

STOGO PARAPETO ILGINIO ŠILUMINIO TILTTELIO EFEKTYVUMO TYRIMAS A++ KLASĖS PRAMONINIUOSE PASTATUOSE

Donatas Aviža^{a,b}, Rita Baltušnikienė^{a,b}, Jovita Kaupienė^{a,b}

^a Panevėžio kolegija, Lietuva

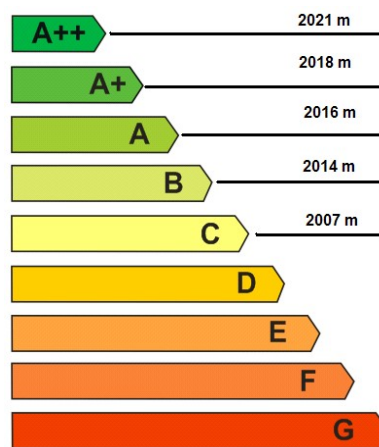
^b Kauno technologijos universitetas, Lietuva

Anotacija. Darbo tikslas: atlikti stogo parapeto ilginio šiluminio tiltelio efektyvumo tyrimą A++ klasės pramoniniuose pastatuose ir nustatyti racionaliausią stogo parapeto įrengimo variantą. Atlikus mokslinės ir techninės literatūros analizę bei termodinaminio modeliavimo simuliaciją THERM programa, nustatyta, kad stogo parapetą efektyviausia apšiltinti 20 mm storio mineralinės vatos plokštėmis ir konstrukcijai naudoti mineraline vata apšiltintą medinį karkasą. Šio varianto paprastas atsipirkimo laikas – 2,2 metai.

Raktiniai žodžiai: ilginis šilumos tiltelis, A++ energinio naudingumo klasė, stogo parapetas, pramoninis pastatas.

ĮVADAS

Nuo 2021 metų sausio 1 dienos visi naujos statybos šildomi pramoniniai pastatai, turi būti ne žemesnės kaip A++ energinio naudingumo klasės (žr. 1 pav.). Šis reikalavimas yra pateiktas Europos Sąjungos direktyvoje (Quinten ir kt., 2016) bei Lietuvos Respublikos statybos techniniame reglamente „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ (STR 2.01.02:2016).



1 pav. Lietuvos pastatų energinio naudingumo klasifikavimas į 9 klases (Aviža ir kt., 2013)

Lietuvoje statiniai klasifikuojami remiantis statybos techniniu reglamentu „Statinių klasifikavimas“ (STR 1.01.03:2017). Skiriamos dvi pagrindinės statinių rūšys: pastatai ir inžineriniai statiniai. Pagal naudojimo paskirtį pastatai skirstomi į dvi grupes: gyvenamuosius ir negyvenamuosius pastatus. Negyvenamieji pastatai skirstomi į pogrupius: viešbučių, administracinės, prekybos, paslaugų, maitinimo, transporto, garažų, gamybos ir pramonės, sandėliavimo, kultūros, mokslo, gydymo, poilsio, sporto, specialiosios, pagalbinio ūkio, kitos (fermų, ūkio, šiltnamių, sodų), kitos paskirties pastatus (Stasiukynas, 2011). Šiame tyrime bus nagrinėjami tik II atsparumo ugniai laipsnio pramoninės paskirties pastatai bei jų energinio naudingumo reikalavimai.

Siekiant efektyviai suprojektuoti mažai energijos vartojančius pramoninius pastatus, rekomenduojama apskaičiuoti ilginis šiluminis tiltelius. Ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas (Ψ) – šilumos srauto tankis, tenkantis šiluminio tiltelio perimetrui, kai oro temperatūrų skirtumas abiejose atitvaros pusėse yra lygus 1 °C (STR 2.01.02:2016).

Tipiniame pastate yra aštuonios vietos kuriose galimi nuostoliai per ilginius šilumos tiltelius (žr. 1 lentelę).

1 lentelė

Norminės ilginių šilumos tiltelių vertės (STR 2.01.02:2016)

Eil. Nr.	Tipiniai ilginiai šiluminiai tilteliai	Ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi_{(A++)}$ ($W/(m^2K)$) vertės
1	Tarp pastato pamatų ir išorinių sienų	0,10
2	Aplink langų angas sienose	0,05
3	Aplink išorinių įėjimo durų angas sienose	0,05
4	Tarp pastato sienų ir stogo	0
5	Fasadų išoriniuose ir vidiniuose kampuose	0
6	Balkonų grindų susikirtimo vietose su išorinėmis sienomis	0,01
7	Tarp perdangų, kurios ribojasi su išore, ir sienų	0
8	Stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų angų perimetru	0,05

Remiantis norminiais reikalavimais, pastatų (jų dalių) ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų vertės gali būti pagrįstos skaičiavimais ir atitikti standarto „Statybinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“ (LST EN ISO 10211:2008) reikalavimus.

Jei neatliekami ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimai, pastatų energinio naudingumo skaičiavimuose turi būti naudojamos 2 lentelėje nurodytos ilginių šiluminių tiltelių skaičiuojamosios šilumos perdavimo koeficiento Ψ ($W/(m^2K)$) vertės (STR 2.01.02:2016).

2 lentelė

Skaičiuojamosios ilginių šilumos tiltelių vertės (STR 2.01.02:2016)

Eil. Nr.	Ilginiai šiluminiai tilteliai	Ψ , $W/(m^2K)$
1	Stogo ir sienos sandūra. Stogo ir sienos termoizoliaciniai sluoksniai susisiekiama. Išorinis kampas	0,05
2	Stogo ir sienos sandūra. Stogo ir sienos termoizoliaciniai sluoksniai susisiekiama. Vidinis kampas	0,15
3	Stogo ir sienos sandūra. Stogo ir sienos termoizoliaciniai sluoksniai nesusisiekiama	0,25
4	Stogo ir sienos sandūra. Stogas ir (ar) siena neapšiltinti	0,30

Ilginių šilumos tiltelių nustatymo ir modeliavimo problematika yra aktuali ne tik nacionaliniu, bet ir tarptautiniu lygmeniu. Mokslinėje literatūroje yra nurodoma daug studijų, kuriose yra testuojami ilginių šilumos tiltelių skaičiavimo bei modeliavimo metodai (O'Grady ir kt., 2018; Quiten ir kt. 2016; Baba ir kt., 2016; Capozoli ir kt., 2013). Lietuvos mokslininkai taip pat nagrinėja ilginių šiluminių tiltelių įtaką A energinio naudingumo klasės pastatuose (Aviža ir kt., 2013). Tyrimai parodė, kad efektyviai sukonstravus pastato mazgus (sumažinus ilginių šilumos tiltelių įtaką), viso pastato šilumos nuostoliai gali sumažėti net iki 20 proc. (Levinckytė ir kt., 2016).

Mokslinėje literatūroje yra nagrinėjami tik balkono-sienos (Baba ir kt., 2016), sienos-lango (O'Grady ir kt., 2018), sienos-pamato ir kiti pavieniai mazgai (Levinckytė ir kt. 2016), tačiau trūksta informacijos apie sutapdinto stogo parapeto ilginių šilumos tiltelių efektyvumo vertinimą. Šiame tyrime toliau bus nagrinėjamas A++ klasės pramoninio pastato tipinis sutapdinto stogo su parapetu mazgas, keičiant tik apšiltinimo storus bei laikančio karkaso tipą. Atlikus termodinaminę simuliaciją yra apskaičiuoti stogo-sienos sandūros ilginiai šiluminiai tilteliai ir nustatytas efektyviausias apšiltinimo variantas bei investicijų paprastasis atsipirkimo laikas.

Darbo tikslas: atlikti stogo parapeto ilginio šiluminio tiltelio efektyvumo tyrimą A++ klasės pramoniniuose pastatuose ir nustatyti racionaliausią stogo parapeto įrengimo variantą.

Darbo uždaviniai:

1. parinkti efektyviausias parapeto laikančios konstrukcijos medžiagas;
2. nustatyti parapeto ilginių šilumos tiltelių vertes ir šilumos nuostolius;

3. parinkti racionalų parapeto apšiltinimą;
4. apskaičiuoti investicijų paprastąjį atsipirkimo laiką.

Tyrimo metodai: techninės ir mokslinės literatūros analizė, termodinaminis modeliavimas, simuliacija.

TYRIMO MODELIS

Atliekant sutapdinto stogo parapeto ilginių šiluminių tiltelių efektyvumo tyrimus, parinktas vieno aukšto A++ klasės pramoninis pastatas. Statinio aukščiausio aukšto grindų altitudė neviršija 6 m, visame statinyje įrengiama stacionarioji gaisrų gesinimo sistema ir jame vienu metu gali būti ne daugiau kaip 100 žmonių. Pastato atsparumo ugniai laipsnis – II. Modelio techniniai-ekonominiai rodikliai pateikti 3 lentelėje.

Tyrimo modelį sudaro tipinis parapeto mazgas (žr. 2 pav.). Yra iširta dešimt ilginių šiluminių tiltelių. Pirmasis variantas – parapeto laikanti konstrukcija: silikatiniai blokeliai be papildomo apšiltinimo. Antrasis variantas – medinis karkasas užpildytas akmens vata, be papildomo apšiltinimo. Kiti variantai: kai parapeto vidinis kraštas ir viršus yra apšildyti 20, 50, 100 arba 150 mm (žr. 4 lentelę).

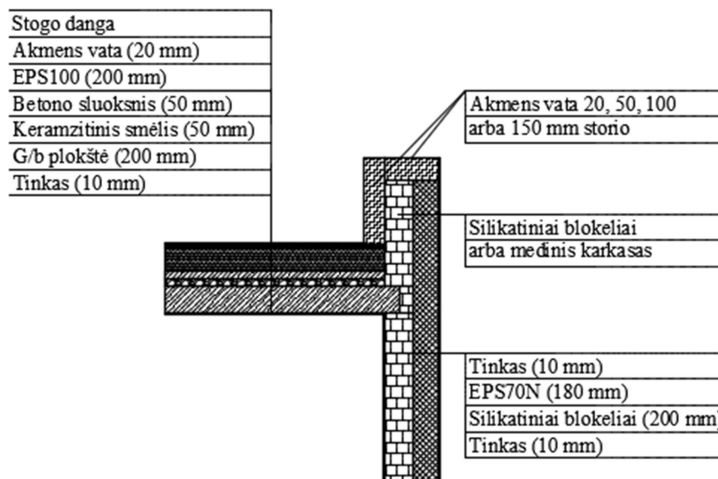
3 lentelė

Parinkto modelio techniniai-ekonominiai rodikliai

Rodiklio pavadinimas ir matavimo vienetai	Skaitinė vertė
Parapeto perimetras l , metrais	1,00
Parapeto aukštis (kai apšiltinimo storis 150 mm), metrais	0,60
Lauko temperatūra žiemą θ_e , laipsniais	0,60
Vidaus temperatūra žiemą θ_i , laipsniais	20,00
Šildymo sezonas t , dienomis	220,00
Šildymo laikas per parą, valandos	24,00
Šiluminės energijos kaina, E (CŠT), €/kWh	0,0538
Medienos kaina, €/m ³	240,00
Akmens vatos kaina, €/m ³	130,60
Silikatinių blokelių kaina, €/m ³	100,01

Siena – dvisluoksnis silikatinių blokelių (200 mm) mūras apšiltintas neoporo EPS70N (180 mm) plokštėmis. Sienos šilumos perdavimo koeficientas $U=0,174$ W/(m²·K). Sutapdintas stogas su kiaurymėtomis gelžbetonio plokštėmis yra apšiltintas mineralinės vatos (20 mm) ir polistireninio putplasčio EPS100 (200 mm) plokštėmis. Stogo šilumos perdavimo koeficientas yra $U=0,154$ W/(m²·K).

Parapeto apšiltinimui parinkta mineralinės vatos plokštė, kurios deklaruojamas laidumo koeficientas yra $\lambda_D = 0,038$ W/(m·K).



2 pav. Tipinis parapeto mazgas (skaičiuojamasis modelis)

Taigi, parapeto vidinis šonas ir viršus šiltintas skirtingo storio mineralinės vatos plokštėmis, o laikančioji parapeto konstrukcija yra dviejų tipų: silikatinių blokelių arba su medinis karkasas su mineralinės vatos užpildu. Tyrime modeliuota, kuris ilginis šiluminis tiltelis yra efektyviausias ekonomiško ir energijos taupymo požiūriu.

SKAIČIAVIMO METODOLOGIJA

Remiantis standarto „Statinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“ (LST EN ISO 10211:2008) reikalavimais, ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas buvo skaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$\psi = L_{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2; \quad (1)$$

čia: ψ – parapeto ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas $W/(m \cdot K)$; L_{2D} – linijinio šiluminio tiltelio savitieji šilumos nuostoliai; U_1 – sienos šilumos perdavimo koeficientas; l_1 – sienos ilgis, kuriam paskaičiuota šilumos perdavimo koeficiento U_1 vertė; U_2 – stogo šilumos perdavimo koeficientas; l_2 – stogo dvimačio geometrinio modulio ilgis, kuriam paskaičiuota šilumos perdavimo koeficiento U_2 vertė.

Paprastasis atsipirkimo laikas apskaičiuotas pagal (2) formulę:

$$PS = \frac{I_0}{\Delta S} \quad (2)$$

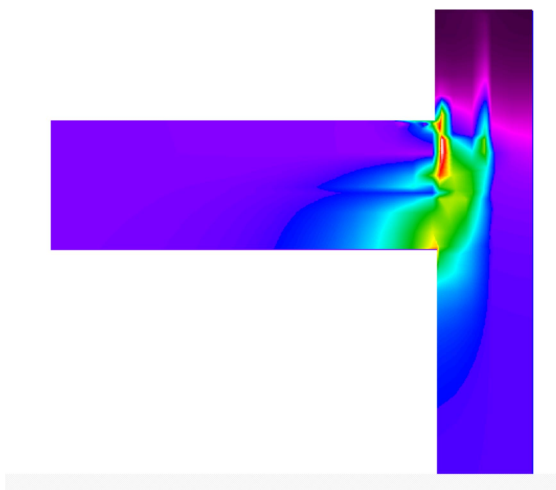
čia: I_0 – pradinė medžiagų kaina, $€/m^1$;

ΔS – kasmetiniai sutaupymai, pirmųjų metų verte, $€/(m^1 \cdot \text{metai})$.

Toliau skaičiavimams buvo parinktas tas pats parapeto mazgas, keičiamas tik apšiltinimo medžiagos storis bei laikančios parapeto konstrukcijos tipas.

TYRIMO REZULTATAI

Pagal sudarytą modelį, *THERM* programine įranga buvo atlikti ilginių šiluminių tiltelių termodinaminiai skaičiavimai (žr. 3 pav.). Jų rezultatai pateikti 4 lentelėje.



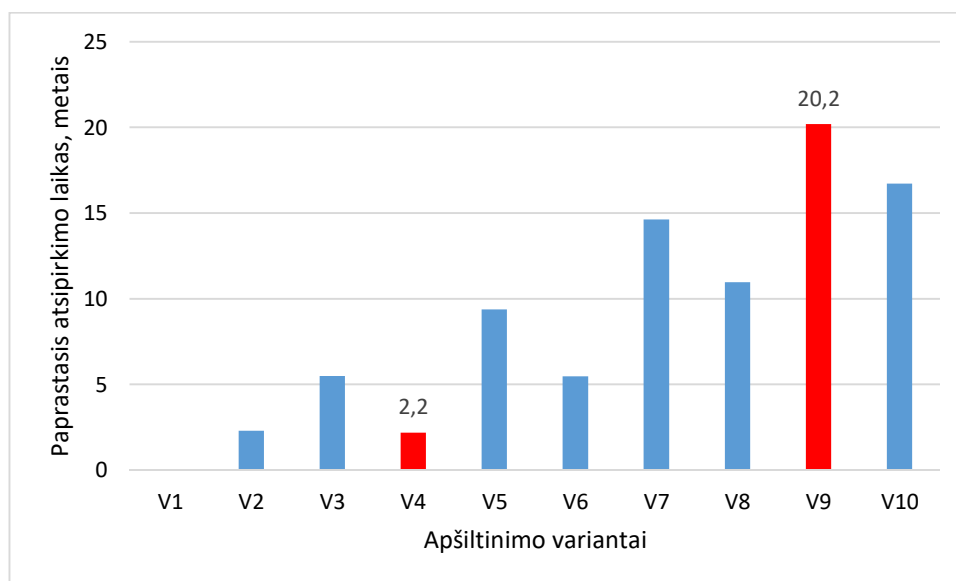
3 pav. Parapeto ilginių tiltelių modeliavimas THERM programa

Pagal gautus ilginių šiluminių tiltelių rezultatus, buvo apskaičiuoti vieno šildymo sezono šiluminiai nuostoliai, sąnaudos ir sutaupymai. Nustatyta, kad apšiltinto medinio karkaso medžiagų kaina, lyginant su silikatinių blokelių konstrukcija, yra 16,5 proc. brangesnė, tačiau per tokį mazgą susidaro mažesni šiluminiai nuostoliai (žr. 4 lentelę).

Ilginiai šiluminiai tilteliai, šiluminiai nuostoliai per šildymo sezono laikotarpį, išlaidos ir sutaupymai

Tiltelio numeris	Apšiltinimo storis (vidus/viršus), mm/ RW – mineralinė vata / B – silikatinis blokelis arba M – apšiltintas medinis karkasas	Ilginis tiltelis ψ , W/(mK)	Šiluminiai nuostoliai, kWh/m	Nuostolių išlaidos „+“ arba sutaupymai „-“, €/m	Pradinė investicija (apšiltinimo medžiagų kaina), €/m	Metiniai sutaupymai, €/m
V1	(0/0) - / B	0,1944	19,91	1,07	0,00	0,00
V2	(0/0) - / M	-0,0123	-1,26	-0,07	2,30	1,00
V3	(20/20)/RW/B	0,1284	13,15	0,71	2,25	0,41
V4	(20/20)/RW/M	-0,0177	-1,81	-0,10	2,25	1,03
V5	(50/50)/RW/B	0,0948	9,71	0,52	5,81	0,62
V6	(50/50)/RW/M	-0,0222	-2,27	-0,12	5,81	1,06
V7	(100/100)/RW/B	0,0593	6,07	0,33	12,28	0,84
V8	(100/100)/RW/M	-0,0324	-3,32	-0,18	12,28	1,12
V9	(150/150)/RW/B	0,0404	4,14	0,22	19,39	0,96
V10	(150/150)/RW/M	-0,0391	-4,01	-0,22	19,39	1,16

Atlikus ekonominį vertinimą, nustatytas kiekvieno apšiltinimo varianto paprastas atsipirkimo laikas (žr. 4 pav.).



4 pav. Paprastas investicijų atsipirkimo laikas

Atlikus modelio simuliaciją, nustatyta, kad efektyviausias parapeto apšiltinimas atitinka V4 poziciją (medinis karkasas su mineralinės vatos užpildu papildomai apšiltintas 20 mm akmens vata), kadangi paprastas atsipirkimo laikas yra lygus 2,2 metai. Pats nepalankiausias variantas – V9 pozicija, kai atsipirkimas siekia 20,2 metų (silikatinų blokelių mūras apšiltintas 150 mm mineraline vata), todėl nerekomenduojama parapeto laikančias konstrukcijas projektuoti vien tik iš silikatinų blokelių mūro.

IŠVADOS

1. Atlikus ekonominį vertinimą, nustatyta, kad apšiltinto medinio karkaso konstrukcijos medžiagų kaina, lyginant su silikatinų blokelių konstrukcija, yra 16,5 proc. brangesnė, tačiau per tokį mazgą susidaro mažesni šiluminiai nuostoliai.

2. Stogo parapeto skaičiuojamosios ilginių šilumos tiltelių vertės yra geresnės (t. y. mažesnės už $0,05 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$) tik tokiu atveju, jeigu parapeto konstrukcija yra medinis karkasas su mineralinės vatos užpildu arba, kai parapetas yra iš silikatinių blokelių mūro, apšiltintas iš visų pusių ne mažiau kaip 130 mm mineralinės vatos plokštėmis.

3. Atlikus taikomąjį tyrimą, nustatyta, kad A++ klasės pramoninio pastato stogo parapetą efektyviausia apšiltinti 20 mm storio mineralinės vatos plokštėmis ir parapeto konstrukcijai naudoti medinį karkasą su mineralinės vatos užpildu. Šioje pozicijoje šiluminio ilginio tiltelio vertė yra lygi $-0,0177 \text{ W}/(\text{mK})$.

4. Įvertinus šiluminio tiltelio nuostolius ir paprastąjį medžiagų atsipirkimo laiką, nustatyta, kad V4 variantas yra racionaliausias. Šio varianto paprastas atsipirkimo laikas – 2,2 metai. Pats blogiausias variantas – stogo parapetą projektuoti iš silikatinių blokelių konstrukcijos ir ją apšiltinti 150 mm mineralinės vatos plokštėmis (V9 variantas). Tokio varianto atsipirkimo laikas – 20,2 metų.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Aviža, D., Turskis, Z., Volvačiovas, R. (2013). Correlation analysis of thermo-insulation layer thickness and its payback period of the typical pitched roof detail // *Procedia Engineering*. 11th international conference on modern building materials, structures and techniques (MBMST), May 16-17, 2013, Vilnius, Lithuania. Amsterdam: Elsevier Science Ltd. ISSN: 1877-7058. 2013, Vol. 57.

Baba, F., Ge H. (2016). Dynamic effect of balcony thermal bridges on the energy performance of a high-rise residential building in Canada // *Energy and Buildings*. Vol. 116, pp. 78-88.

Capozzoli, A., Gorrino, A., Corrado, V. (2013). A building thermal bridges sensitivity analysis // *Applied Energy*. Vol. 107, pp. 229-243.

Levinskytė, A., Banionis, K., Geležiūnas, V. (2016). The Influence of Thermal Bridges for Buildings Energy Consumption of “A” Energy Efficiency Class // *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, Vol. 2, No. 15, pp. 44-58.

LST EN ISO 10211:2008 „Statinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“. Vilnius, 2008.

O’Grady, M., Lechowska, A. A., Harte, A. M. (2018). Application of infrared thermography technique to the thermal assessment of multiple thermal bridges and windows // *Energy & Buildings*. Vol. 168, pp. 347-362.

Quinten, J., Feldheim, V. (2016). Dynamic modelling of multidimensional thermal bridges in building envelopes: Review of existing methods, application and new mixed method // *Energy and Buildings*. Vol. 110, pp. 284-293.

Stasiukynas, A. (2011). Pastatų klasifikavimo ypatumai. 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas- Lietuvos ateitis“ straipsnių rinkinys. ISBN 978-9955-28-929-6.

STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“. Vilnius, 2016.

STR 1.01.03:2017 „Statinių klasifikavimas“. Vilnius, 2018.

Summary

Study on Linear Thermal Bridge Efficiency of Roof Parapet in A++ class industrial buildings

The aim of the work is to determine the most effective option for the roof parapet installation in A++ class industrial buildings and to determine the most rational option for installing a roof parapet.

The objects of the study are as follows: the selection of the most effective material for the parapet support structure; the determination of the values and heat losses of parapet linear thermal bridges; the selection of the rational parapet insulation; the calculation of the simple payback time of the investment.

Research methods: analysis of technical and scientific literature, thermodynamic modeling, simulation.

In this article, the authors carried out a research on a typical linear thermal bridge of roof parapet of class A++ industrial building, based on the principles of energy and economic efficiency.

As of 1 January 2021, all heated newly constructed industrial buildings shall be not less than of an A ++ energy performance class buildings. This requirement is enshrined in the European Union Directive (Quinten et al., 2016) and in the Technical Building Regulation of the Republic of Lithuania ‘Design and Certification of Energy Performance of Buildings’ (STR 2.01.02:2016). In order to effectively design low-energy industrial buildings, it is recommended to calculate linear thermal bridges.

In the scientific literature only balcony-walls (Baba et al., 2016), wall-window (O'Grady et al., 2018), wall-foundation and other single units (Levinckytė et al., 2016) are considered, however, there is a lack of information on the evaluation of the performance of roof parapet thermal bridges. This study will further investigate a typical roof parapet unit of an A ++ class industrial building, modifying only the insulation thicknesses and the type of supporting frame. After performing the thermodynamic simulation the roof-wall junction thermal bridges are calculated and the most effective insulation option and simple payback time for the investment is identified.

A one-story A ++ class industrial building was selected to study the efficiency of the linear thermal bridges of the roof parapet. The altitude of the highest floor of the building does not exceed 6 m, a fixed fire-extinguishing system is installed in the whole building and a maximum of 100 persons at a time may be in the building. The degree of fire resistance of the building is II. The research model consists of a typical parapet drawing (see Figure 2). Ten insulation options are investigated (see Table 4). The wall is a two-layer masonry of the silicate blocks (200 mm) insulated with neopor EPS70N panels (180 mm). Wall heat transfer coefficient $U=0,174 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. The roof with perforated reinforced concrete slabs is insulated with mineral wool (20 mm) and polystyrene foam EPS100 plates. A mineral wool slab with the declared conductivity coefficient of $\lambda_D = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ was chosen for the insulation of the parapet. Thus, the inside and the top of the parapet are insulated with mineral wool panels of different thickness, while the supporting structure of the parapet is of two types: of silicate blocks or with wooden frame with mineral wool filling.

After modelling, thermodynamic calculations of thermal bridges were performed with THERM software. Heat losses, costs and savings per heating season were calculated according to the results of linear thermal bridges. It was identified, that the price of the insulated wood frame materials compared to the construction of silicate blocks is 16,5 percent higher, although, lower heat losses occur through such a unit.

After performing the model simulation, it was found that the most effective parapet insulation matches V4 position (wooden frame with mineral wool filling additionally insulated with 20 mm stone wool), whereas simple payback time is 2,2 years. The worst option is the V9 position (silicate block masonry insulated with 150 mm mineral wool), therefore, it is not recommended to design parapet support structures solely from masonry of silicate blocks.

Overall conclusions:

1. Following the economic assessment, it was found that the cost of insulated wooden frame construction materials compared to the construction of silicate blocks is 16,5 percent higher, however, lower heat losses occur through such a unit.

2. The calculated values of linear thermal bridges of roof parapets are better (i.e. less than $0,05 \text{ W}/(\text{mK})$) only if the structure of the parapet is a wooden frame with mineral wool filling or when the parapet is made of the masonry of silicate blocks, insulated with mineral wool panels of at least 130 mm on all sides.

3. Having conducted the applied research, it was found that it is most effective way to insulate the roof parapet of an A++ class industrial building is with 20 mm thick mineral wool panels and for the parapet construction to use a wooden frame with mineral wool filling. In this position, the value of the thermal bridge is equal to $-0,0177 \text{ W}/(\text{mK})$.

4. Taking into account the losses of the thermal bridge and the the simple payback time of the material, it is was found that V4 is most rational option. The simple payback time of this option is 2,2 years. The worst option is to design the roof parapet using silicate block construction and insulating it with 150 mm mineral wool panels (V9 version). The payback period for this option is 20,2 years.