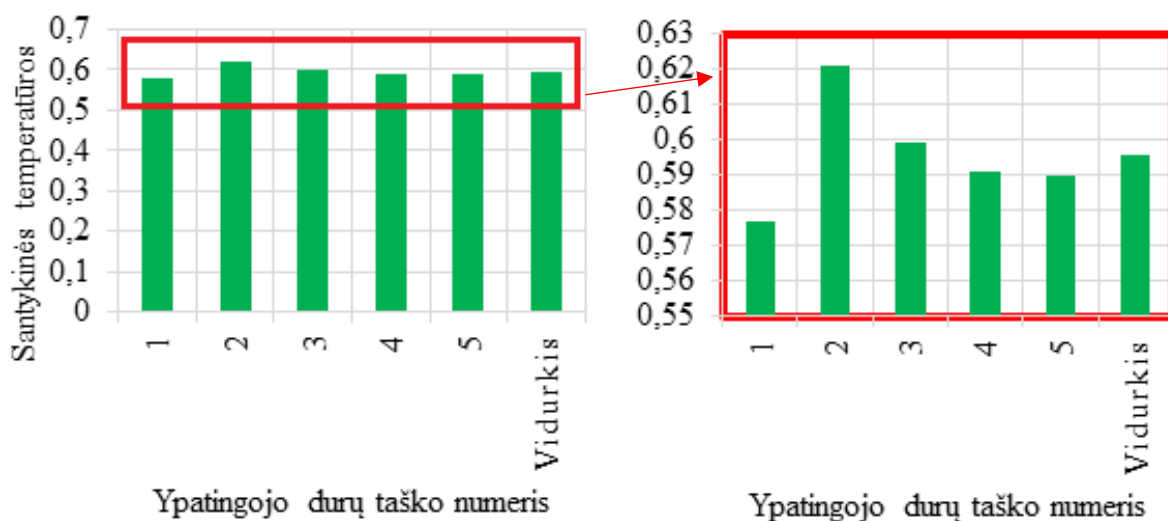
58 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio (▨), „FireMaster Marine Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga palyginimas

Varčios viduje panaudojus „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio vatą (žr. 58 pav.) gaunamos prastesnės kokybės priešgaisrinės durys nei konstrukcija, kurioje naudojama „RockWool SeaRox SL 440“ izoliacinė medžiaga. Visuose ypatinguosiuose taškuose temperatūros padidėjo maždaug apie 16 °C. Tačiau naudojant 128 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą visų ypatingųjų durų taškų temperatūros, jas lyginant su temperatūromis, gautomis naudojant „RockWool SeaRox SL 440“ akmens vatą, sumažėjo beveik dvigubai.



59 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

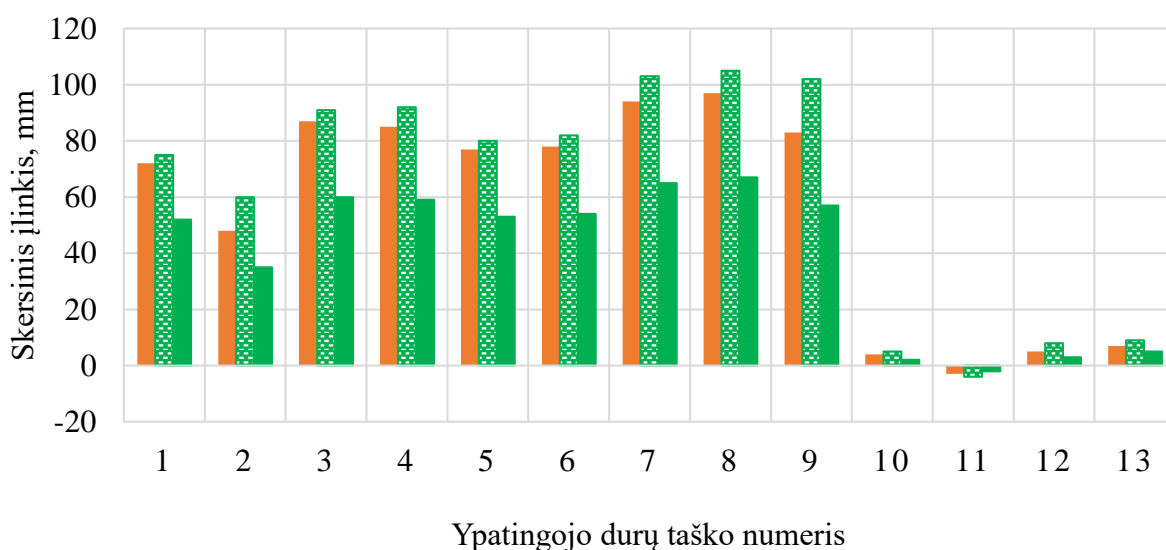
Iš 59 pav. matyti, kad santykinės temperatūros (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmenų vata) ypatinguose taškuose padidėjo. Temperatūros padidėjo ne didelėse ribose t.y. tik apie 6,5% – 9 %.



60 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

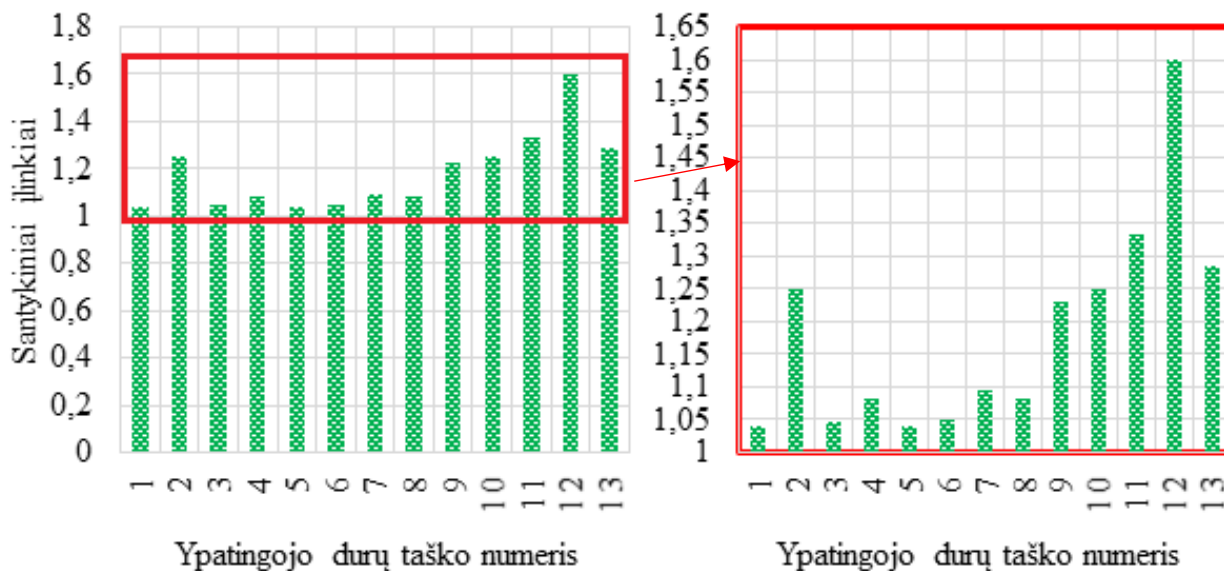
Iš santykinės temperatūros (žr. 60 pav.) matyti, kad naudojant „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio vatą vietoje „RockWool SeaRox SL 440“ akmenų vatos ypatinguose taškuose temperatūros sumažėja apie 38 – 42 %. Didžiausias skirtumas pastebimas 2-ame taške. Pastarajame taške temperatūros reikšmė sumažėja apie 38%, o mažiausias temperatūros pokytis fiksuojamas 1-ame taške, čia temperatūros reikšmė sumažėja apie 42%

Panaudojus „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ ir „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą varčios viduje apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos parodytos 61 pav.



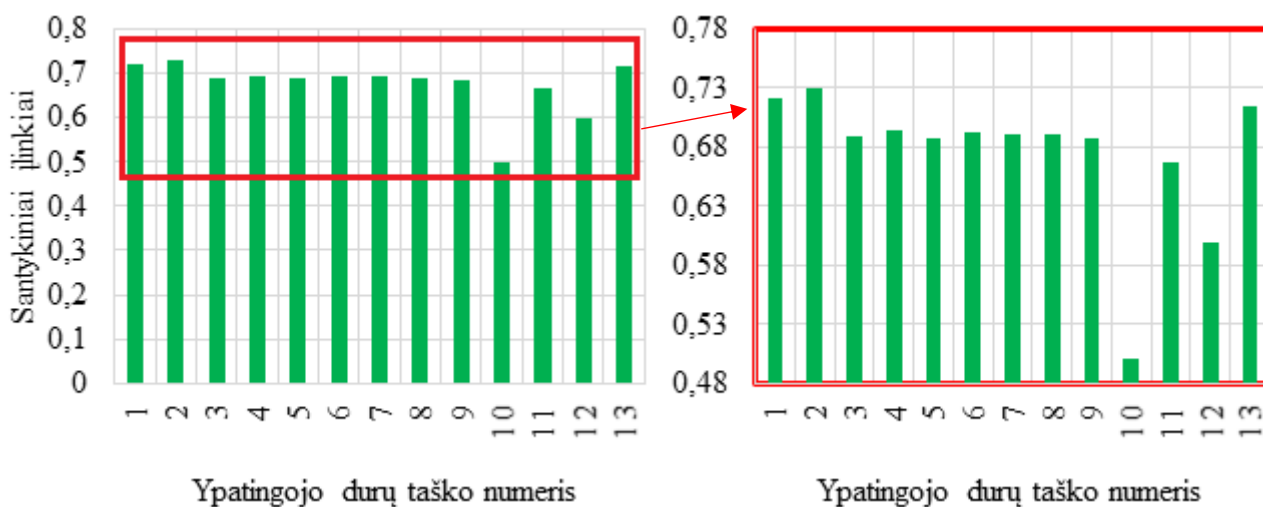
61 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarančios temperatūrinės deformacijos, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio (■), „FireMaster Marine Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio (■) ir „RockWool SeaRox SL 440“ (■) izoliacinė medžiaga palyginimas

Iš 61 pav. matyti, kad naudojant „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio izoliacinę medžiagą visų ypatingųjų durų taškų temperatūrinės deformacijos padidėjo neženkliai (vidutiniškai apie 6 mm). Panaudojus „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio vatą rezultatai pagerėjo t.y. gaunamos geresnės kokybės priešgaisrinės durys, nes visuose ypatinguosiuose taškuose temperatūrinės deformacijos vidutiniškai sumažėjo apie 17 mm.



62 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 64 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

Santykiniai įlinkiai (lyginant su skersiniais įlinkiais, gautais, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmenų vata) pavaizduoti 62 pav. rodo pakeitus varčios viduje izoliacinę medžiagą temperatūrinės deformacijos padidėja. 12-ame taške pastebimas didžiausias pokytis, pastarajame taške temperatūrinės deformacijos padidėjo 1,6 karto. Tuo tarpu 2-ame, 9-ame, 10-ame, 11-ame ir 13-ame taškuose temperatūrinės deformacijos išaugo apie 1,3 karto. Visuose likusiuose taškuose skersiniai įlinkiai padidėjo apie 10%.



63 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai naudojama „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio izoliacinė medžiaga

Iš santykinų įlinkių (lyginant su skersiniais įlinkiais, gautais, kai varčios viduje naudojama „RockWool SeaRox SL440“ akmenų vata) 63 pav. matyti, kad visų ypatingųjų taškų rodikliai mažėjo. 10-ame taške pastebimas didžiausias pokytis, pastarajame taške temperatūrinės deformacijos sumažėjo 0,5 karto. Tuo tarpu ypatinguosiuose taškuose 1 – 9 ir 13-a temperatūrinės deformacijos sumažėjo apie 0,7 karto. 12-ame taške skersiniai įlinkiai sumažėjo apie 0,6 karto.

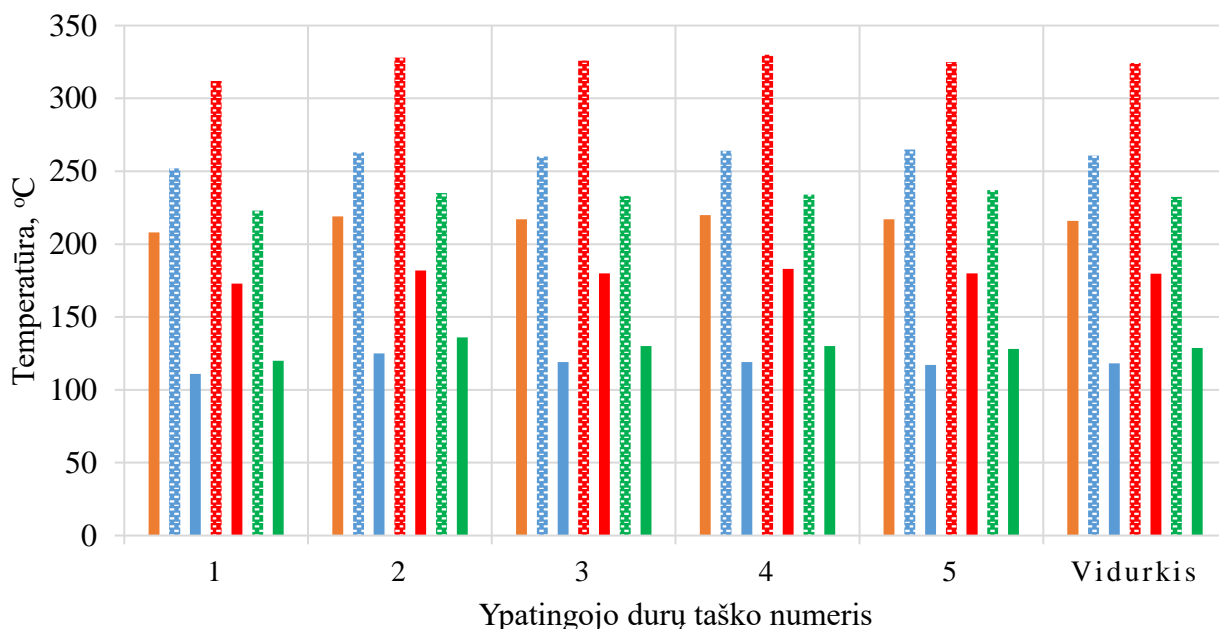
4.2.4. Tyrimo, kai keičiamos durų varčios izoliacinė medžiaga, apibendrinimas

Durų konstrukcijose, kurių sudėtyje naudojamos „SuperWool“ (tankis 64 kg/m³), „MaxWool“ (tankis 64 kg/m³) ir „FireMaster“ (tankis 64 kg/m³) vatos, temperatūra (žr. 64 pav.) ir temperatūrinės deformacijos (žr. 65 pav.) visuose ypatinguose durų taškuose padidėjo. Taigi, šių izoliacinių medžiagų „B-30“ klasės priešgaisrinėse duryse naudoti negalima.

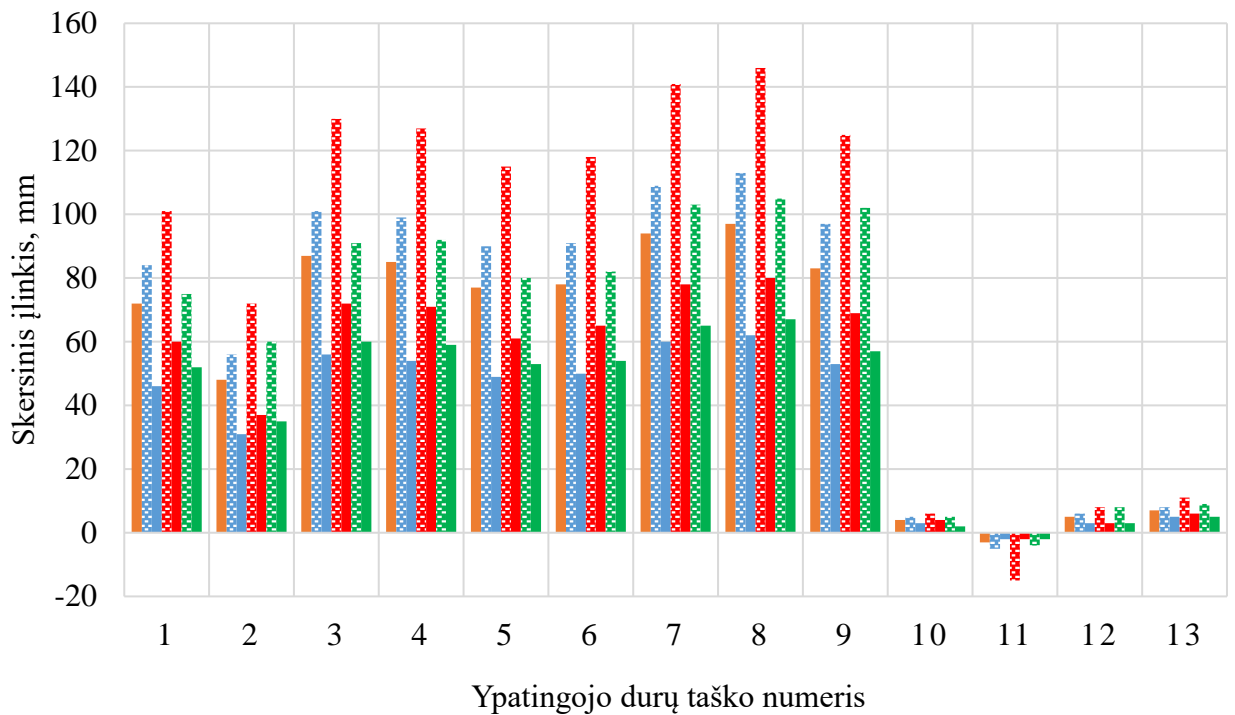
Naudojant „SuperWool“ (tankis 160 kg/m³), „MaxWool“ (tankis 160 kg/m³) ir „FireMaster“ (tankis 128 kg/m³) vatas temperatūra (žr. 64 pav.) ir temperatūrinės deformacijos (žr. 65 pav.) visuose ypatinguose durų taškuose sumažėjo, tačiau „B-30“ klasės durims keliamus temperatūrinius reikalavimus atitinka tik „SuperWool“ ir „FireMaster“ izoliacinės medžiagos.

Varčios modelio matmenys 1032×2114 mm, todėl varčioje reikalingas izoliacinės medžiagos kiekis maždaug – 2,18 m³. „SuperWool Plus blanket“ ir „FireMaster Marine Plus blanket“ izoliacinės medžiagos parduodamos rulonais. Vieno rulono išmatavimai: 610×4880 mm (2,97 m³). „SuperWool“ 160 kg/m³ tankio rulono kaina: 71,9 eurai, o „FireMaster“ 128 kg/m³ tankio rulono kaina: 55,41 eurai.

Taigi, atlikti skaitinio tyrimo rezultatai parodė, kad priešgaisrinių durų varčioje reiktu naudoti „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio keraminę vatą, nes „FireMaster Marine Plus blanket“ izoliacinės medžiaga 1,29 karto pigesnė už „SuperWool Plus blanket“ izoliacinę medžiagą.



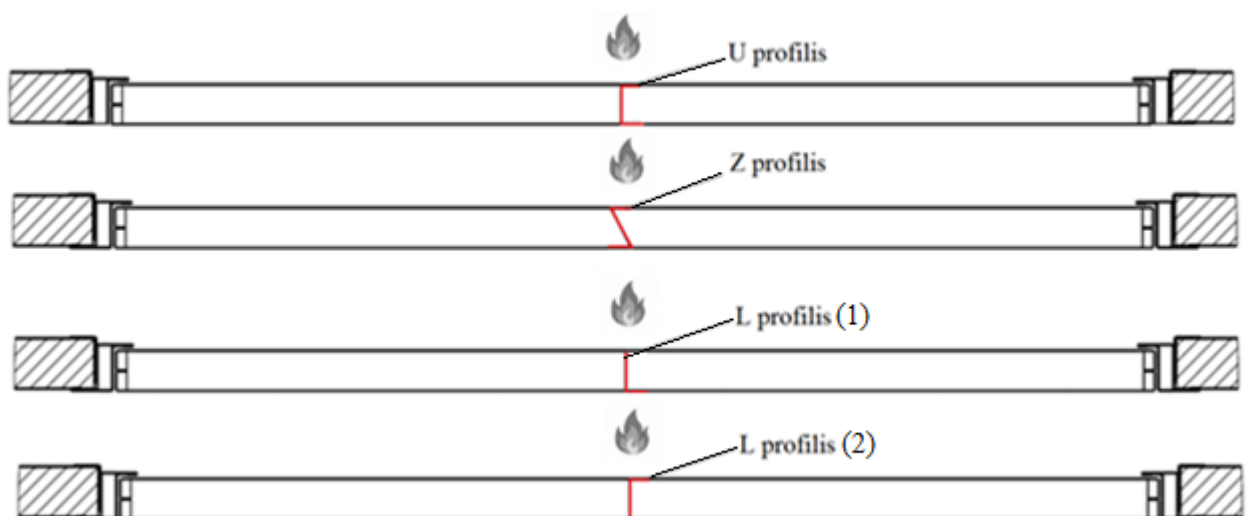
64 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) gautų temperatūros rezultatų palyginimas keičiant varčios izoliacinę medžiagą (■ – „RockWool SeaRox SL 440“ 150 kg/m³; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³; ■ – „MaxWool“ 64 kg/m³; ■ – „MaxWool“ 160 kg/m³; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 64 kg/m³; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 128 kg/m³)



65 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30b pav.) gautų temperatūrinių deformacijų rezultatų palyginimas keičiant varčios izoliacinę medžiagą (■ – „RockWool SeaRox SL 440“ 150 kg/m³; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 64 kg/m³; ■ – „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³; ■ – „MaxWool“ 64 kg/m³; ■ – „MaxWool“ 160 kg/m³; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 64 kg/m³; ■ – „FireMaster Marine blanket“ 128 kg/m³)

4.3. Durų varčios viduje naudojamo standumo profilio įtaka

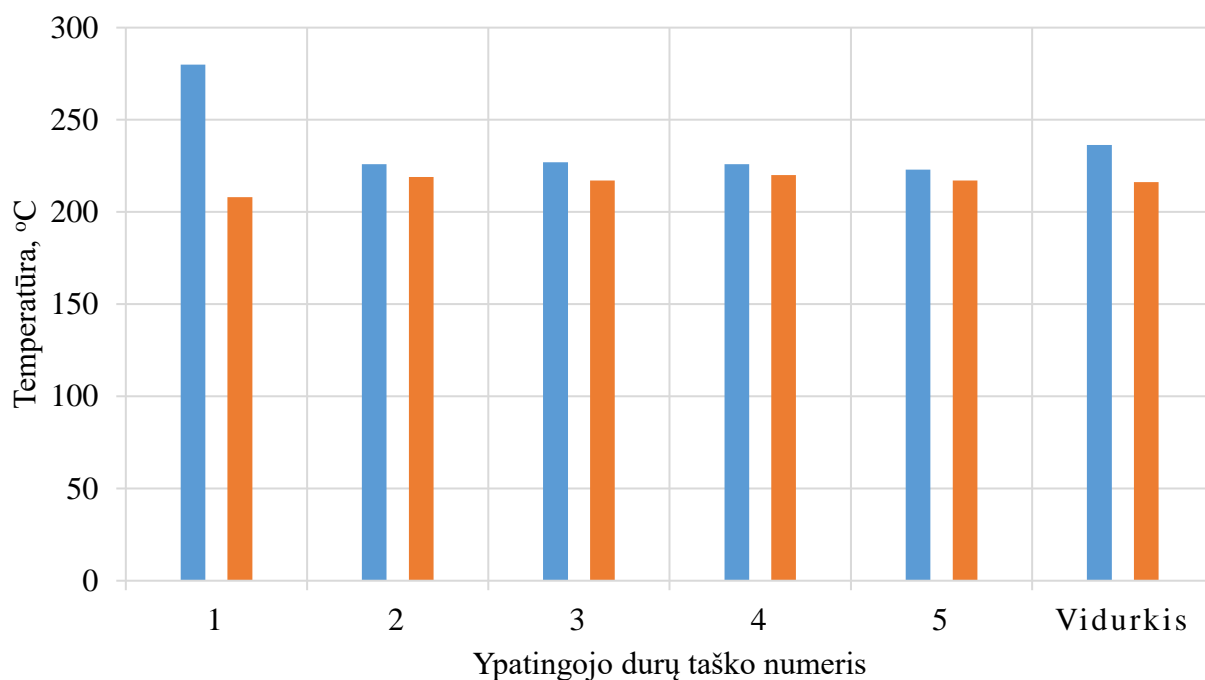
Tirsime kokią įtaką priešgaisrinėms durims turi varčios viduje papildomai įdėti skirtingo tipo standumo profiliai. Visi standumo profiliai iš galvanizuoto plieno 1,0 mm yra storio. Naudosime sekančius profilius: U, Z ir L (žr. 66 pav.).



66 pav. Priešgaisrinių durų konstrukcijose naudojami standumo profiliai

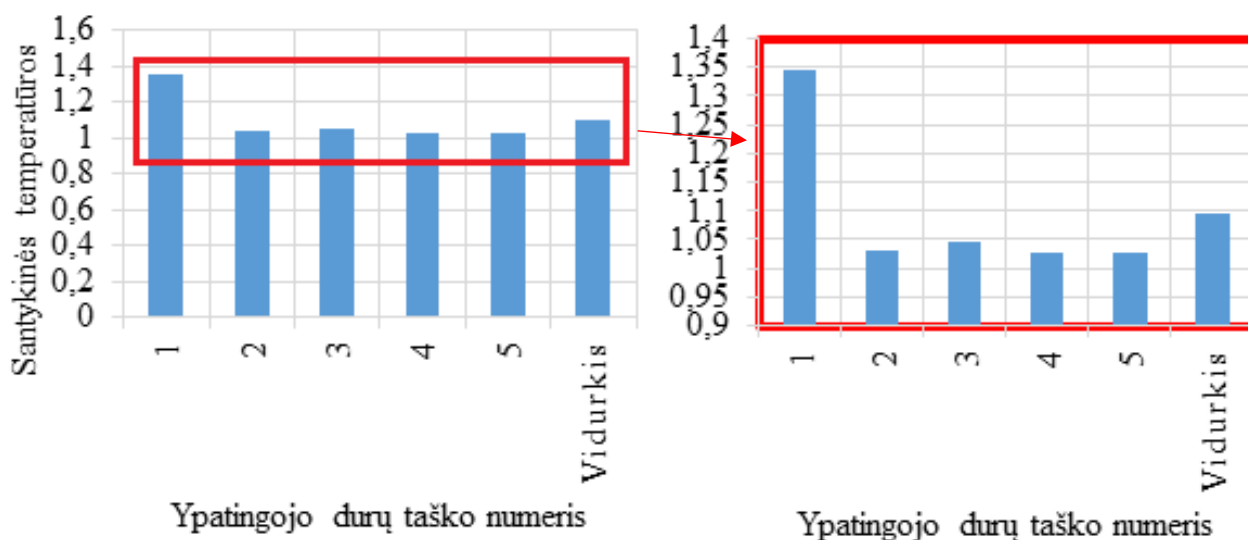
4.3.1. U formos standumo profilis

Priešgaisrinių durų varčios viduje, išorinėje durų pusėje panaudojus U formos standumo profilį apskaičiuotos temperatūros pavaizduotos 67 pav.



67 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U (■) ir nėra profilio (■), palyginimas

Iš 67 pav. matyti, kad panaudojus standumo profilį U matuojamos temperatūros ypatinguosiuose taškuose neženkliai padidėjo, išskyrus 1-ą tašką. Vidutiniškai visuose taškuose temperatūros padidėjo apie 20 °C.

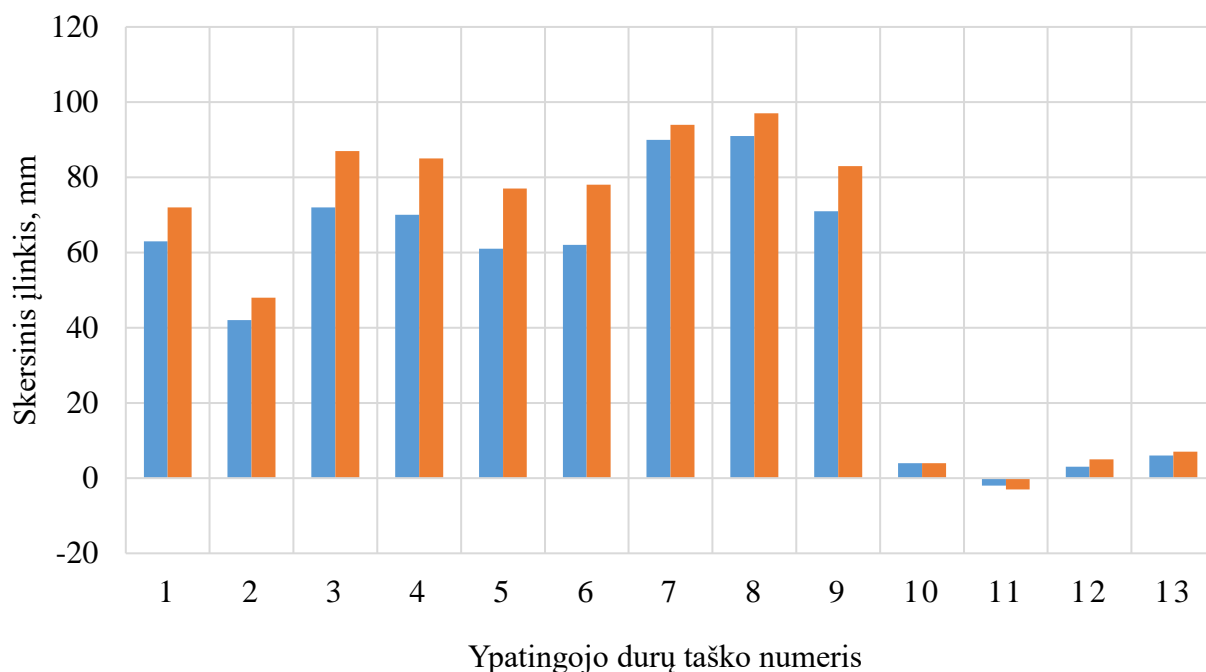


68 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U

Lyginant konstrukcijos modelį be standumo profilio su U standumo profiliu varčios viduryje (žr. 68 pav.) matyti, kad daugiausiai temperatūra išaugo 1-ame taške, pastarajame taške temperatūra padidėjo

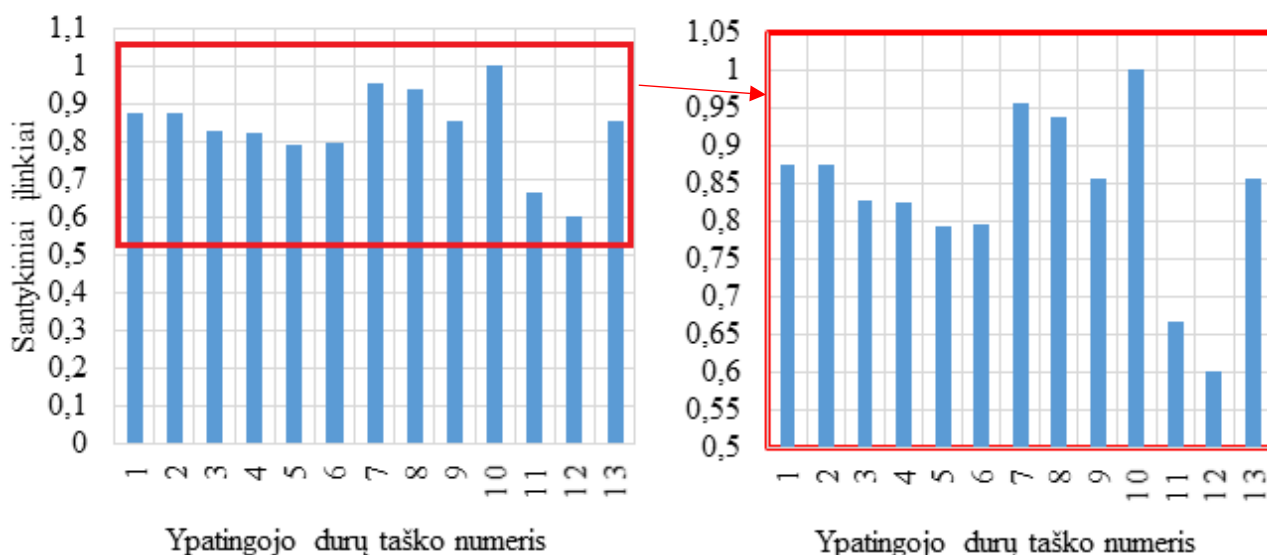
apie 1,35 karto. Kiek mažesni temperatūros šuoliai gauti visuose kituose taškuose. 2 – 5 ypatinguosiuose taškuose temperatūros padidėjo maždaug apie 1,03 karto.

Panaudojus standumo profilį U varčios viduje apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos parodytos 69 pav.



69 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarančios temperatūrinės deformacijos kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U (■) ir nėra profilio (■) palyginimas

Iš 69 pav. matyti, kad atlikus skaitinį tyrimą temperatūrinės deformacijos beveik visuose taškuose sumažėjo. Vidutiniškai skersiniai įlinkiai sumažėjo apie 8 mm.



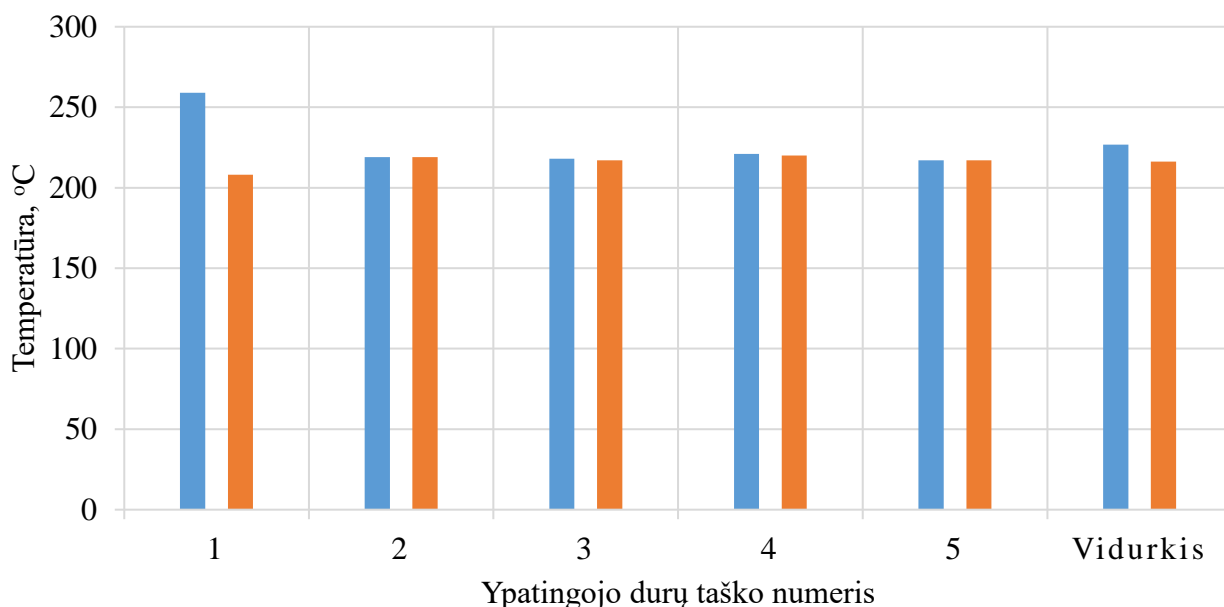
70 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis U

70 pav. matyti, kad varčios viduje panaudojus standumo profilį U 10-ame taške pokytis nefiksuoja. 7-ame ir 8-tame taškuose temperatūrinės deformacijos sumažėjo apie 5% lyginant su

modeliu be standumo profilio. Didžiausias skersinio įlinkio pokytis pastebimas 12-ame ir 11-ame taškuose, čia temperatūrinės deformacijos sumažėjo apie 35% – 40%. Tuo tarpu visuose kituose ypatinguose taškuose matuojamos temperatūrinės deformacijos sumažėjo maždaug apie 15% – 20%.

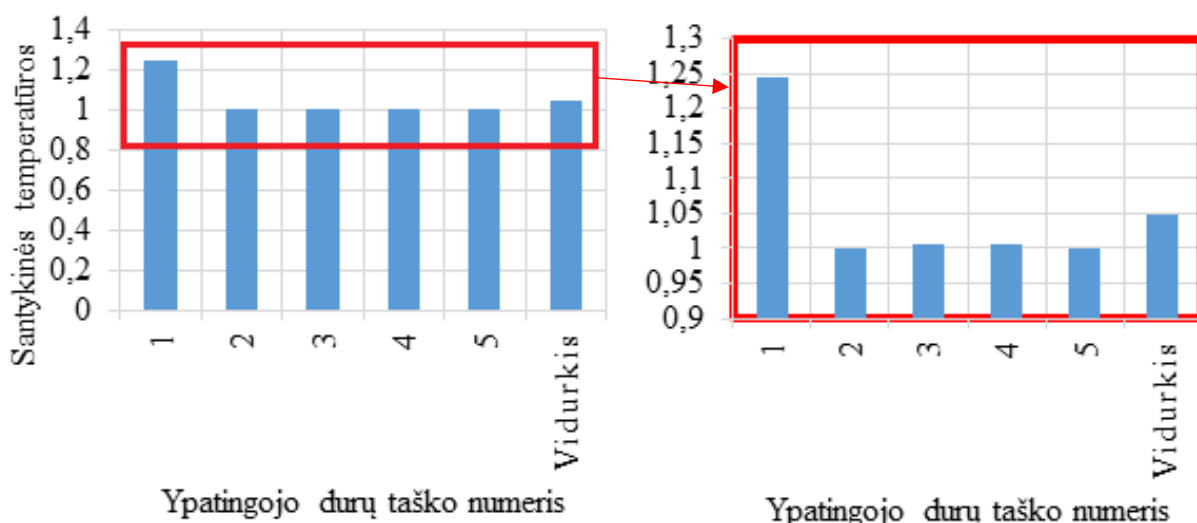
4.3.2. Z formos standumo profilis

Priešgaisrinių durų varčios viduje panaudojus Z formos standumo profilį išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros pavaizduotos 71 pav.



71 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z (■) ir nėra profilio (■), palyginimas

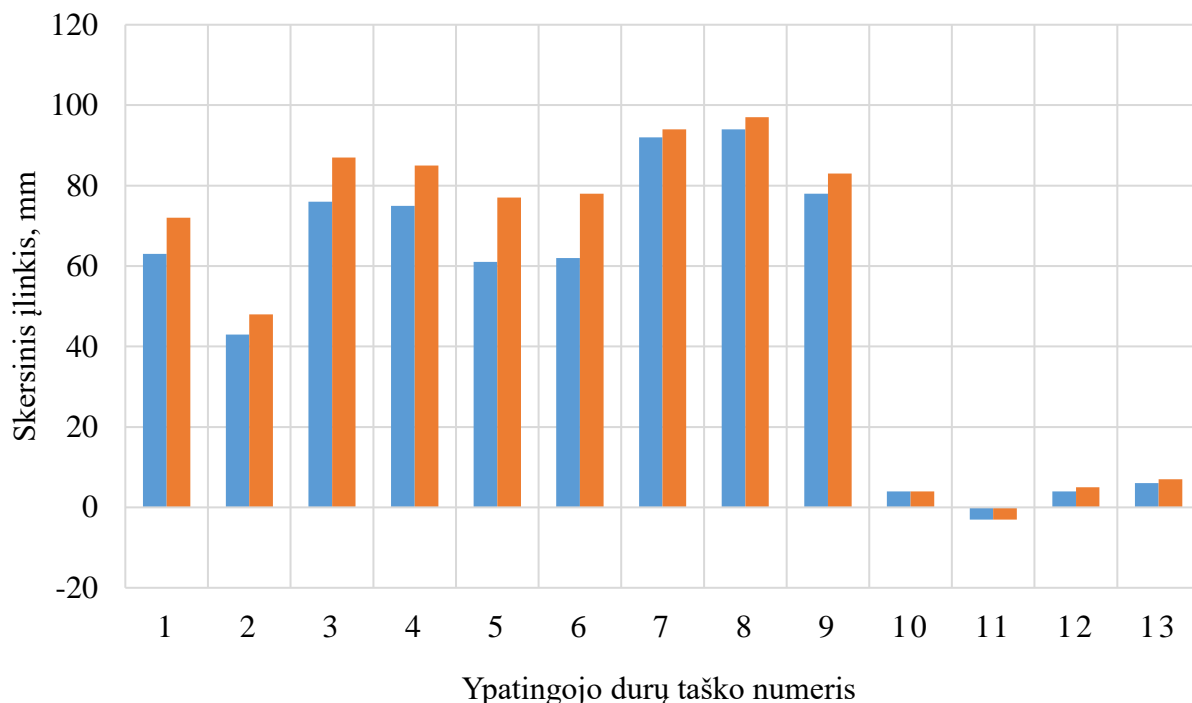
Sekančiame skaitiniame tyrime pasirinktas Z profilis turėjo panašią įtaką priešgaisrinių durų konstrukcijai, kaip ir U standumo profilis. Iš 71 pav. matyti, kad panaudojus Z standumo profilį matuojamos temperatūros ypatinguosiuose taškuose neženkiai padidėjo išskyrus 1-ą tašką. Vidutiniškai visuose taškuose temperatūros padidėjo apie 10 °C.



72 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinės temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z

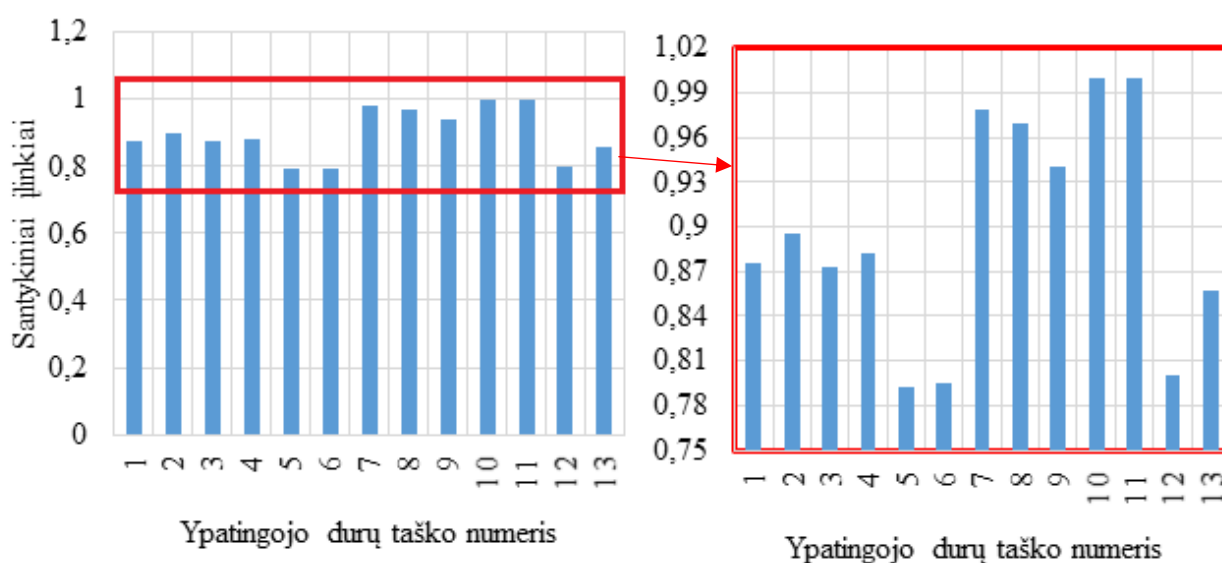
Iš 72 pav. aiškiai matyti, kad naudojant standumo profilį Z daugiausiai temperatūra padidėjo 1-ame taške, jame temperatūra padidėjo apie 1,25 karto. Visuose kituose taškuose temperatūros nepadidėjo daugiau nei per vieną laipsnį lyginant su konstrukcija be standumo profilio.

Panaudojus standumo profilį Z varčios viduje, apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos parodytos 73 pav.



73 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidaranti temperatūrinės deformacijos, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z (■) ir nėra profilio (■) palyginimas

Iš 73 pav. matyti, kad panaudojus standumo profilį Z varčios viduje beveik visi ypatingųjų taškų rodikliai sumažėjo. Vidutiniškai skersiniai įlinkiai sumažėjo apie 6 mm.

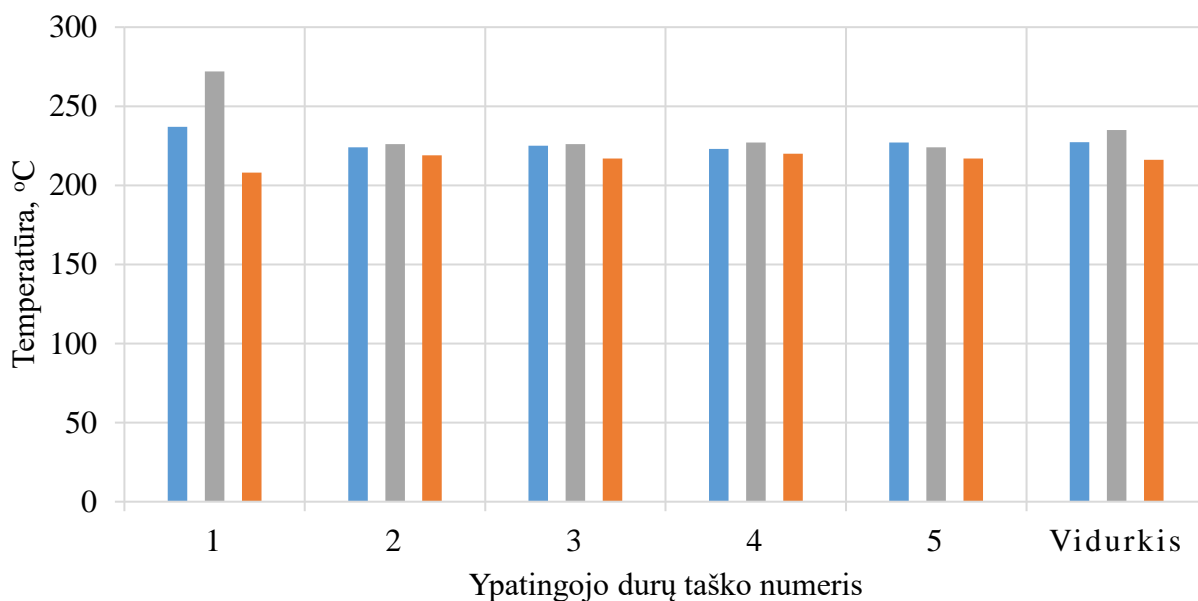


74 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis Z

Iš 74 pav. matyti, kad santykiniai įlinkiai sumažėjo visuose taškuose, išskyrus 10-tą ir 11-tą taškus, čia deformacijos išliko nepakitusios. 7 – 9 taškuose temperatūrinės deformacijos sumažėjo mažiau nei per 1%, lyginant su modeliu be standumo profilio. Didžiausias skersinio įlinkio pokytis pastebimas 5-ame, 6-tame ir 12-ame taškuose, čia temperatūrinės deformacijos sumažėjo apie 20%. Tuo tarpu visuose kituose ypatinguose taškuose matuojamos temperatūrinės deformacijos sumažėjo maždaug apie 10% – 13%.

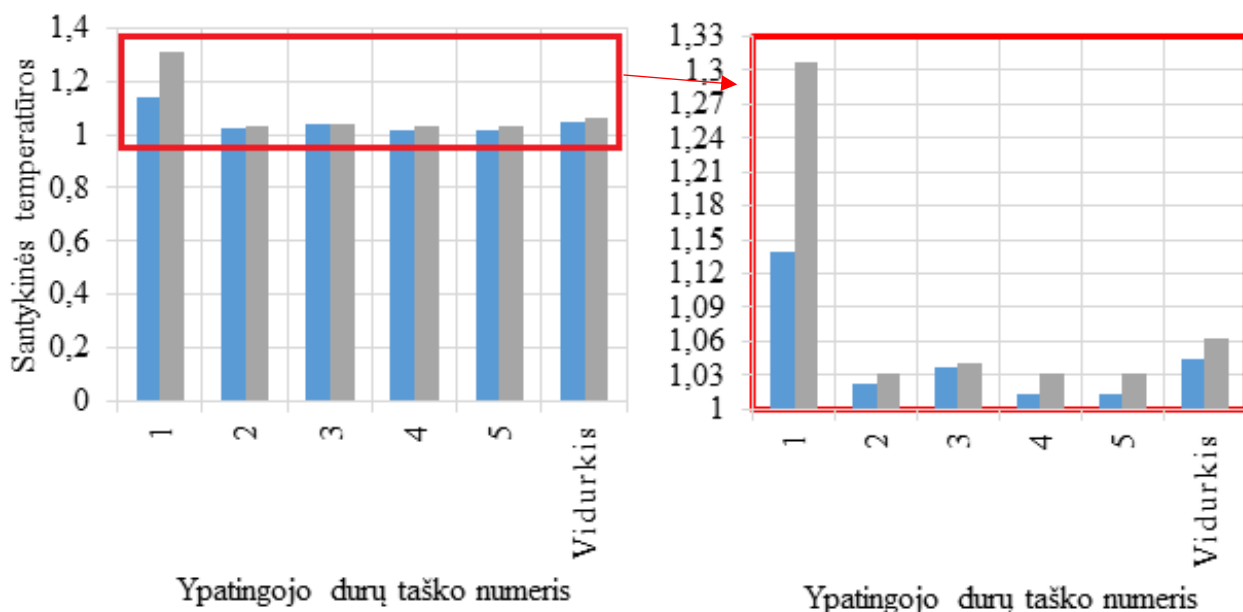
4.3.3. L formos standumo profilis

Priešgaisrinių durų varčios viduje panaudojus L formos standumo profilį išorinėje durų pusėje apskaičiuotos temperatūros pavaizduotos 75 pav.



75 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) kylančios temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■), L(2) (■) ir nėra profilio (■) palyginimas

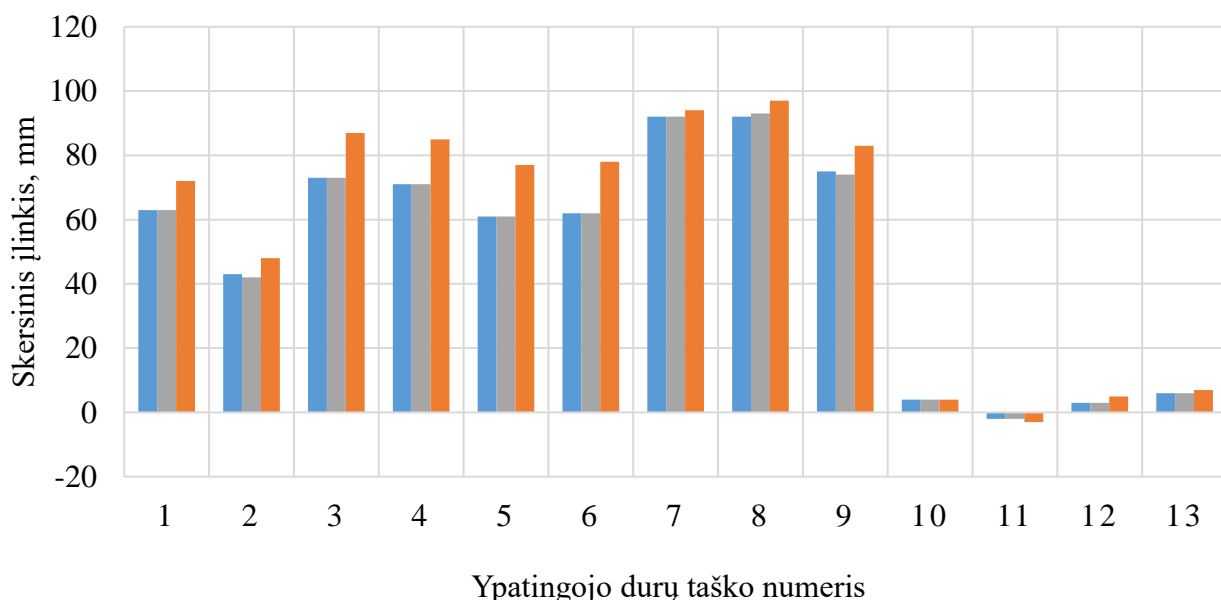
Panaudojus L standumo profilį dviem skirtingais būdais gauti rezultatai panašūs į prieš tai tirtus profilius. Iš 75 pav. matyti, kad naudojant standumo profilį L(1) temperatūra vidutiniškai pakilo apie 11 °C, o naudojant profilį L(2) apie 19 °C.



76 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30a pav.) santykinių temperatūros, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■) ir L(2) (■)

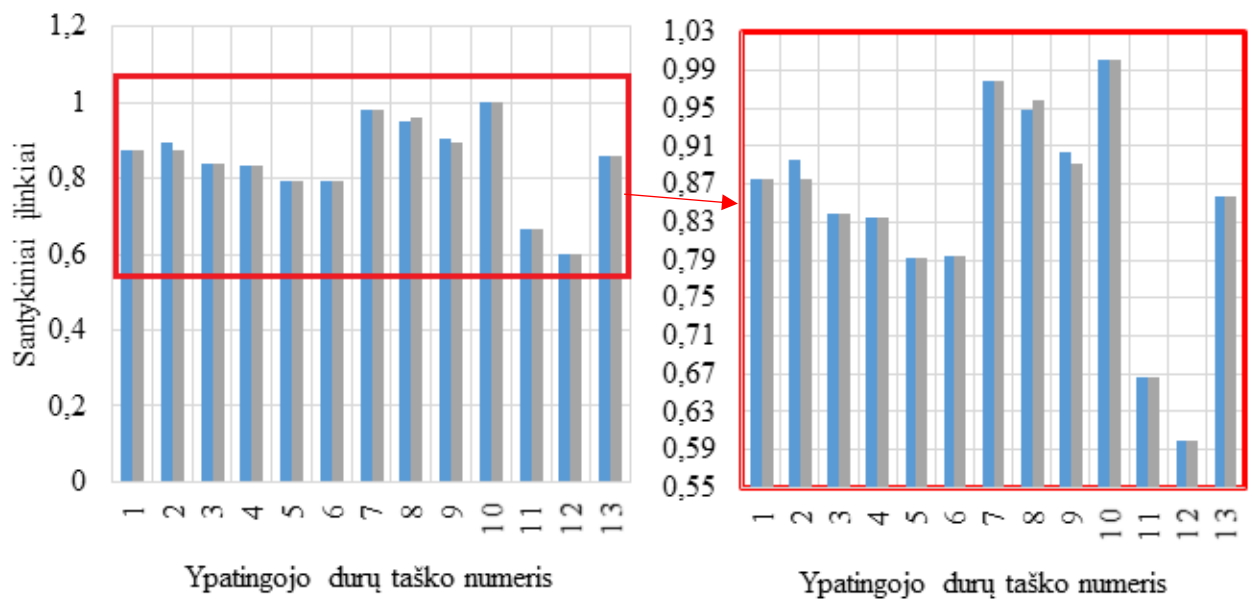
Santykinių temperatūros (lyginant su temperatūromis, gautomis, kai varčios viduje standumo profilio nėra) pavaizduotos 76 pav. rodo, kad daugiausiai temperatūra padidėjo 1-ame taške, pastarajame taške naudojant profilį L(1) temperatūra padidėjo apie 1,14 karto, o naudojant profilį L(2) temperatūra padidėjo apie 1,3 karto. Mažesni temperatūros šuoliai gauti visuose kituose taškuose t.y. tik apie 1,02 – 1,03 karto, panaudojus standumo profilį L bet kuria kryptimi.

Panaudojus standumo profilį L varčios viduje apskaičiuotos temperatūrinės deformacijos parodytos 77 pav.



77 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) susidarancios temperatūrinės deformacijos, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■), L(2) (■) ir nėra profilio (■) palyginimas

77 pav. matyti, kad bet kuria kryptimi naudojant L standumo profilį varčios viduje beveik visi ypatingųjų taškų rodikliai sumažėjo. Vidutiniškai skersiniai įlinkiai sumažėjo apie 7 mm.

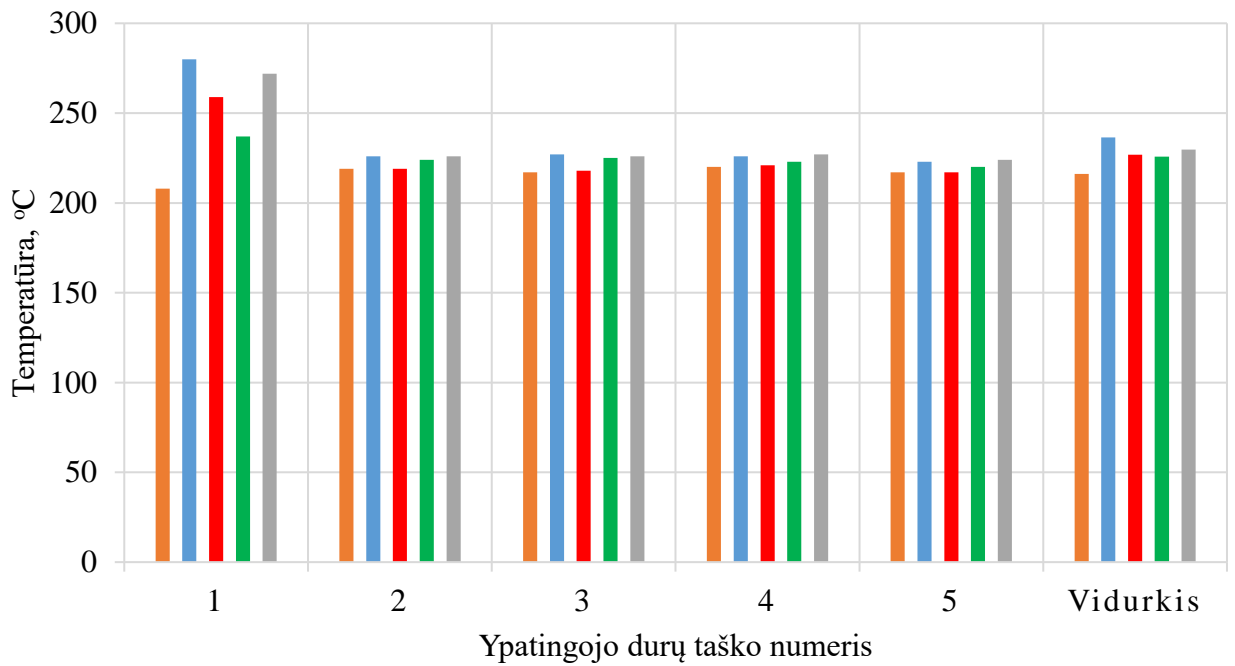


78 pav. Ypatinguose durų taškuose (žr. 30b pav.) santykiniai įlinkiai, kai varčios viduje naudojamas standumo profilis L(1) (■) ir L(2) (■)

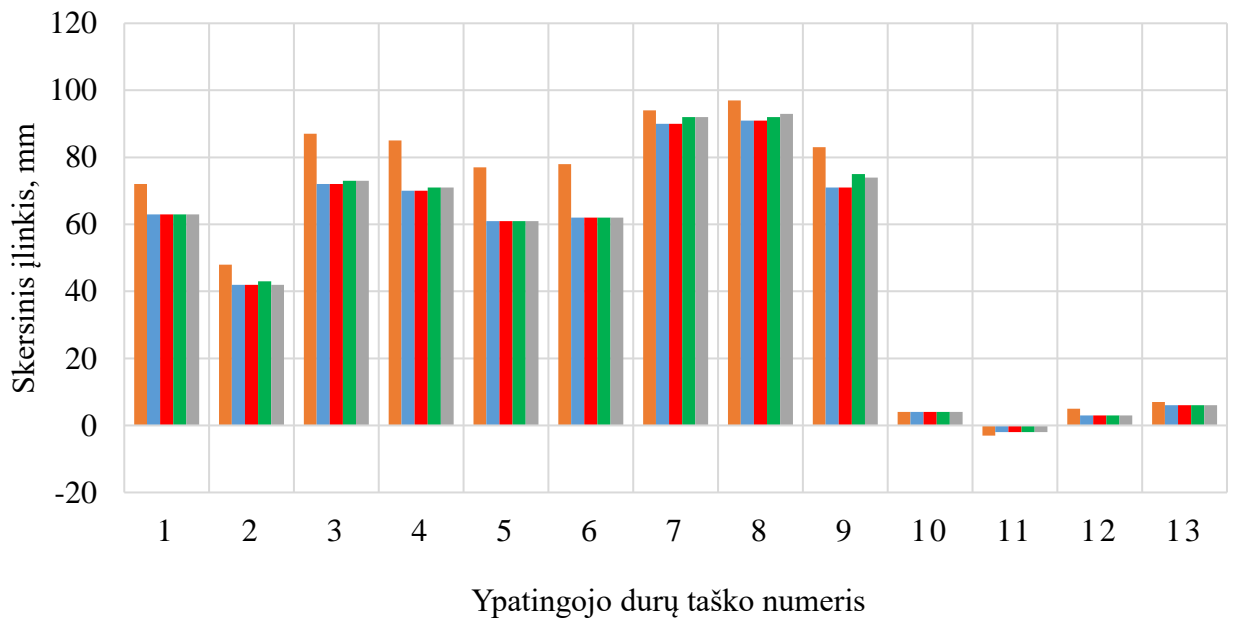
Santykiniai įlinkiai (lyginant L(1) ir L(2) su temperatūrinėmis deformacijomis, gautomis, kai varčios viduje standumo profilio nėra) pavaizduoti 78 pav. Matyti, kad santykiniai įlinkiai sumažėjo visuose taškuose išskyrus 10-tą tašką. Mažiausias pokytis matomas 7 – 9 taškuose, čia temperatūrinės deformacijos sumažėjo maždaug tik per 3%. Didžiausias skersinio įlinkio pokytis pastebimas 11-ame ir 12-ame taškuose, čia temperatūrinės deformacijos sumažėjo apie 33% – 40%. Tuo tarpu visuose kituose ypatinguose taškuose matuojamos temperatūrinės deformacijos sumažėjo maždaug apie 12% – 20%.

4.3.4. Tyrimo, kai durų varčios viduje naudojamas standumo profilis, apibendrinimas

Atlikto skaitinio tyrimo rezultatai parodė, kad temperatūra ir temperatūrinės deformacijos ypatinguose taškuose keičiasi dėl durų varčioje naudojamų papildomų standumo profilių. Skaitinio tyrimo metu nustatyta, kad visose naujose konstrukcijose temperatūra padidėjo (žr. 79 pav.), o skersiniai įlinkiai sumažėjo (žr. 80 pav.) lyginant su trečiame skyriuje sukurtu modeliu, kuris neturi standumo profilių. Taigi, galime teigti, kad papildomos standumo dalys gali daryti tiek teigiamą tiek neigiamą įtaką gaminiui gaisro metu: temperatūra ypatingajame taške didėti, o skersiniai įlinkiai mažėti. Nei vienas sudarytas durų modelis neatitiko „B-30“ klasės keliamų reikalavimų dėl per didelių susidarantių temperatūrų ypatinguosiuose taškuose.



79 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30a pav.) gautų temperatūros rezultatų palyginimas panaudojant varčios viduje skirtingos formos standumo profilius (■ – Be standumo profilio; ■ – U standumo profilis; ■ – Z standumo profilis; ■ – L(1) standumo profilis; ■ – L(2) standumo profilis)



80 pav. Ypatinguose taškuose (žr. 30b pav.) gautų temperatūrinių deformacijų rezultatų palyginimas panaudojant varčios viduje skirtingos formos standumo profilius (■ – Be standumo profilio; ■ – U standumo profilis; ■ – Z standumo profilis; ■ – L(1) standumo profilis; ■ – L(2) standumo profilis)

Išvados

1. Nustatyta, kad darbe naudoti priešgaisrinių durų modelio supaprastinimai (pašalinti tokie durų elementai, kaip spyna, rankena, vyriai; durų angos apvadas, stakta ir sienos paviršiai yra sujungiami į vieną kūną; spynos bei vyrių dalys, kurios kontaktuoja su stakta ir varčia, pakeistos standžiais ryšiais; tarp besiliečiančių paviršių šilumos laidumo nuostolių nėra, o besiliečiantys kūnai laikomi standžiai sujungti) priimtini, nes BEM gauti rezultatai pakankamai gerai sutampa su duomenimis, gautais atlikus eksperimentą priešgaisrinių durų tyrimo laboratorijoje. Sprendžiant nusistovėjusį temperatūrinį uždavinį ir statinį kieto kūno mechanikos uždavinį BEM, atitinkamai gauta:

- vidutinių temperatūrų, kylančių priešgaisrinių durų ypatinguose taškuose, paklaida apie 7% (didžiausia paklaida – 15 %);
- vidutinių temperatūrinių deformacijų priešgaisrinių durų ypatinguose taškuose paklaida apie 11% (didžiausia paklaida – 100 %; srityse, kuriose gaunama labai didelė paklaida, niekada nepasiekiamas temperatūrinių deformacijų ribinis būvis. Pavyzdžiui, modeliuojant gaunama 4 mm deformacija, o laboratorinių testų metu nustatyta 2 mm deformacija, tačiau leistina deformacija yra 70 mm).

2. Varčios galvanizuoto plieno storis turi nedidelę įtaką durų ypatinguose taškuose kylančioms temperatūroms ir temperatūrinėms deformacijoms. Storinant plieno lakštą nuo 0,6 mm iki 2,0 mm vyrių bei abiejose varčios pusėse temperatūra ir temperatūrinės deformacijos vidutiniškai padidėja apie 1,11 karto. Tačiau, storinant skardą atraminėje varčios pusėje nuo 0,6 mm iki 2,0 mm temperatūros ir temperatūrinės deformacijos sumažėja apie 1,04 karto, t. y. praktiškai nekinta.

3. Nustatyta, kad norint gauti „B-30“ klasės keliamus reikalavimus, durų konstrukcijoje vietoje „RockWool SeaRox SL 440“ izoliacinės medžiagos reikia naudoti „FireMaster Marine Plus blanket“ 128 kg/m³ tankio arba „SuperWool Plus blanket“ 160 kg/m³ tankio keramikinę vatą. Tačiau rekomenduojama naudoti „FireMaster Marine Plus blanket“, nes ši izoliacinė medžiaga 1,29 karto pigesnė už „SuperWool Plus blanket“ izoliacinę medžiagą.

4. Naudojant papildomą standumo profilį varčioje (profilis tvirtinamas varčios viduryje) gaunama tiek teigiama, tiek neigiama įtaka priešgaisrinių durų konstrukcijai. Nustatyta, kad panaudojus standumo profilį temperatūra išorinėje durų varčios pusėje vidutiniškai išauga (neigiamas poveikis) nuo 10 °C iki 20 °C, o temperatūrinės deformacijos vidutiniškai sumažėja (teigiamas poveikis) 6 – 10 mm ribose.

Informacijos šaltinių sąrašas

1. GUOBYŠ, Remigijus. (2014). *Sluoksniuotųjų konstrukcijų tyrimas gaisro sąlygomis: daktaro disertacija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. - Vilnius: VGTU leidykla „Technika“, 150 p.
2. GUOBYŠ, R.; Vekteris, V.; Moksins, V. Investigation and simulation of temperature changes and thermal deformations of multilayered structure with gypsum plate. *Mechanics* [interaktyvus]. June, 2012, vol. **18**(3), 306-310 [žiūrėta 2020-01-03]. doi: <https://doi.org/10.5755/j01.mech.18.3.1878>.
3. MOCANITA, O., CHICET, D., ISTRATE, B., MICU, C., MUNTEANU, C. Investigation of Thermal Behavior of Multilayered Fire Resistant Structure. *Journal of Engineering Science and Technology* [interaktyvus]. July, 2019, vol. **11**(9), 1333-1343 [žiūrėta 2020-01-07]. doi: 10.1088/1757-899X/572/1/012052.
4. CAPOTE, J.A., ALVEAR, D., ABREU, O., LAZARO, M., BOFFILL, Y., MANZANARES, A., MAAMAR, M. Assessment of Physical Phenomena Associated to Fire Doors During Standard Tests. *Fire Technology* [interaktyvus]. May, 2013, vol. **49**, 357-378 [žiūrėta 2020-01-11]. doi: 10.1002/fam.2365.
5. MORO, Luciano., BOSCARIOL, Paolo., DE BONA, Francesco., GASPERETTO, Alessandro., SERNEC NOVAK, Jelena. Innovative Design of Fire Doors: Computational Modeling and Experimental Validation. *Fire Technology* [interaktyvus]. May 2017, vol. **53**, 1833-1846 [žiūrėta 2020-01-08]. doi: 10.1007/s10694-017-0658-y.
6. BOZZOLO, A., FERRANDO, C., TONELLI, A., CABELLA, E. Numerical Methodology for Thermal-Mechanical Analysis of Fire Doors. *10th European LS-DYNA Conference*. Germany: Copyright by DYNAmore GmbH, 2015.
7. WU Xin, LIU, Jian-youn, ZHAO, Xia, YANG, Zhan, XU, Ran. Study of the Fire Resistance Performance of a Kind of Steel Fire Door. *Procedia Engineering* [interaktyvus]. February, 2013, Vol. **52**, 440-445 [žiūrėta 2020-01-09]. doi: 10.1016/j.proeng.2013.02.166.
8. Kontogeorgos, D., Founti, M. (2010). Numerical Investigation of Simultaneous Heat and Mass Transfer Mechanisms Occurring in a Exposed to Fire Conditions. *Applied Thermal Engineering* [interaktyvus]. August, 2010, vol. **30**(11-12), 1461-1469 [žiūrėta 2020-01-08]. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.03.006.
9. KONTOTHEORGOS, D.A., MANDILARAS, I.D., FOUNTI, M.A. Fire behavior of regular and latent heat storage gypsum boards. *Fire and Materials* [interaktyvus]. March, 2014, vol. **39**(5) [žiūrėta 2020-01-08]. doi: 10.1002/fam.2246.
10. ZHANG, Shawen, LI, Chong, MIAO, Hong, ZHANG, Jianfeng, ZHANG, Haijun. Design and Thermal Analysis of the Large Fire Door for AP1000 Nuclear Reactor. *Journal of Fire Sciences* [interaktyvus]. April, 2019, vol. **29**, 122-130 [žiūrėta 2020-01-09]. doi: 10.1007/s11630-019-1138-0.
11. BOSCARIOL, Paolo, DE BONA, Francesco, GASPARETTO, Alessandro, MORO, Luciano. Thermo-mechanical analysis of a fire door for naval applications. *Journal of Fire Sciences* [interaktyvus]. January, 2015, vol. **33**(2), 142-156 [žiūrėta 2020-01-08]. doi: 10.1177/0734904114564955.
12. TABADDOR, Mahmood, GANDHI, Pravinray D., JONES, Gerald. Thermo-mechanical Analysis of Fire Doors Subjected to a Fire Endurance Test. *Journal of Fire Protection*

- Engineering* [interaktyvus]. February, 2009, vol. **19**(1), 51-71 [žiūrėta 2020-01-10]. doi: 10.1177/1042391508098899.
13. KEERTHAN, Poologamathan, MAHENDRAN, Mahen. Thermal Performance of Composite Panels under Fire Conditions Using Numerical Studies: Plasterboards, Rockwool, Glass Fibre and Cellulose Insulations. *Fire Technology* [interaktyvus]. May, 2012, vol. **49**(2), 329-356 [žiūrėta 2020-02-08]. doi: 10.1007/s10694-012-0269-6.
 14. SEIF, M S., MAIN, J A., SADEK, F H. Behavior of structural steel moment connections under fire loading. Conference „Proceedings of the Annual Stability“, March 24-27, 2015, Nashville, Tennessee.
 15. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). *2010 Fire Test Procedures (FTP) Code*. London, 2012 [žiūrėta 2020-01-04]. Prieiga per: <http://detwintiger.financieringenvan.nl/read/geschrieben-von-international-maritime-organization-ftp-code-2010-international-code-for-application-of-fire-test-procedures-2012-edition.pdf/>
 16. GALVANIZED STEEL STAINLESS STEEL. USA, 2015 [žiūrėta 2020-01-13]. Prieiga per: https://thermallybrokensteelusa.com/wp-content/uploads/2015/10/Material_Data_Sheet-Thermally-Broken-Steel-USA.pdf/
 17. ROCKWOOL TECHNICAL INSULATION. *Searoc - Marine and Offshore Insulation* [žiūrėta 2020-01-13]. Prieiga per: <https://cdn01-rti.rockwool.com/siteassets/tools--documentation/documentation/marine--offshore-global/datasheets/rw-ti-searox-sl-440.pdf?f=20190308095412/>
 18. THE ENGINEERING TOOLBOX. *Dry Air Properties* [žiūrėta 2020-01-13]. Prieiga per: https://www.engineeringtoolbox.com/dry-air-properties-d_973.html/
 19. THE ENGINEERING TOOLBOX. *Air – Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient at Varying Temperature and Constant Pressures* [žiūrėta 2020-01-13]. Prieiga per: https://www.engineeringtoolbox.com/air-density-specific-weight-d_600.html/
 20. BRIGHT HUB ENGINEERING. *Download Excel Spreadsheets to Calculate Natural Convection Heat Transfer Coefficients* [žiūrėta 2020-01-14]. Prieiga per: <https://www.brighthubengineering.com/hvac/92660-natural-convection-heat-transfer-coefficient-estimation-calculations/>
 21. Test Report of Fire Resistance Test On „B“ Class Single-Leaf Steel Door – 797-19TMU-IMO, Vana-Narva road 24b, 741114 Maardu, Estonia, 2019.
 22. MORGAN THERMAL CERAMICS. *SW Blanket Data Sheet* [žiūrėta 2020-02-13]. Prieiga per: http://www.morganthermalceramics.com/media/1814/sw_blanket_data_sheet_english_1.pdf/
 23. NUTEC. *MaxWool HPS and HTZ Refractory Ceramic Blanket* [žiūrėta 2020-02-18]. Prieiga per: <http://www.nutec.com/technical-sheets/nuevo-data-sheets/MaxWool-DataSheet.pdf/>
 24. MORGAN THERMAL CERAMICS. *FM Marine Plus Blanket* [žiūrėta 2020-02-13]. Prieiga per: <http://www.morganthermalceramics.com/media/5143/fm-marine-plus-blanket-data-sheet-english.pdf/>