



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Aistė Babelytė

**BALKONŲ ĮSTIKLINIMO IR APŠILTINIMO EFEKTYVUMO
ANALIZĖ**

**EFFICIENCY ANALYSIS OF THE BALCONIES GLAZING AND
INSULATION**

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Aistė Babelytė

**BALKONŲ ĮSTIKLINIMO IR APŠILTINIMO EFEKTYVUMO
ANALIZĖ**

**EFFICIENCY ANALYSIS OF THE BALCONIES GLAZING AND
INSULATION**

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc. Sabina Paulauskaitė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2012

**VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA**

Energijos inžinerija studijų kryptis
Energijos inžinerija ir planavimas studijų programa, valstybinis kodas 621E30003
Energijos inžinerijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)

Vytautas Martinaitis
(vardas, pavardė)

2012 gegužės mėn. 07 d.

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei) **AISTEI BABELYTEI**.....
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema ...**Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo efektyvumo analizė**.....

Patvirtinta 2010 m. lapkričio 03 d. Dekano įsakymu Nr. 396 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2012 m. gegužės mėn. 28 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo įtakos patalpų šiluminės energijos poreikiams analizę panaudojant eksperimentinius, analitinius ir modeliavimo kompiuterine programa metodus. Apžvelgti darbus atliktus šioje srityje. Parinkti konkrečius objektus ir juose atlikti detalius mikroklimato parametrų ir atitvarų šiluminių charakteristikų tyrimus esant skirtingiems balkonų įstiklinimo variantams. Analitiniais skaičiavimais pagal galiojančius normatyvinius dokumentus ir panaudojant kompiuterinę programą įvertinti balkonų įstiklinimo bei apšiltinimo įtaką patalpų šilumos nuostoliams. Palyginti gautus eksperimentinių tyrimų ir skaičiavimų rezultatus. Atlikti ekonominį balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo variantų įvertinimą. Padaryti išvadas ir pateikti pasiūlymus. Pagrindinius darbo rezultatus pristatyti respublikinėje konferencijoje „Pastatų inžinerinės sistemos“ ir paruošti straipsnį.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: *lekt. R. Žukienė*
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas *Doc. dr. Sabina Paulauskaitė*.....
(parašas) (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau
(parašas)

.....*Aistė Babelytė*.....
(vardas, pavardė)

.....2012-02-06.....
(data)

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo
bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Aistė Babelytė, 20065835

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Energijos inžinerija ir planavimas, ENmf-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

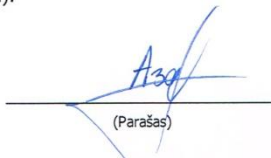
**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2012 m. gegužės 28 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo efektyvumo analizė“ patvirtintas 2010 m. lapkričio 3 d. dekanų potvarkiu Nr. 396ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Sabina Paulauskaitė.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).


(Parašas)

Aistė Babelytė

(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas

Pastatų energetikos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo efektyvumo analizė**

Autorius **Aistė Babelytė**

Vadovas doc. dr. **Sabina Paulauskaitė**

Kalba

☒	lietuvių
☐	užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo įtaka patalpų šiluminės energijos poreikiams.

Darbo tiriamaisiais objektais pasirinktos gyvenamųjų daugiabučių pastatų patalpos su įstiklintais ir neįstiklintais balkonais. Siekiant įvertinti tiriamųjų patalpų šilumos poreikius buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai šilumos srauto tankio metodu. Analizuojant patalpų mikroklimato sąlygas nagrinėjamosiose patalpose buvo atliekami detalūs temperatūros ir santykinės drėgmės matavimai. Šiais tyrimais taip pat įvertintos ir atitvarinių konstrukcijų šiluminės charakteristikos, t. y. išmatuota atitvarų paviršiaus ir išorės temperatūra, šiluminė varža, reikalinga šilumos perdavimo koeficientui nustatyti. Patalpų atitvarų šilumos perdavimo koeficiento apskaičiavimui buvo taikomi ir analitiniai skaičiavimai bei modeliavimas kompiuterine „THERM 5.0“ programa, skirta dvimačių temperatūrinių laukų skaičiavimui. Naudojant eksperimentinio tyrimo duomenimis buvo įvertinta balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo įtaka patalpų šilumos nuostoliams.

Atlikus tyrimą pastebėta, kad eksperimentinio tyrimo metu nustatytos atitvarų šilumos perdavimo koeficientų vertės patikimiausios. Nustatyta, kad patalpoje su įstiklintu balkonu patalpos oro temperatūra yra 4–5 °C didesnė. Išsami tiriamųjų patalpų šilumos nuostolių analizė parodė, kad patalpų šilumos nuostoliai per mėnesį yra: patalpos su neįstiklintu balkonu – 2,4 kWh/m², patalpos su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais – 1,4 kWh/m² bei patalpos su įstiklintu balkonu aliuminio profilio langais – 1,7 kWh/m².

Atlikus modeliavimą kompiuterine „THERM 5.0“ programa ir ekonominį vertinimą pagal tris rodiklius (SEK, PAL ir šilumos sutaupymai, tenkantys šildomo ploto vienetui) nustatyta, kad efektyviausia balkoną stiklinti plastikinio profilio langais ir apšiltinti polistireniniu putplasčiu. Ši energiniu ir ekonominiu požiūriu efektyvi šilumos taupymo priemonė leistų per metus sutaupyti apie 8 MWh šiluminės energijos ir išlaidos būsto šildymui sumažėtų apie 200 Lt.

Prasminiai žodžiai: balkonų (lodžių) stiklinimas, įstiklinimo charakteristikos, energijos poreikiai, šilumos sutaupymai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of **Environmental Engineering**
Building Energetics

ISBN	ISSN
Copies No.....	
Date-....-....	

Master Degree Studies	Energy Engineering and Planning study programme	Master's Thesis
Title	Efficiency Analysis of the Balconies Glazing and Insulation	
Author	Aistė Babelytė	
Academic supervisor	Assoc Prof Dr Sabina Paulauskaitė	

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Sabina Paulauskaitė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

At the final work is examined how the glazed and insulation balconies impact the thermal energy needs of rooms.

The living rooms of apartment buildings with glazed and not glazed balconies is selected how exploratory subjects. The analysis of rooms microclimate conditions was carried out detailed temperature and relative humidity measurements. In this analysis also evaluated and the thermal characteristics of partitions (measured surface temperature of partitions and outside air temperature, thermal resistance). The heat transmission coefficient calculation of partitions was applied analytical calculations and computer simulations "THERM 5.0 program, which is designed to calculate the two-dimensional temperature fields.

Using the experimental data was evaluated how balcony glazing and insulation impact room heat losses. Research results revealed that the heat transmission coefficient value which was set down experimentally is the most reliable. It was found that inside air temperature in the room with glazed balcony is 4–5 °C above. A detailed heat loss analysis showed that the room heat loss per month is: room with not glazed balcony – 2,4 kWh/m², room with a balcony glazed plastic windows profile – 1,4 kWh/m² and rooms with a balcony glazed aluminum windows profile– 1,7 kWh/m².

After the computer simulation "THERM 5.0 program and the economic evaluation of the three indicators (SEK, PAL and heat savings which go to space heating unit) was found that balcony glazing windows of plastic profiles and insulated polystyrene foam is the most effective. This energy saving measure would allow to save about 8 MWh/annual of thermal energy and home heating costs would fall by about 200 Lt.

After the computer simulation "THERM 5.0 program and the economic evaluation of the three indicators (SEK, PAL and heat savings which go to space heating unit) was found that balcony glazing windows of plastic profiles and insulated polystyrene foam is the most effective. This energy saving measure would allow to save about 8 MWh/annual of thermal energy and home heating costs would fall by about 200 Lt.

Keywords: balconies glazing, characteristics of glazing, energy demand, heat savings

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
ĮVADAS	9
1. Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo reikšmė	12
1.1. Energijos vartojimas gyvenamajame sektoriuje	12
1.2. Reikalavimai pastatų energiniam naudingumui	13
1.3. Įstiklinimo charakteristikos ir jų įtaka energijos poreikiams.....	14
1.4. Atliktų tyrimų apžvalga Lietuvoje.....	15
1.5. Balkono izoliacija	16
2. Tyrimo struktūra ir vertinimo kriterijai	18
2.1. Tyrimo struktūra	18
2.2. Vertinimo kriterijai ir prielaidos.....	18
2.3. Trumpa tyrimo objektų apžvalga.....	20
3. Tyrimo metodikos	21
3.1. Standartiniai (analitiniai) skaičiavimai	21
3.2. Eksperimentiniai tyrimai	23
3.3. Modeliavimas kompiuterine programa.....	25
4. Eksperimentiniai tyrimai ir rezultatų analizė.....	27
4.1. Santykinės oro drėgmės ir temperatūros kitimas.....	27
4.2. Pastato atitvarų šiluminių charakteristikų matavimo rezultatai.....	29
5. Atitvarų šilumos perdavimo koeficiento nustatymas analitinių skaičiavimų būdu ir rezultatų analizė.....	31
6. Modeliavimas kompiuterine „THERM 5.0“ programa	33
6.1. Modelio sukūrimas ir įvesties duomenys	33
6.2. Temperatūrų pasiskirstymas tiriamųjų patalpų atitvarose	34
6.3. Patalpų atitvarų šilumos perdavimo koeficiento radimas ir palyginimas su analitinio skaičiavimo ir eksperimentinio tyrimo metu gautomis reikšmėmis.....	35
7. Savitųjų šilumos nuostolių per atitvaras skaičiavimai.....	38
8. Balkono apšiltinimo efektyvumo skaičiavimas	41
8.1. Balkono grindų izoliacija.....	41
8.2. Balkono sienų apšiltinimas	43
8.3. Balkono sienų apšiltinimo įtaka patalpų šilumos nuostoliams	45
9. Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo ekonominis įvertinimas	46
9.1. Sutaupytos energijos kainos skaičiavimas.....	46
9.1.1. Sutaupytos energijos kaina įstiklinus ir apšiltinus balkoną.....	47
9.1.2. Sutaupytos energijos kaina apšiltinus ir įstiklinus balkonus skirtingų stiklinimo konstrukcijų langais.....	48

9.2 Šilumos sutaupymų ir investicijų priklausomybė.....	49
9.3. Paprastojo atsipirkimo laiko (PAL) skaičiavimas	50
9.4. Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo įvertinimas pagal tris ekonominius rodiklius	51
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	53
LITERATŪRA	55
PRIEDAI	58
1 PRIEDAS.Eksperimentinio tyrimo matavimo duomenys patalpoje su neįstiklintu balkonu	59
2 PRIEDAS. Eksperimentinio tyrimo matavimo duomenys patalpoje su įstiklintu balkonu	60
3 PRIEDAS. Patalpos su neįstiklintu balkonu šilumos poreikių skaičiavimas	61
4 PRIEDAS. Patalpos su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais šilumos poreikių skaičiavimas	62
5 PRIEDAS. Patalpos su įstiklintu balkonu aliuminio profilio langais šilumos poreikių skaičiavimas	63

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Šalčio tilteliai balkono ir sienos sandūroje (Tilley 2010)	17
1.2 pav. Temperatūrų pasiskirstymas sienoje: a – balkono plokštė be izoliacijos, b – balkono plokštė su izoliacija (Jonaitis ir Šneideris 2007)	17
2.1 pav. Darbo struktūra.....	18
2.2 pav. Patalpos energijos srautai (Motuzienė 2010)	19
2.3 pav. Daugiabučiai gyvenamieji pastatai: 1–Fabijonškėse, 2–Šeškinėje, 3–Baltupiuose ...	20
3.1 pav. Zondų išdėstymo vieta ir matuojamieji kintamieji dydžiai (Ragoža <i>et al.</i> 2008).....	18
3.2 pav. a – šilumos srauto matavimo plokštelės, b – ALMEMO 2290-9 daugiakalnis duomenų kaupiklis, c – temperatūros ir santykinės drėgmės jutiklis Tinytag TGRF-3500-A.	24
4.1 pav. Temperatūrų kitimo grafikas	28
4.2 pav. Santykinės oro drėgmės kitimo patalpose grafikas	28
4.3 pav. Išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas	29
4.4 pav. Lango elementų šilumos perdavimo koeficientų kitimas.....	30
6.1 pav. Įvesties duomenys	29
6.2 pav. Temperatūrų pasiskirstymas atitvarose	29
6.3 pav. Temperatūrų pasiskirstymas patalpos atitvarose, kai balkonas neįstiklintas	34
6.4 pav. Temperatūrų pasiskirstymas įstiklinus balkoną plastikinio profilio langais	34
6.5 pav. Temperatūrų pasiskirstymas įstiklinus balkoną aliuminio profilio langais.....	35
6.6 pav. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų palyginimas.....	36
7.1 pav. Nagrinėjamų patalpų šilumos nuostolių struktūra.....	38
7.2 pav. Patalpų šilumos poreikis per mėnesį, kWh/m ²	40
8.1 pav. Temperatūros kitimas balkone įrengus grindų izoliaciją (a) ir be jos (b)	40
8.2 pav. Temperatūros kitimas balkone apšiltinus grindis ir sienas: a – polistireniniu putplasčiu, b – plastikinėmis dailylentėmis, c – medinėmis dailylentėmis	44
8.3 pav. Patalpų šilumos nuostolių sumažėjimas apšiltinus balkono sienas ir grindis	45
9.1 pav. Šiluminės sutaupymų ir investicijų priklausomybė	45
9.2 pav. Energijos taupymo priemonių vidutiniai rodikliai	51

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Daugiabučiai namai pagal statybos metus, 2010 metų duomenys (Daugiabučių namų...2011)	8
1.2 lentelė. Energijos vartojimo pastatuose strategiją formuojančių dokumentų santrauka	9
1.3 lentelė. Priemonių efektyvumo rodikliai 10-ies balų sistemoje (Rogoža <i>et al.</i> 2008)	11
1.4 lentelė. Energinio efektyvumo rodiklių palyginimas su procentiniais šilumos sutaupymais (Rogoža <i>et al.</i> 2008)	12
2.1 lentelė. Tiriamųjų pastatų pagrindiniai duomenys	20
5.1 lentelė. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai	31
7.1 lentelė. Projektinis šilumos poreikis patalpų šildymui	36
8.1 lentelė. Medžiagų šiluminių techninių dydžių projektinės vertės	38
8.2 lentelė. Skaičiuojamieji duomenys.....	39
9.1 lentelė. Įdiegtos priemonės (balkono įstiklinimo) ekonominio efektyvumo įvertinimas ..	42
9.2 lentelė. Įdiegtos priemonės (balkono įstiklinimo ir apšiltinimo) ekonominio efektyvumo įvertinimas	48
9.3 lentelė. Ekonominio efektyvumo palyginimas įstiklinus balkonus skirtingomis stiklinimo konstrukcijomis	49
9.4 lentelė. Energijos taupymo priemonių paprastas atsipirkimo laikas	50
9.5 lentelė. Efektyvumo rodikliai perskaičiuoti dešimties balų sistemoje	48

IVADAS

Efektyvus energijos vartojimas yra vienas iš pagrindinių Lietuvos energetikos strateginių tikslų. Veiksniai, skatinantys imtis aktyvesnių veiksmų energijos vartojimo efektyvumo didinimo srityje yra kylančios naftos ir kitų energijos išteklių kainos. Energijos efektyvumo veiksmų plane teigiama, kad didžiausias energijos taupymo potencialas yra gyvenamajame sektoriuje, kuris yra net apie 48 %.

Viena iš pagrindinių neefektyvaus energijos vartojimo Lietuvoje priežasčių yra ta, kad daugumos senų gyvenamųjų pastatų šiluminės savybės yra labai prastos ir jiems apšildyti reikia daug energijos. Šių pastatų renovacija yra vienas iš svarbiausių uždavinių (Energijos efektyvumo...2008), siekiant didesnio energijos vartojimo efektyvumo bei išvengti neigiamų socialinių pasekmių.

Dėl augančio visuomenės susirūpinimo didėjančiomis šildymo kainomis, sugriežtinus pastatų šiluminius reikalavimus, vis dažniau atliekama senų daugiabučių namų renovacija (modernizacija): sienų, stogų šiltinimas, langų keitimas ir t.t. Balkonų stiklinimas yra viena iš daugelio prioritetinių gyvenamųjų namų modernizavimo priemonių. Nors daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringo duomenimis ši priemonė sutaupo tik apie 4 % (Rogoža *et al.* 2008), tačiau atliekant renovaciją vis daugiau yra stiklinama balkonų.

Kaip architektūrinis elementas balkonai Europoje pradėti naudoti viduramžiais, renesanso ir baroko laikotarpyje. Jais puošti pastatų fasadai bei interjerai. Šiais laikais balkonai yra gyvenamųjų namų išorinių sienų būtina dalis.

Balkonai yra veikiami daugelio aplinkos faktorių, tokių kaip: temperatūros svyravimų, drėgmės, vėjo greičio, saulės spinduliuotės, lietaus. Ilgainiui žmonės pradėjo stiklinti balkonus siekiant didesnio komforto, patogumo, jaukumo, neretai sujungdami balkoną su gyvenamosios patalpos dalimi. Šiais laikais įstiklintas balkonas svarbus ne tik įvairiems žmonių poreikiams tenkinti, bet ir svarbus sprendžiant racionalaus energijos vartojimo problemas.

Praktika rodo, kad balkonų stiklinimas leidžia išsaugoti aukštesnę temperatūrą balkone žiemą. Nustatyta, kad kambarioje su įstiklintu balkonu šaltuoju metų laiku yra 4-6 laipsniais aukštesnė, triukšmas sumažėja iki 20 %-25 % (Langų sistemos...2008), o įstiklintas balkonas su papildoma balkono izoliacija (apšiltinimu) leidžia sumažinti pastatų šiluminius nuostolius į aplinką.

Problema

Reikšmingiausi pastatų architektūriniai ir konstrukciniai elementai, kurie veikia energijos vartojimą yra atitvarinės konstrukcijos. Atliekant senų pastatų renovaciją keičiami

langai ir durys, apšiltinami stogai ir sienos, stiklinami balkonai. Pastarajai pastatų modernizavimo priemonei šiuo metu skiriamas vis didesnis dėmesys ir vis daugiau yra įstiklinama balkonų. Iki šiol pasaulyje atlikta nemažai tyrimų optimizuojant šį elementą (Hutri *et al.* 2010), tačiau Lietuvoje balkonų įstiklinimo efektyvumo tyrimai efektyvesniam energijos taupymui pradėti gana neseniai, kartu su pirmaisiais namų renovacijos darbais, tačiau analizuojant įstiklinimo įtaką pastato mikroklimato energijos poreikiams ir šilumos sutaupymams trūksta darbų.

Darbo aktualumas

Pirmuosius tyrimus balkonų stiklinimo, kaip energijos taupymo priemonės, efektyvumą pradėjo Tampere technologijos universiteto darbuotojai Suomijoje, vėliau Vokietijos, Švedijos ir kitų šalių specialistai. Jų ataskaitos duomenimis, įstiklinus balkoną galima sutaupyti apie 10,7 %–12 % šilumos Suomijoje, apie 5,9 % Vokietijoje (Forsström 2010). Tuo tarpu pagal Lietuvos daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringo duomenis, šie sutaupymai yra net 2,7 karto mažesni (Rogoža *et al.* 2008).

Tačiau šių tyrimų rezultatai ir rekomendacijos ne visada sutampa, nes nagrinėjami vienas ar keli pastatai konkrečioms klimatinėms sąlygoms. Be to, tik nedaugelis atliktų įstiklinimo efektyvumo tyrimų įvertina, kad pastatas yra ne tik konstrukcinis elementas, bet ir inžinerinė sistema, tarp kurių yra abipusis ryšys. Siekiant kuo tiksliau įvertinti pastato elementų įtaką energijos poreikiams būtina kiekvieną elementą išnagrinėti atskirai (Motuzienė 2010).

Pastato įstiklinimo charakteristikų tyrimai taip pat labai svarbūs įgyvendinant „Pastatų energinio naudingumo direktyvos“ (2010/31/EB) nuostatas. Atnaujinta direktyva reikalauja, kad valstybės narės pastatams nustatytų minimalius energijos suvartojimus.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – gyvenamųjų daugiabučių pastatų patalpų su įstiklintais/nejstiklintais ir apšiltintais balkonais įtaka energijos poreikiams.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas – įvertinti balkonų įstiklinimo, kaip vienos iš daugelio pastatų modernizavimo priemonių, ir jų įstiklinimo charakteristikų įtaką energijos poreikiams. Nustatyti, kaip balkono apšiltinimas veikia patalpų mikroklimatą ir šiluminės energijos sutaupymus.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti sprendžiami šie uždaviniai:

1. apžvelgti atliktus tyrimus, esamas rekomendacijas, teisės aktus, susijusius su įstiklinimu, langais ir jų savybėmis;
2. sukurti patalpų su įstiklintais ir neįstiklintais balkonais modelius ir atlikti modeliavimą esant skirtingoms įstiklinimo charakteristikoms. Taip pat atlikti modeliavimą, įvertinus skirtingus balkono apšiltinimo variantus;
3. apskaičiuoti šiluminės energijos sutaupymus įstiklinus ir apšiltinus balkonus. Palyginti pagal įvairius skaičiavimo metodus gautus rezultatus bei įvertinti jų tikslumą;
4. palyginti gautus rezultatus su kitų autorių pateiktais tyrimų rezultatais;
5. pateikti rekomendacijas energiniu požiūriu efektyviausiam balkono įstiklinimo charakteristikų ir apšiltinimo variantui.

Tyrimų metodika

Tyrimų metodika – eksperimentinis (šilumos srauto tankio metodas), analitinis (statybos techninio reglamentų nustatytais reikalavimais) ir modeliavimas kompiuterine „THERM 5.0“ programa (dvimačių temperatūrinių laukų skaičiavimo programa).

Darbo rezultatų publikavimas

Šia tema atliktų tyrimų rezultatai yra išspausdinti 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS“ 2012 metų teminės konferencijos „PASTATŲ INŽINERINĖS SISTEMOS“ straipsnių rinkinyje.

1. Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo reikšmė

Pirmajame skyriuje pateikiami atliktų tyrimų rezultatai balkonų įstiklinimo efektyvumo srityje. Išanalizuoti teisės aktų reikalavimai pastatų energijos poreikiams, pabrėžiama įstiklinimo ir apšiltinimo, kaip vienos iš daugelio priemonių, svarba šiluminės energijos sutaupymams.

1.1. Energijos vartojimas gyvenamajame sektoriuje

Didžiausios energijos taupymo galimybės Lietuvoje yra pastatų sektoriuje. Pastatuose suvartojama apie 40 % šalies galutinės energijos (Energijos efektyvumo...2008). Dėl šios priežasties ne tik Lietuvoje, bet ir visoje Europos Sąjungoje energijos taupymas išlieka vienu iš pagrindinių politikos ir darnaus vystymosi tikslų (Europos Parlamentas ir Taryba 2010).

Lietuvoje namų ūkiuose 1996–2004 m. energijos vartojimo efektyvumas didėjo apie 2,7 %/metus. 2007 m. namų ūkiuose daugiausia sunaudota šilumos energijos (37%) ir šiek tiek mažiau elektros energijos (16%), gamtinių dujų (11%) bei malkų, medienos atliekų (30%). Dėl šios priežasties, šiluminės energijos taupymas yra vienas aktualiausių klausimų.

Valstybės įmonės Registrų centro duomenimis, 2009 metų pabaigoje Lietuvoje buvo 37 267 daugiabučiai (3 ir daugiau butų) namai, iš jų apie 35 000 pastatyti pagal galiojusius iki 1993 metų statybos techninius normatyvus (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Daugiabučiai namai pagal statybos metus, 2010 metų duomenys (Daugiabučių namų...2011)

Statybos metai	Namų skaičius		Bendrasis plotas	
	vienetais	procentais	kv. metrais	procentais
Iki 1940 metų	10 362	28	3 790 024	7,4
1941–1960 metai	3 740	10	2 259 107	4,4
1961–1992 metai*	21 090	56,5	39 244 450	76,4
1993 metai ir vėliau*	2 075	5,5	4 092 634	11,8
Iš viso	37 267	100	51 386 305	100

Kaip matyti iš 1.1 lentelės, apie 60 % daugiabučių namų pastatyti per praėjusio šimtmečio paskutinius keturis dešimtmečius, kai vyravo plytinių ir stambiaplokščių tipinių daugiabučių namų statyba. Šių namų išorinių atitvarų šiluminės varžos charakteristikos prastos, neatitinka esamų normatyvinių reikalavimų ir artimesnių šiaurės kaimynų (Skandinavijos valstybių) praktikos. Šiluminės energijos projektinės sąnaudos, išreikštos kilovatvalandėmis patalpų naudingojo ploto viename kvadratiniam metrui, šiuose namuose –

160–180 kWh/m² per metus, o naujos statybos namuose, statytuose po 1993 metų, – 80–90 kWh/m² per metus (Daugiabučių namų...2011). Tuo tarpu šiluminės energijos kaina, Lietuvos šilumos tiekėjų asociacijos duomenimis, per 2006–2010 metus padidėjo nuo 119,7 lito iki 230 litų už MWh, tai yra 1,9 karto. Taigi, senstant gyvenamųjų namų fondui ir brangstant energijos ištekliams šiuos pastatus tampa vis sunkiau eksploatuoti žiemos metu.

1.2. Reikalavimai pastatų energiniam naudingumui

Pagrindinė pastatų energinio naudingumo direktyva laikytina 2010/31/EB, nes jos tiesioginis tikslas – mažinti energijos suvartojimą pastatuose. Pagal direktyvą pastatų energinio naudingumo gerinimo priemonėse turėtų būti atsižvelgiama į klimato ir vietos sąlygas, taip pat į pastatų vidaus mikroklimatą ir ekonominę efektyvumą.

Kadangi mokesčiai už šilumos energiją sudaro iki 80 % visų būsto energijai skirtų išlaidų, todėl labai svarbu atkreipti dėmesį į jos taupymą. Šilumos energija reikalinga ne tik tinkamos temperatūros patalpose palaikymui, bet ir šilumos nuostolių kompensavimui.

1.2 lentelėje pateikta energijos vartojimą pastatuose formuojančių dokumentų santrauka.

1.2 lentelė. Energijos vartojimo pastatuose strategiją formuojančių dokumentų santrauka

Dokmento pavadinimas	Nuostata
Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/EB, dėl pastatų energinio naudingumo	Pastato atitvaros (tame tarpe ir langai) turi būti suprojektuotos taip, kad būtų užtikrintos patalpų komforto sąlygos, esant mažiausiam energijos suvartojimui.
Nacionalinė energetikos strategija, patvirtinta Lietuvos Respublikos Seimo 2007 m. sausio 18 d.	Užtikrinti esamų pastatų naudojimą, atnaujinimą ir modernizavimą, gerinti pastatų atitvarų charakteristikas, tobulinti teisinius normatyvinius dokumentus.
Nacionalinė energijos vartojimo efektyvumo didinimo 2006-2010 programa patvirtinta Lietuvos Respublikos Seimo 2006 m. gegužės 11 d.	Numatytos organizacinės, teisinės, ekonominės ir kitos priemonės energijos išteklių ir energijos vartojimo efektyvumui didinti
Lietuvos Respublikos statybos įstatymas	Naudojamos energijos kiekis turi būti ne didesnis pagal higienos normų ir pastato paskirties reikalavimus
Daugiabučių namų modernizavimo programos	Didinti energijos vartojimo efektyvumą ir mažinti patalpų šildymo išlaidas

Esama ir kitų nemažai svarbesnių reglamentų dėl energijos suvartojimo pastatuose, pvz.: STR 2.01.01(6):2008 „Esminis statinio reikalavimas „Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas“ reikalauja, kad statinys, jo šildymo, kondicionavimo, vėdinimo ir kiti įrenginiai turi būti suprojektuoti bei pastatyti taip, kad juos naudojant būtų kuo mažesnės energijos sąnaudos, atsižvelgiant į vietovės klimatinės sąlygas ir pastato naudotojų reikmes (Motuzienė 2010). STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika" nustato šiluminius techninius

reikalavimus pastatų atitvaroms projektuoti. Šie reikalavimai yra nuolatos griežtinami ir nuo 1994 m. visoms atitvaroms, išskyrus langus, padidėjo apie 5 kartus (Gudzinskas *et al.* 2011, RSN 143-92 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“; STR 2.05.01:1999 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“; STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“). STR 2.05.20:2006 „Langai ir išorinės įėjimo durys“ taip pat nustato reikalavimus pastatų atitvaroms projektuoti: langams, stoglangiams, įstiklintoms ir neįstiklintoms balkonų durims, išorinėms įėjimo durims, vitrinoms. O tuo tarpu Lietuvos būsto strategijoje keliamas uždavinys – šilumos energijos sąnaudas sumažinti ne mažiau kaip 30 % (Stankevičius ir Bliūdžius 2007).

1.3. Įstiklinimo charakteristikos ir jų įtaka energijos poreikiams

Vienas iš svarbiausių architektūrinių ir inžinerinių sprendimų yra įstiklinimo charakteristikos, veikiančios lango šilumos perdavimo koeficientą ir šiluminės energijos sutaupymą:

- plotas;
- stiklo rūšis, stiklo paketas;
- įstiklinimo sistema (rėminė ar berėmė);
- konstrukcijos tipas (aliuminio, plastikinio, medinio rėmo profilis).

Dažniausiai naudojamų langų 70–80 % ploto sudaro įstiklinimas, todėl nuo įstiklinimo savybių priklauso viso lango šilumos pralaidumas. Langų įstiklinimui daugiausiai naudojami iš dviejų ir daugiau stiklo lakštų sudaryti stiklo paketai. Stiklo paketai dažniausiai būna vienkameriniai (sudaryti iš dviejų stiklo lakštų su vienu tarpstikliu) ir dvikameriniai (sudaryti iš trijų stiklo lakštų su dviem tarpstikliais). Vietoj vieno stiklo lakšto stiklo paketuose taip pat gali būti naudojami du stiklai su plėvele tarp jų stiklo paketo garso izoliacijai, saugumui ir stiprumui pagerinti (Bliūdžius *et al.* 2005). Pvz., trijų stiklų (dviejų kamerų) stiklo paketo šilumos perdavimo koeficientas nedaug skiriasi nuo dviejų stiklų (vienos kameros) stiklo paketo šilumos perdavimo koeficiento. Tačiau lango naudojimo metu stiklo paketas yra veikiamas temperatūros ir drėgnio, todėl blogėja stiklo šilumos atspindžio savybės ir mažėja inertinių dujų koncentracija. Praradus inertinių dujų užpildą ir įvykus šilumą atspindinčios dangos oksidacijai, trijų stiklų paketo šiluminės savybės apie 1,5 karto geresnės už dviejų stiklų paketo savybes.

Balkonų įstiklinimo sistemų variantai energiniu požiūriu labai svarbu. Šiuo metu Lietuvoje sparčiai populiarėja berėmė balkonų stiklinimo sistema, tačiau ši sistema nėra

sandari ir "šalto" profilio (nėra kamerų, termotiltelių, naudojami neizoliuoti aliuminio profiliai).

Balkonų stiklinimo konstrukcijos tipo pasirinkimas taip pat veikia sutaupomą šiluminės energijos kiekį. Lietuvoje populiariausias balkonų stiklinimas yra aliuminio ir plastikinio profilio langais. Aliuminio rėmai yra ilgaamžiai, stiprūs, tačiau jų šilumos perdavimo koeficientas didžiausias, o tai reiškia, kad per rėmus prarandama daugiau šilumos ir rėmo paviršiaus temperatūra mažesnė. Medinių rėmų šilumos perdavimo koeficientas nedaug skiriasi nuo plastikinių rėmų šilumos perdavimo koeficiento ir šilumos imlumas mažas. Plastikiniai rėmai geriau negu mediniai tinka naudoti ten, kur neįmanoma arba sunku užtikrinti, kad patalpose nepadidėtų drėgmė (Stankevičius ir Bliūdžius 2007).

Be abejo, šilumos sutaupymo dydžiui turi ne tik įstiklinimo charakteristikos, bet ir begalės kitų veiksnių tokių kaip: vietovės klimatas, balkono orientacija pastato fasade, šiluminės izoliacijos įrengimas (siekinat išvengti šalčio tiltelių) ir t.t.

1.4. Atliktų tyrimų apžvalga Lietuvoje

Daugiabučių monitoringo programos 2008 m. duomenimis balkonų įstiklinimas yra gana populiarus pastatų modernizavimo priemonė. Lyginant su kitomis šilumos taupymo priemonėmis (sienų, stogų šiltinimas, langų keitimas, šilumos punkto modernizavimas ir t.t.) balkonų stiklinimo energetinis efektyvumas – 6 balai (10-ies balų sistemoje) (1.3 lentelė). Vertinama pagal atsipirkimo laiką (metai), šilumos sutaupymai, tenkantys šildomo ploto vienteui (kWh/m^2) ir SEK (Lt/MhW).

1.3 lentelė. Priemonių efektyvumo rodikliai 10-ies balų sistemoje (Rogoža *et al.* 2008)

Priemonės	Atsipirkimas	SEK	Sutaupymai	Vidurkis
Langų keitimas	10,0	10,0	6,6	8,9
Pastato šildymo ir karšto vandens sistemų modernizavimas	1,0	1,0	1,0	1,0
Visų išorės sienų apšiltinimas	10,0	10,0	10,0	10,0
Šilumos punkto ar katilinės modernizavimas	9,6	9,8	2,2	7,2
Stogų rekonstravimas juos papildomai apšiltinant	9,9	9,8	3,5	7,7
Balkonų įstiklinimas	8,2	8,3	1,5	6,0

1.3 lentelėje pateikti duomenys neįvertina fakto, kad ne visuose daugiabučiuose namuose yra balkonai ir, kad ne visi jie buvo įstiklinami. Vadinasi, įstiklinant visus balkonus pastatuose galime pasiekti dar geresnių rezultatų.

Daugiabučių monitoringo programos ataskaitos duomenimis šilumos sutaupymai įstiklinus balkonus siekia 4 % arba 4 kWh/m². 1.4 lentelėje pateiktas atskirų šilumos taupymo priemonių šilumos sutaupymas procentais su patvirtintais energinio efektyvumo rodikliais.

1.4 lentelė. Energinio efektyvumo rodiklių palyginimas su procentiniais šilumos sutaupymais (Rogoža et al. 2008)

Eil. Nr.	Modernizavimo priemonė	Energinis efektyvumas (balais)	Šilumos sutaupymai (%)
1.	Šildymo ir karšto vandens sistemų pertvarkymas:		
1.1	pastato šildymo ir karšto vandens sistemų modernizavimas ir rekonstravimas, įskaitant šilumos įrenginių modernizavimą ir (ar) rekonstravimą butuose (šilumos reguliavimo ir apskaitos prietaisų, kitų priemonių, būtinų sistemos efektyvumui padidinti, įrengimas	12	2
1.2	tik šilumos punkto ar katilinės modernizavimas ir (ar) rekonstravimas	8	7
2.	Langų keitimas:		
2.1	langų keitimas (jeigu keičiama arba pakeista ne mažiau kaip 80%)	15	26
2.2	langų keitimas (jeigu keičiama arba pakeista mažiau kaip 80% langų, tačiau ne mažiau kaip 50% langų)	8	21
3.	Balkonų (lodžių) įstiklinimas pagal bendrą projektą stiklinant visus projekte numatytus balkonus (lodžijas)	3	4
4.	Stogų rekonstravimas juos papildomai apšiltinant, įskaitant naujų apšiltintų šlaitinių stogų įrengimą	5	11
5.	Fasadinių sienų apšiltinimas:		
5.1	visų išorės sienų apšiltinimas	16	38
5.2	galinių išorės sienų apšiltinimas	10	13

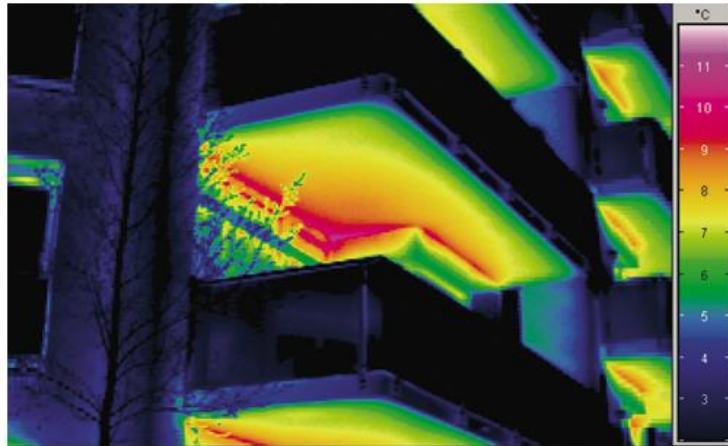
Kaip matyti iš 1.4 lentelės rezultatų, įstiklinus balkonus sutaupoma mažiausiai šiluminės energijos. Tačiau šioje lentelėje pateikiami santykiniai dydžiai, o procentiniai šilumos sutaupymai nėra objektyvus dydis lyginti skirtingus pastatus, nes mažai šilumos vartojančiame pastate įdiegus net mažai efektyvią priemonę galima tikėtis palyginus didelių procentinių sutaupymų.

1.5. Balkono izoliacija

Balkonų stiklinimas be papildomos balkono izoliacijos gali neužtikrinti tinkamų ir lauktų komfortinių sąlygų. Daugelio daugiabučių namų balkonų plokštės yra susidevėjusios, pažeistos temperatūros svyravimų.

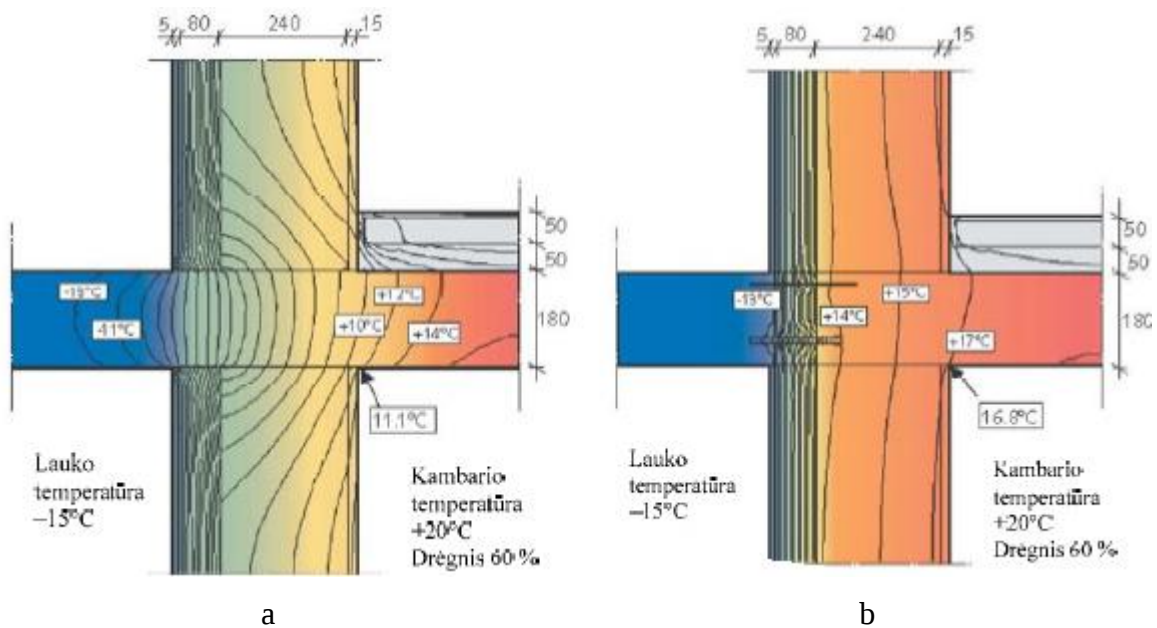
Senuose daugiabučiuose namuose balkonai dažniausiai buvo įrengiami pratęsus perdangos plokštę. Tokiuose balkonuose plokštės ir sienos sandūroje šilumonės izoliacijos sluoksnis pertraukiamas ir susidaro šalčio tilteliai, t. y. sandūros zonoje ant vidinio sienos

paviršiaus temperatūra žemesnė (1.1, 1.2 a pav.). Šalčio tilteliai ne tik padidina šilumos nuostolius, bet tuo pačiu padidina grybelių ant sienų susidarymo grėsmę.



1.1 pav. Šalčio tilteliai balkono ir sienos sandūroje (Tilley 2010)

Vienas iš būdų, leidžiančių sumažinti šilumos nuostolius, taip pat ir sienų drėkimą, yra balkono plokštės izoliavimas ir sienų apšiltinimas (1.2 pav.)



1.2 pav. Temperatūrų pasiskirstymas senoje: a – balkono plokštė be izoliacijos, b – balkono plokštė su izoliacija (Jonaitis ir Šneideris 2007)

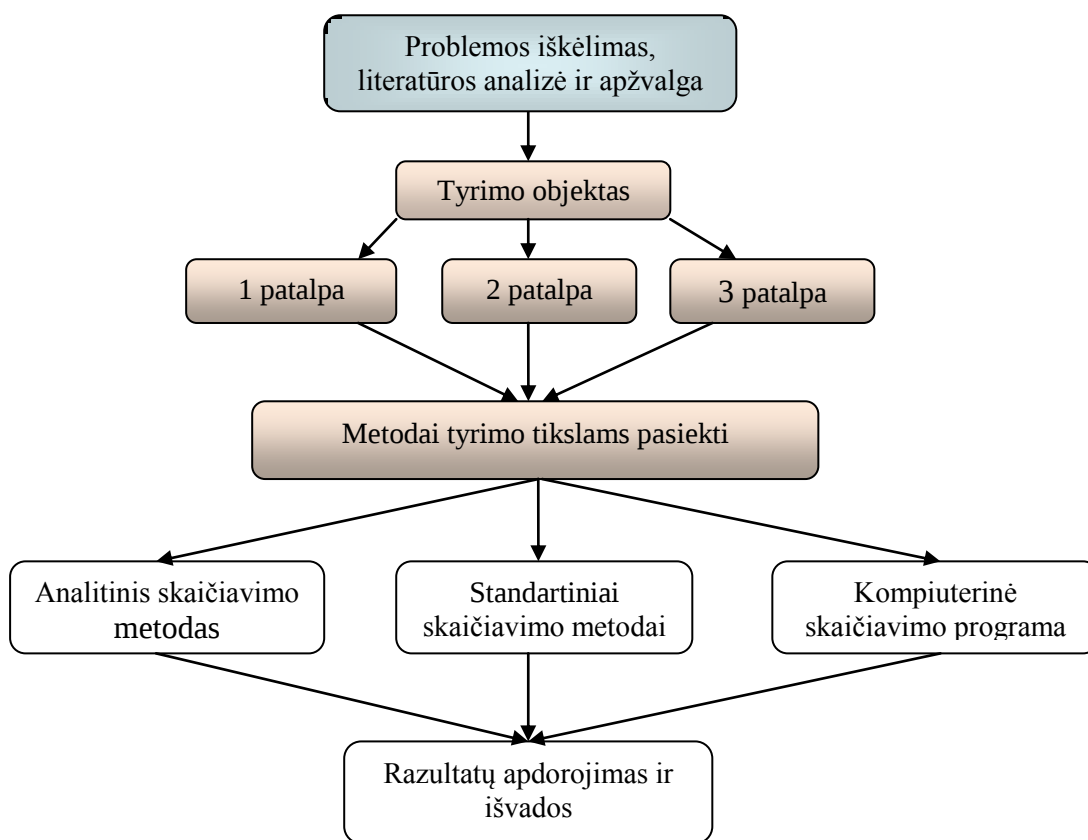
Kaip matyti iš 1.2 b paveikslo, sienos ir plokštės sandūros zonoje (įrengus izoliaciją) sienos vidinio paviršiaus temperatūra padidėja. Vadinasi, galima teigti, kad įstiklinus ir papildomai apšiltinus balkonus galime žymiai sumažinti šilumos nuostolius bei pagerinti patalpų mikroklimatą.

2. Tyrimo struktūra ir vertinimo kriterijai

Antrajame skyriuje yra pateikiama tyrimo struktūra bei trumpa tyrimo objektų apžvalga. Aprašyti vertinimo kriterijai ir skaičiavimuose priimtos prielaidos, leidžiančios supaprastinti ir tiksliau palyginti gautus rezultatus.

2.1. Tyrimo struktūra

Siekiant kuo tiksliau palyginti ir įvertinti balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo įtaką patalpų vidaus mikroklimatui, įtaką šiluminės energijos sutaupymo dydžiui pasirinkta išnagrinėti keli skirtingi variantai panaudojant skirtingus metodus. Bendroji šio darbo struktūra pateikta 2.1 paveiksle.

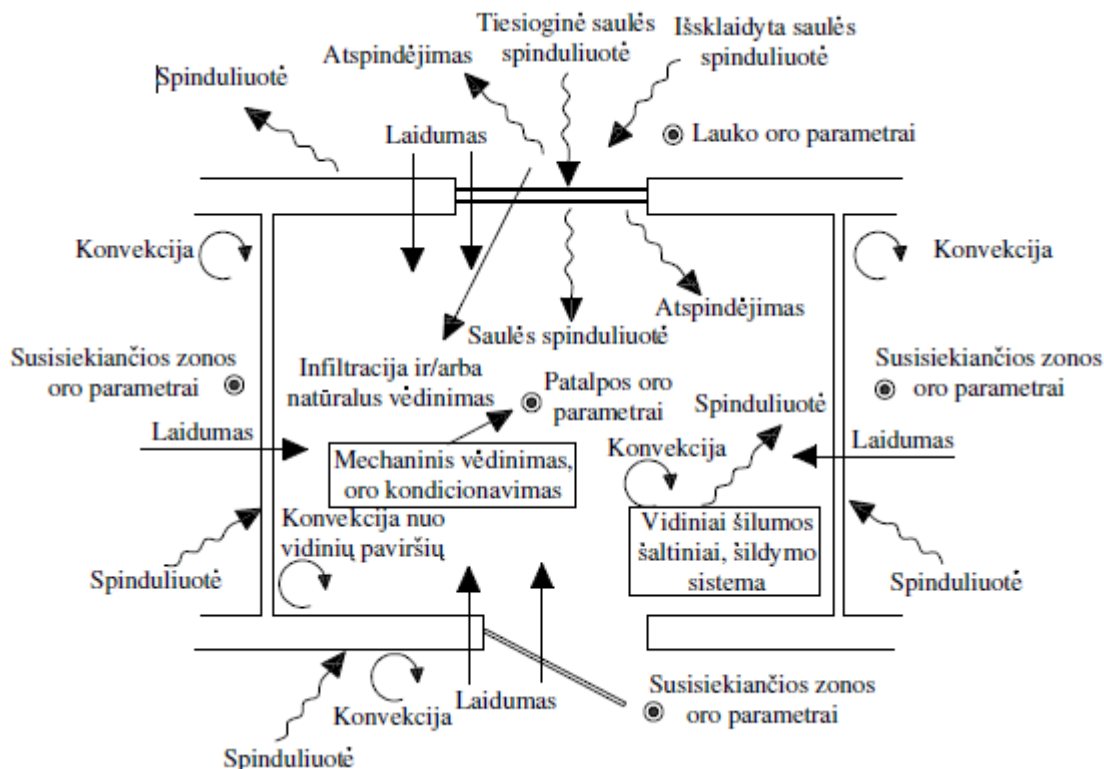


2.1 pav. Darbo struktūra

2.2. Vertinimo kriterijai ir prielaidos

Patalpose veikia sudėtingi procesai ir patalpos oro parametrus lemia daugelis veiksnių (2.2 pav.). Įvertinti visus veiksnius (atitvarų, paviršių fizikines savybes, galimą energijos srautų sugerimą ar atspindėjimą, šilumos akumuliaciją, šilumos šaltinių išsiskyrimus ir t.t.)

yra ypač sudėtinga, todėl labai dažnai yra atliekami skaičiavimo modelio (patalpos ir visų atitvarų) supaprastinimai ir priimanamos prielaidos.



2.2 pav. Patalpos energijos srautai (Motuzienė 2010)

Šiame darbe atliekant skaičiavimus buvo priimtos šios prielaidos, padėsiančios supaprasti ir įvertinti gautus rezultatus:

- langų konstrukcijos tipas – dviejų stiklų paketo langai;
- skaičiavimuose atsižvelgiama į balkono orientaciją pastato fasade, atitvarų padėtis aukščio atžvilgiu;
- gretimų patalpų temperatūros pasirinktos vienodos, t. y 20°C ;
- saulės spinduliuotės (pritekėjimai) nevertinami;
- energijos sutaupymai skaičiuojami patalpos ploto ir tūrio vienetui: m^2 , m^3 .

Duomenys ir kiti skaičiavimams bei kompleksiniam vertinimui reikalingi naudotini šaltiniai:

- Matavimų duomenys;
- STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui“, STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“;
- Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringas (1 ir 2 etapas).

Vertinimo kriterijai:

- Techninis vertinimas:
 - priemonės energinis efektyvumas (šiluminiai sutaupymai, kWh/m^2);
 - komfortinės (higieninės sąlygos) – patalpų vidaus oro temperatūra ir santykinė drėgmė.
- Ekonominis vertinimas:
 - sutaupytos energijos kaina (SEK);
 - paprastas atsipirkimo laikas.

2.3. Trumpa tyrimo objektų apžvalga

Tiriami trys gyvenamieji pastatai Vilniuje, Fabijoniškių, Baltupių ir Šeškinės rajonuose (2.3 pav.). 2.1 lentelėje pateikti šių pastatų pagrindiniai duomenys.



1



2



3

2.3 pav. Daugiabučiai gyvenamieji pastatai: 1– Fabijonškėse, 2 – Šeškinėje, 3 – Baltupiuose

2.1 lentelė. Tiriamųjų pastatų pagrindiniai duomenys

Pagrindiniai duomenys	S. Stanevičiaus g., Fabijoniškės	Didlaukio g., Baltupiai	Gelvonų g., Šeškinė
Pastatymo metai	1988	1982	1982
Aukštų skaičius	5	5	5
Sienos	Gelžbetonio plokštės	Plytos	Gelžbetonio plokštės
Šildymas	Centrinis šildymas	Centrinis šildymas	Centrinis šildymas
Tiriamoji patalpa (butas) pastato aukšte	4	5	5
Balkono stiklinimo konstrukcija	Rėminė	Rėminė	Rėminė
Balkono įstiklinimas	Nėra	Plastikinio profilio	Aliuminio profilio
Balkono apšiltinimas	Nėra	Sienos ir grindys – medinės dailylentės	Nėra

Visi pasirinktieji pastatai pastatyti prieš 24–30 metų. Sienų, stogų, langų būklė šiuose pastatuose vertinama vidutiniškai (3–4 balai) (Vilniaus katalogas 2011).

3. Tyrimo metodikos

Atitvarų šilumos perdavimo koeficientas U_w gali būti nustatomas šiais būdais: eksperimentiniais tyrimais, standartiniai skaičiavimo metodais ir kompiuterinės programos pagalba. Šiame skyriuje pateikta šių trijų skirtingų skaičiavimo metodų aprašymas, jų privalumai ir trūkumai.

Taip pat pateikti šiuos skaičiavimo metodus reglamentuojantys dokumentai, pagrindinės formulės ir naudojami prietaisai.

3.1. Standartiniai (analitiniai) skaičiavimai

Pastatų atitvarų šiluminių savybių skaičiavimo metodai pateikti žinynuose, projektavimo normose ir kt. Tačiau langų šilumos perdavimo koeficiento U_w vertę skaičiuojant pagal skirtingas metodikas, kartais gaunami skirtingi rezultatai (didesnės ar mažesnės paklaidos), kadangi nurodomos skirtingos ribojančių aplinkų sąlygos, medžiagų šiluminės savybės, šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal teoriškai pateiktas medžiagų šilumos laidumo vertes ir pan. Ši skaičiavimo metodika netaikoma skaičiuoti:

- šiluminių tiltelių poveikį langų ir durų rėmų jungtyse su pastato atitvaromis;
- saulės spinduliavimo poveikį;
- šilumos perdavimą dėl oro filtracijos (langų ir durų nesandarumo).

Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimai pateikti statybos techniniuose reglamentuose nustatytais reikalavimais: STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui“ ir STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“.

Toliau pateikiamos pagrindinės formulės, reikalingos atitvarų šilumos perdavimo koeficiento nustatymui:

Atitvarų visuminė šiluminė varža apskaičiuojama:

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}, \quad (1)$$

čia: R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža, m^2K/W ;

R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža, m^2K/W ;

R_s – atitvaros sluoksnių suminė šiluminė varža, m^2K/W .

Atitvarų sluoksnių suminė šiluminė varža R_s , m^2K/W , apskaičiuojama pagal formulę:

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n + (R_g + R_q + R_u); \quad (2)$$

čia: $R_1, R_2, \dots, R_n$ – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos, m^2K/W ;

R_g – oro tarpo šiluminė varža, m^2K/W ;

R_q – plono sluoksnio (plėvelės) šiluminė varža, m^2K/W .

R_u – nešildomos pastogės šiluminė varža.

Termiškai vienalyčio sluoksnio šiluminė varža R , $m^2 \cdot K/W$, apskaičiuojama pagal formulę:

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}} ; \quad (3)$$

čia: d – sluoksnio storis, m ;

λ_{ds} – medžiagos sluoksnio projektinis šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$.

Atitvaros šilumos perdavimo koeficientas U , $W/(m^2 \cdot K)$, apskaičiuojamas:

$$U = \frac{1}{R_t}, W/(m^2 \cdot K) \quad (4)$$

Lango šilumos perdavimo koeficientas U_w apskaičiuojamas pagal sekančią lygtį, $W/(m^2 \cdot K)$:

$$U_{wd} = \frac{A_g \cdot U_g + A_{fr} \cdot U_{fr} + l_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_{fr}} ; \quad (5)$$

čia: U_g – įstiklintos dalies šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;

U_{fr} – rėmo šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$;

Ψ_g – ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas dėl įstiklinimo, tarpiklių ir rėmo šiluminės sąveikos, $W/(m \cdot K)$;

A_g – įstiklintos dalies plotas, m^2 ;

A_{fr} – lango rėmo plotas, m^2 ;

l_g – įstiklinimo perimetro ilgis, m .

Ši skaičiavimo metodika gali būti naudojama tik tokių langų šilumos perdavimo koeficientui apskaičiuoti:

- su įvairiu įstiklinimu (stiklas ar plastikai; vienastiklis ar daugiastiklis įstiklinimas; stiklai su mažo išspinduliavimo dangomis arba be jų; oro arba kitų dujų pripildyti stiklo paketai);
- su skirtingais rėmais (mediniai; plastikiniai; metaliniai su šilumą izoliuojančiais intarpais arba be jų; arba iš bet kokio kito medžiagų derinio);
- su langinėmis, sudarančiomis papildomą šiluminę varžą, įvertinant jų sandarumą (oro laidumą).

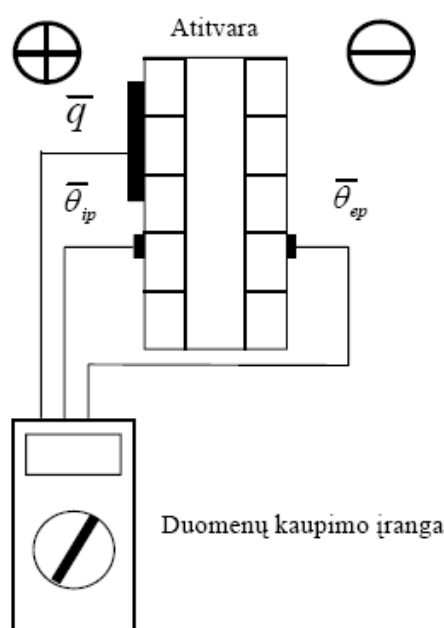
3.2. Eksperimentiniai tyrimai

Fizikiniai langų gaminių bandymai dar ir dabar yra pati patikimiausia priemonė, nustatanti jų šiluminį veikimą. Prieš platesnį kompiuterinių programų šilumos perdavimui ir langų saulės optinėms savybėms modeliuoti atsiradimą fizikiniai bandymai buvo pagrindinė priemonė, nustatant veikimo indeksus, tokius, kaip U faktorius, saulės šilumos pritekėjimo koeficientas, kondensacijos varžas ir t.t. Netgi šiandien, esant didžiuliam tikslų kompiuterinių programų pasirinkimui, yra būtina įteisinti kompiuterines modeliavimo programas fizikinių bandymų rezultatų atžvilgiu, patikrinant atitiktį su realybe (Stankevičius ir Bliūdžius 2007).

Eksperimentiniai tyrimai skirstomi į laboratorinius ir natūrinius. Laboratorinių tyrimų metu šiluminėms savybėms nustatyti dirbtinai sukuriamos ir palaikomos aplinkos sąlygos. Natūrinių tyrimų metu prisitaikoma prie natūralių aplinkos sąlygų matavimams pasirenkant tokį laiką, kad šilumos srautai būtų kuo tolygesni (reikia vengti tiesioginių saulės spindulių įtakos, didelių temperatūros svyravimų per parą) (Bliūdžius *et al.* 2005).

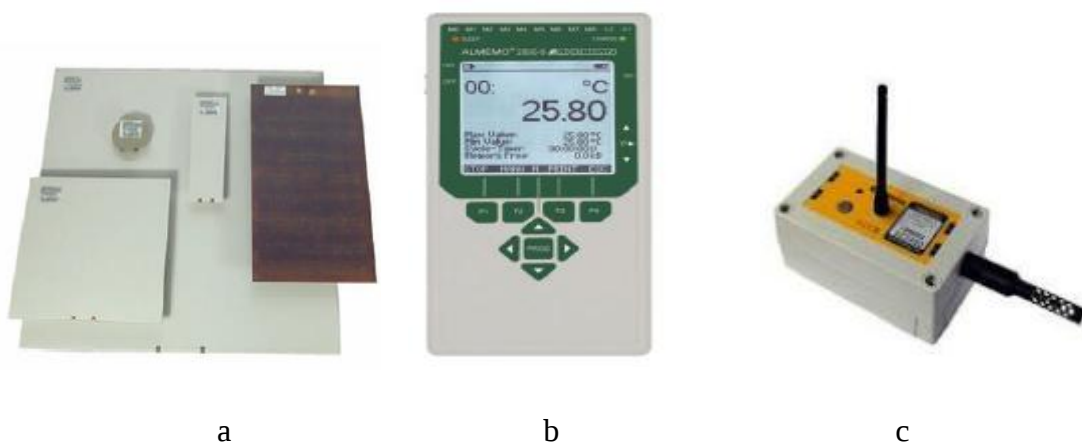
Šiuo metu vienas iš dažniausiai atliekamų tyrimų atitvarų šilumos perdavimo koeficiento nustatymui naudojamas *šilumos srauto metodas*.

Šilumos srauto metodas: matuojamas šilumos srauto tankis ir temperatūrų skirtumas. Šiam matavimui naudojami kalibruoti šilumos srauto tankio matuokliai, kuriais matuojamas per bandymo vietą pereinantis šilumos srauto tankis. Temperatūrų skirtumo ir šilumos srauto tankio santykis yra šiluminė varža (Bliūdžius *et al.* 2005). Paviršių temperatūros ir šilumos srauto tankio matavimo zonų išdėstymo schema ir šilumos perdavimo koeficiento metu matuojami dydžiai pateikiami žemiau esančiame paveiksle – schemeje.



3.1 pav. Zondų išdėstymo vieta ir matuojamieji kintamieji dydžiai (Ragoža *et al.* 2008)

Anksčiau pateiktame paveiksle pliuso ženklas apibūdina matuojamos patalpos vidaus, o minuso ženklas – lauko išorės parametrus. Matuojamos patalpos ar pastato viduje įrengiami atitvaros šilumos srauto tankį fiksuojanti plokštelė q ir vidaus paviršiaus temperatūrą θ_{ip} matuojantis zondas (3.2 pav.). Išorinėje atitvaros paviršiaus dalyje montuojamas temperatūrą θ_{ep} matuojantis zondas.



3.2 pav. a – šilumos srauto matavimo plokštelės, b – ALMEMO 2290-9 daugiakanalnis duomenų kaupiklis, c – temperatūros ir santykinės drėgmės jutiklis Tinytag TGRF-3500-A

Šiuo matavimo metodu galima nustatyti ir atskirų lango konstrukcijos dalių šilumos perdavimo koeficientus, pavyzdžiui, įstiklinimo centrinės dalies šilumos perdavimo koeficientą U_g arba lango rėmo šilumos perdavimo koeficientą U_f . Turint šiuos duomenis, toliau galima apskaičiuoti įvairių matmenų langų šilumos perdavimo koeficientus pagal LST EN ISO 10077–1 pateiktą metodiką.

Šilumos srauto tankis q , W/m^2 , matuojamas šilumos srauto tankio matuokliais (šilumai laidžiomis plokštelėmis, kuriose sumontuotos termoporos). Bandinio šiltosios ir šaltosios pusės paviršių temperatūros matuojamos termoporomis. Išmatavus šilumos srauto tankį ir bandinio paviršių temperatūrų skirtumą, apskaičiuojama bandinio suminė šiluminė varža:

$$R_s = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{q}, m^2 \cdot K/W \quad (6)$$

čia: θ_{si} – bandinio šiltosios pusės paviršiaus temperatūra, $^{\circ}C$;

θ_{se} – bandinio šaltosios pusės paviršiaus temperatūra, $^{\circ}C$;

q – šilumos srauto tankis q , W/m^2 .

Visuminė šiluminė varža šiame taške R_t apskaičiuojama prie suminės šiluminės varžos pridėjus standartinį paviršinių šiluminių varžų sumos priedą – $0,17 m^2 \cdot K/W$.

Apskaičiavus vidutinės lango rėmo ir įstiklintos dalies visuminės šiluminės varžas toliau apskaičiuojama vidutinė lango visuminė šiluminė varža $R_{w,t}$:

$$R_{w,t} = \frac{A_g - A_f}{\frac{A_g}{R_g} + \frac{A_f}{R_f}}, m^2 \cdot K/W \quad (7)$$

čia: A_g ir A_f – lango įstiklintos dalies ir lango rėmo plotai, m^2 ;

R_g ir R_f – lango įstiklintos dalies ir lango rėmo visuminės šiluminės varžos, $m^2 \cdot K/W$.

Vidutinis lango šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$U = 1/R_{w,t} W/m^2 \cdot K \quad (8)$$

Šio matavimo metodo trūkumas yra nepakankamas sudėtingų šiluminių tiltelių matavimo tikslumas, ypač rėmo konstrukcijose ir įstiklinimo pakraščio zonoje. Sudėtingos geometrinės formos rėmo profiliuose šilumos perdavimas vyksta dvimačiame (kartais ir trimačiame) lauke, ir šį šilumos srautą sudėtinga tiksliai išmatuoti plokšteliniais šilumos srauto matuokliais. Taip pat šiuo metodu neįvertinama oro infiltracijos ir profilių vėdinimo įtaka šilumos perdavimui per lango konstrukciją (Bliūdžius *et al.* 2005).

3.3. Modeliavimas kompiuterine programa

Dar prieš pasirodant asmeniniams kompiuteriams, šilumos pernešimo statinių konstrukcijose modeliavimas buvo atliktas mokslinėse laboratorijose, naudojant brangius stacionarius nenešiojamus kompiuterius ir naudojant vieną iš skaitmeninio modeliavimo programų. Projektuotojai ir architektai iš vienos pusės ir gamintojai iš kitos turėjo remtis duomenimis, gautais iš šiluminio bandymo, kuris buvo brangus, tiek pinigine, tiek ir laiko išraiška, ir todėl buvo ištirtas tik ribotas bandinių skaičius. Tai turėjo įtakos ne tik projektuotojams ir gamintojams, bet ir reglamentų atstovams, o galiausiai ir vartotojams, kurie turėjo remtis nepatikimais duomenimis apie langų gaminių bei kitų statybos gaminių energijos parametrus (Stankevičius ir Bliūdžius 2007).

Langų šilumos izoliacinėms savybėms tirti naudojamos temperatūrinio lauko ir šilumos perdavimo koeficiento skaičiavimo programos. Šios programos skirtos sudėtingų konstrukcijų šilumos perdavimo koeficientui nustatyti, šiluminiams tilteliams įvertinti ir t.t. Dauguma šių programų pritaikytos dvimačiams ir trimačiams temperatūriniams laukams skaičiuoti. Beveik visos šios paskirties programos remiasi baigtinių skirtumų skaičiavimo

metodu, daug kartų perskaičiuojant temperatūras, kol skaičiavimo paklaida priartėja prie nustatytos vertės.

Šiuo metu yra viena gana nesudėtinga Architektūros ir statybos institute (ASI) paruošta lietuviška programa „PEP“ („Pastato energetinis pasas“). JAV ir Kanadoje plačiai naudojama „RESFEN 4“ programa.

Dvimačių temperatūrinių laukų skaičiavimui yra pritaikyta modeliavimo programa „THERM 5.0“, sukurta šilumos perdavimo koeficientui per langų konstrukcijas apskaičiuoti, tačiau ją galima naudoti ir kitų atitvarinių konstrukcijų temperatūriniam laukui skaičiuoti.

Skaičiuojant pagal „THERM 5.0“ programą, iš pradžių pagal mastelį nubraižomas konstrukcijos elementas, nurodomos medžiagos, iš kurių jis sudarytas, ir šių medžiagų šiluminės savybės. Jeigu panaudotos medžiagos, kurių nėra programos bibliotekoje, galima jas įvesti papildomai.

Nubraižius konstrukciją, nustatomos aplinkos oro sąlygos šiltojoje ir šaltojoje konstrukcijos pusėje bei pažymimi paviršiai, per kuriuos šiluma iš vidaus oro patenka į konstrukciją ir per kuriuos šiluma išeina į išorę. Skaičiavimo metu konstrukcija padalijama į smulkius plotelius, skaičiuojamas per kiekvieną iš jų praeinantis šilumos srautas ir temperatūros. Galiausiai programa pateikia apskaičiuotą konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientą, konstrukcijos skerspjūvyje nubraižomos temperatūrinius laukus žyminčios izotermos arba šilumos srauto kryptys, skirtingomis spalvomis išryškinami plotai su skirtingomis temperatūromis arba skirtingais šilumos srauto tankiais.

4. Eksperimentiniai tyrimai ir rezultatų analizė

Siekiant įvertinti tiriamųjų patalpų šilumos poreikius buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai šilumos srauto tankio metodu. Eksperimentiniai tyrimai atlikti patalpoje su neįstiklintu balkonu ir patalpoje su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais.

Analizuojant patalpų mikroklimato sąlygas nagrinėjamos patalpose buvo atliekami detalūs temperatūros ir santykinės drėgmės matavimai. Šiais tyrimais taip pat įvertintos ir atitvarinių konstrukcijų šiluminės charakteristikos, t.y išmatuotos atitvarų paviršiaus ir išorės temperatūros, šiluminės varžos, reikalingos šilumos perdavimo koeficiento nustatymui (1 ir 2 priedas).

Matuojant būdingas pastato atitvaras buvo pasirinkti 6 matavimo taškai:

- keturi taškai: patalpos ir įstiklinto balkono lango stiklo paketas ir jo rėmas;
- išorinė pastato siena;
- vidinė balkono siena.

Kiekvieno matavimo duomenys, išorės ir vidaus paviršių temperatūros, taip pat šilumos srauto tankis, buvo kaupiami atitinkamu laikotarpiu, t.y duomenys kaupiami 4 paras. Atlikus grafinę duomenų analizę, tolimesniems skaičiavimams parinktas didžiausio patikimumo laikotarpis, kuriame šilumos srauto tankio, vidaus ir išorės temperatūrų svyravimai yra mažiausi. Eksperimentinio tyrimo metu buvo stengiamasi išvengti papildomo išorinių ir vidinių veiksnių nestacionarumo įtakos tyrimo rezultatams.

Žemiau pateikiama pagrindinė formulė, kuri naudojama apskaičiuoti šilumos perdavimo koeficientą pagal eksperimentinio tyrimo rezultatus:

$$U_{GF} = \frac{1}{R_{si} + \frac{Q_{ip} - Q_{ep}}{q} + R_{se}} \quad (9)$$

čia: Q_{ip} – pasirinkta patikimo laiko intervalo vidutinė vidinio paviršiaus temperatūra, $^{\circ}\text{C}$;

Q_{ep} – pasirinkta patikimo laiko intervalo vidutinė išorinio paviršiaus temperatūra; $^{\circ}\text{C}$;

q – pasirinkto patikimo laiko intervalo vidutinis šilumos srauto tankis, W/m^2 ;

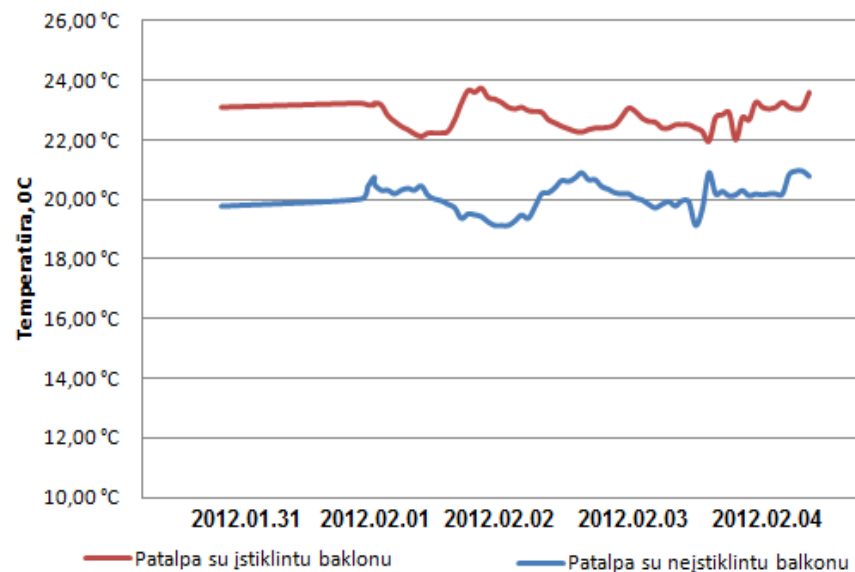
R_{si} – vidaus paviršiaus šiluminė varža, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$,

R_{se} – išorės paviršiaus šiluminė varža, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ (Rogoža *et al* 2008).

4.1 Santykinės oro drėgmės ir temperatūros kitimas

Santykinės oro drėgmės ir vidaus oro temperatūros kitimas buvo matuojamas tam tikrose patalpos vietose, t. y. kuo toliau nuo galimų rezultatų iškraipymo veiksnių. Šie

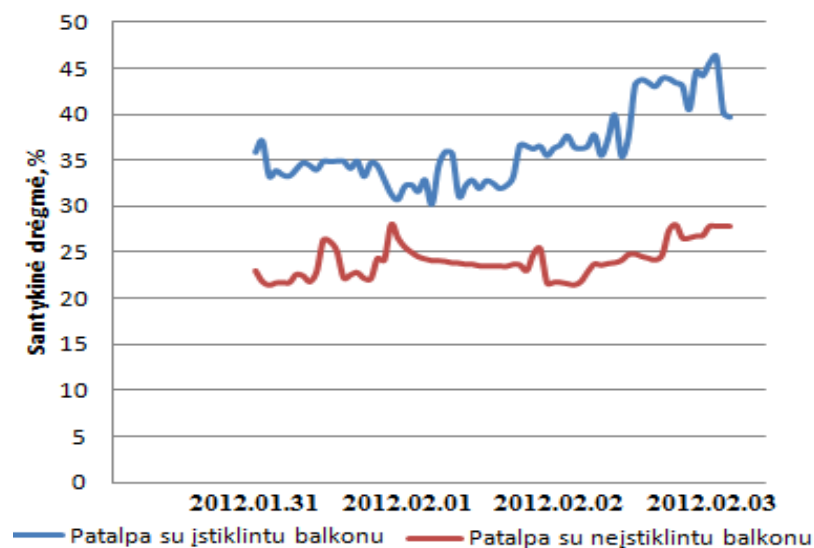
parametrai buvo matuojami analizuojamosiose patalpose nuo 2012-01-31 iki 2012-02-03. Pasirinktas laiko intervalas – 30 minučių. Išmatuotų temperatūros kitimo priklausomybės nuo išorės oro temperatūros ir patalpų vidaus santykinės drėgmės kitimo grafikai pateikti 4.1 ir 4.2 paveiksluose.



4.1 pav. Temperatūrų kitimo grafikas

Analizuojamosiose patalpose temperatūra kito nuo 19,1–23,7 °C, kai vidutinė lauko oro temperatūra buvo apie -22 °C. Patalpoje su įstiklintu balkonu vidutinė temperatūra buvo beveik 4 °C didesnė, tuo tarpu nešildomos patalpos (balkono) vidutinė temperatūra svyravo apie -6 °C.

Santykinė oro drėgmė analizuojamosiose patalpose kito nuo 22–47 % (4.2 pav.). Tiriamosios patalpos su įstiklintu balkonu vidutinė santykinė drėgmė buvo 36,4 %, o patalpos su neįstiklintu balkonu – 24 %.



4.2 pav. Santykinės oro drėgmės kitimo patalpose grafikas

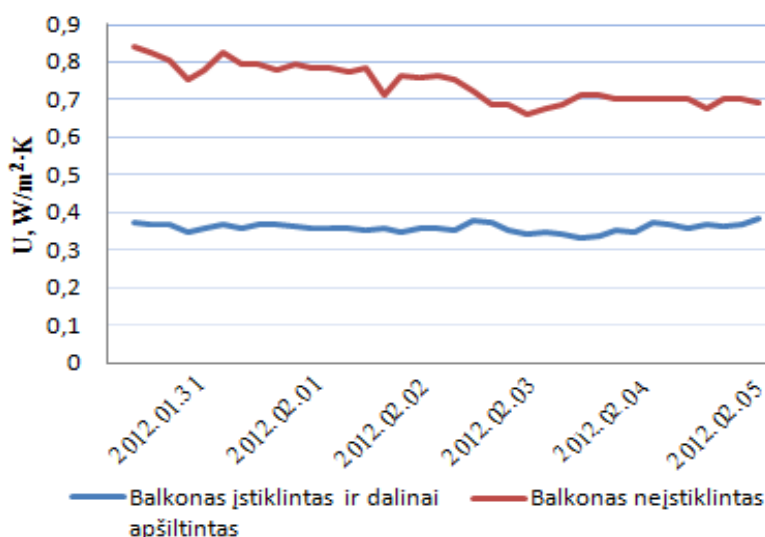
Pastebėta, kad patalpose per matavimo laikotarpį buvo per maža santykinė drėgmė, nes komfortinių sąlygų santykinės drėgmės intervalas svyruoja nuo 40 % iki 60 %.

4.2. Pastato atitvarų šiluminių charakteristikų matavimo rezultatai

Matavimo metu buvo analizuojamos keturių skirtingų išorės atitvarų (šildomos ir nešildomos patalpos, t. y. balkono sienų ir langų) šiluminės charakteristikos. Matavimai buvo atliekami nuo 2012.01.31 iki 2012.02.05 30-ies minučių duomenų kaupimo intervalu (1 ir 2 priedas).

Šilumos perdavimo koeficiento nustatymui buvo pasirinktas toks patikimumo intervalas, kurio metu išorinių šilumos šaltinių įtaka minimali ir šilumos mainų procesas artimas stacionarioms sąlygoms. Matavimo metu atskirai buvo fiksuojami sienos, stiklo paketo ir rėmo paviršiaus temperatūrų ir šilumos srauto kitimo dydžiai. Atitvarų šiluminės charakteristikos skaičiuojamos įvertinus šių atskirų minėtų konstrukcijos elementų šilumos perdavimo koeficientus įvertinant tų elementų plotą.

Pagal išmatuotas paviršiaus temperatūras ir faktinį šilumos srautą per atitvarą kiekvienam matavimo taškui apskaičiuojamas konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientas išorinei sienai ir langui (4.3, 4.4 pav.).



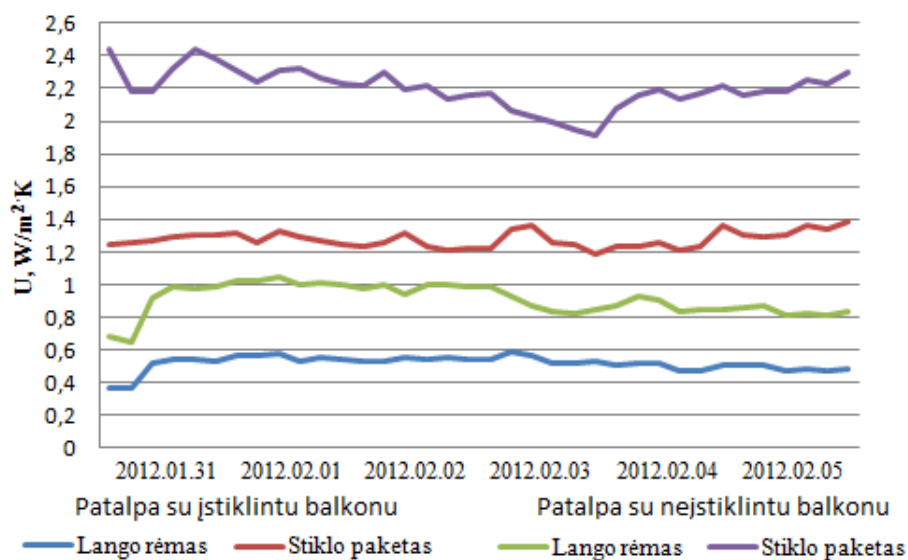
4.3 pav. Išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas

Išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas, įvertinus vidaus ir išorės paviršiaus normines šilumines varžas, lygus:

- išorinės (mūrinės) sienos, kuri ribojasi su įstiklinto balkono nešildoma patalpa, $U_{GF} = 0,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

- išorinės (monolitinės) sienos, kuri ribojasi su neįstiklinto balkono patalpa, $U_{GF} = 0,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Iš gautų rezultatų matyti, kad išorinės sienos faktiniai šilumos perdavimo koeficientai viršija norminius ($U_N = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) šilumos perdavimo koeficientus.



4.4 pav. Lango elementų šilumos perdavimo koeficientų kitimas

Įvertinus lango stiklo paketo ir rėmo šilumines charakteristikas bei atsižvelgus į šių elementų plotą – apskaičiuotas bendras faktinis lango šilumos perdavimo koeficientas yra:

- plastikinio profilio langai (esant balkono įstiklinimui) – $U_{GF} = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ir atitinka norminius $U_N = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ šilumos perdavimo koeficiento reikalavimus;
- seni mediniai langai (balkonas neįstiklintas) – $U_{GF} = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

Skaičiavimuose daroma prielaida, kad stiklo paketas užima 80 %, o rėmas 20 % viso lango ploto.

5. Atitvarų šilumos perdavimo koeficiento nustatymas analitinių skaičiavimų būdu ir rezultatų analizė

Šiame skyriuje pateikiami analitinių (standartinių) skaičiavimo būdu nustatyti tiriamųjų patalpų atitvarų šilumos perdavimo koeficientai. Šilumos perdavimo koeficientas U , W/m^2K , apskaičiuotas ne tik patalpos atitvarų, bet ir nešildomos patalpos, t. y balkono lango (5.1 lentelė).

Norminiai patalpų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimai atlikti remiantis statybos techninio reglamentų nustatytais reikalavimais: STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui“ ir STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“. Šiuose skaičiavimuose gretimų patalpų temperatūros pasirinktos vienodos ($\theta_i = 20^\circ C$) ir pritekiai per atitvaras nevertinami. Tiriamųjų patalpų ir nešildomos patalpos (įstiklinto balkono) vidaus oro temperatūra pasirinkta tokia, kuri buvo gauta eksperimentinių tyrimų matavimo metu (1 ir 2 priedas).

Atitvarų šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuotas pagal 3.1 poskyryje pateiktas formules. Medžiagų šiluminių techninių dydžių projektinės vertės parinktos pagal STR 2.09.04:2002 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos suvartojimas“.

5.1 lentelė. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai

Patalpa	$\theta_i, ^\circ C$	Atitvarų charakteristikos				
		Atitvara/ orientacija	Matmenys, m		Plotas, m^2	U, W/m^2K
			Ilgis	Aukštis (plotis)		
1	2	3	4	5	6	7
1 patalpa (neįstiklintas balkonas)	19,1	IŠ1/P	0,90	2,50	2,25	1,213
		IŠ2/R	2,30	2,50	5,75	1,213
		L1	1,20	1,22	1,46	1,582
		L1/D	0,70	2,99	2,09	1,601
2 patalpa (įstiklintas balkonas plastikinio profilio langais)	23,7	IŠ1/Š	0,80	2,50	2,00	0,90
		L1	1,18	1,4	1,65	1,429
		L1/D	0,74	2,18	1,61	1,419
		L2/B	2,72	0,8	2,18	1,500
3 patalpa (įstiklintas balkonas aliuminio profilio langais)	20,0	IŠ1/V	1,05	2,50	2,63	1,171
		L1	1,18	1,4	1,65	1,429
		L1/D	0,74	2,18	1,61	1,387
		L2/B	2,72	0,8	2,18	1,510

Žymėjimai: IŠ1/P, IŠ2/V - išorinė siena/orientacija pasaulio šalių atžvilgiu, L1 - patalpos langas, L1/D balkono durys, L2/B - įstiklinto balkono langas.

Iš 4.1 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad visose trijose patalpose sienų šilumos perdavimo koeficientas nemažai viršija norminę šilumos perdavimo koeficiento reikšmę $U_N = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mažiausias sienų šilumos perdavimo koeficientas nustatytas patalpoje (sienos tipas – mūrinė) su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais. Tuo tarpu patalpos (sienos tipas – monolitas), besiribojančia su nešildoma balkono patalpa, kai balkonas įstiklintas aliuminio profilio langais, sienų šilumos perdavimo koeficientas yra $1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kaip matyti, šių skirtingų tipų sienų šilumos perdavimo koeficiento dydžiai mažai skiriasi, nors yra žinoma, kad mūrinės sienos šilumos laidumas yra didesnis ($\lambda = 0,95 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), nei monolitinės. Tai galime paaiškinti tuo, kad įstiklinus balkoną plastikinio profilio langais padidėja ne tik patalpos oro temperatūra apie 4°C (4 skyrius), bet ir oro temperatūra balkone nukrinta maždaug iki -7°C , kai vidutinė lauko oro temperatūra yra -22°C . Tuo tarpu balkone, kai įstiklinimas yra aliuminio profilio langais, vidutinė oro temperatūra siekia apie -13°C .

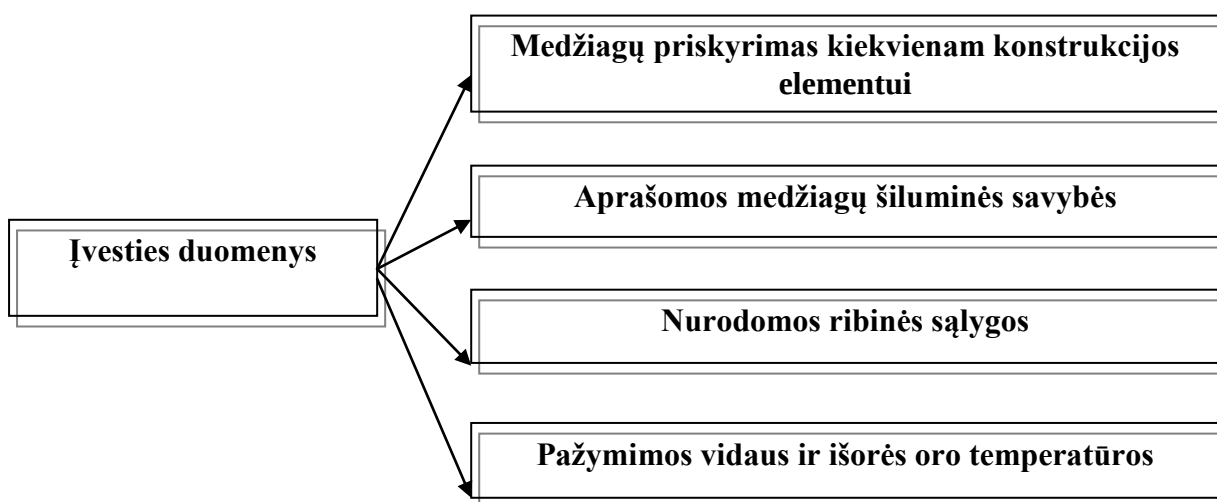
Analizuojant patalpų su įstiklintais/neįstiklintais balkonais langų šilumos perdavimo koeficientus matyti, kad patalpos lango su mediniais rėmais šilumos perdavimo koeficientas viršija norminius langų reikalavimus – $U_N = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6. Modeliavimas kompiuterine „THERM 5.0“ programa

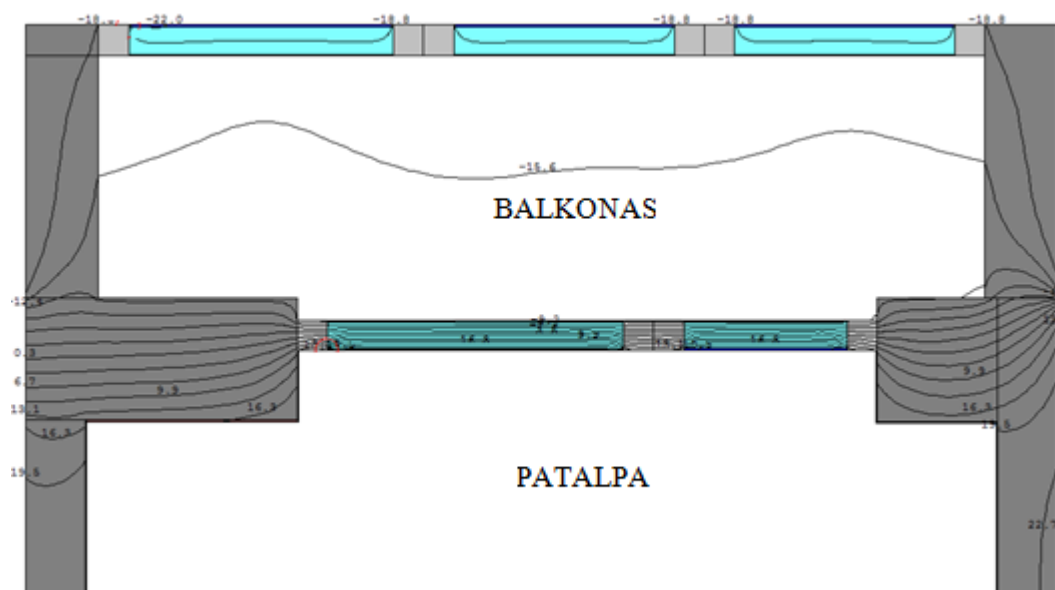
Atliekant skaičiavimus kompiuterine „THERM 5.0“ programa buvo panaudoti eksperimentinio tyrimo metu gautomis patalpų vidaus ir išorės oro temperatūromis.

6.1. Modelio sukūrimas ir įvesties duomenys

Skaičiuojant pagal „THERM 5.0“ programą, iš pradžių pagal mastelį nubraižomas konstrukcijos elementas, nurodomos medžiagos, iš kurių jis sudarytas, pažymimi paviršiai, per kuriuos šiluma iš vidaus patenka į konstrukciją ir iš jos į išorę. Tolesniame skaičiavimo etape konstrukcija padalijama į smulkius plotelius, kur per kiekvieną iš jų skaičiuojamas praeinantis šilumos srautas ir temperatūros (6.2 pav). 6.1 paveiksle pateikti pagrindiniai tiriamųjų objektų modelių įvesties duomenys.



6.1 pav. Įvesties duomenys



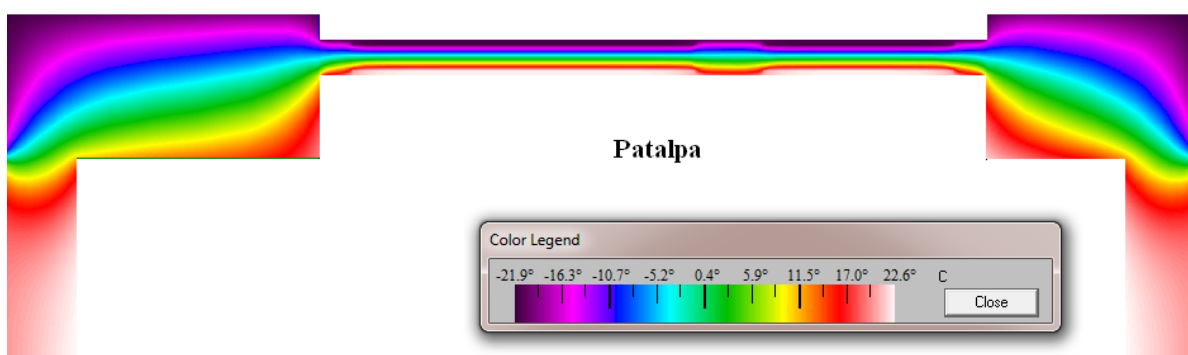
6.2 pav. Temperatūrų pasiskirstymas atitvarose

Tiksliai aprašius visas sąlygas programa apskaičiuoja nagrinėjamųjų atitvarų šilumines charakteristikas, t. y kiekvienos atitvaros šilumos perdavimo koeficientą, šilumos srautus.

6.2. Temperatūrų pasiskirstymas tiriamųjų patalpų atitvarose

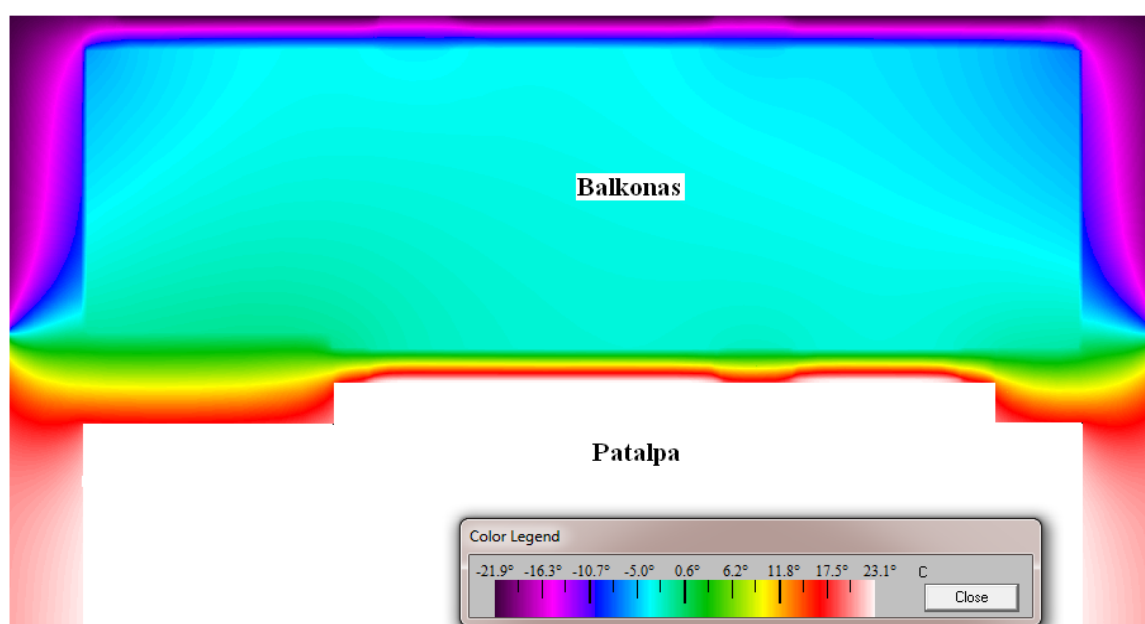
Modeliuojant kompiuterine „THERM 5.0“, priešingai nei analitinių skaičiavimų metu (oro temperatūra balkone priimta tokia, kuri buvo nustatyta eksperimentinių tyrimų metu), oro temperatūra balkone apskaičiuota kompiuterine programa.

6.3, 6.4 ir 6.5 paveiklsuose pateiktas grafinis temperatūrų pasiskirstymas patalpos atitvarose bei balkone.

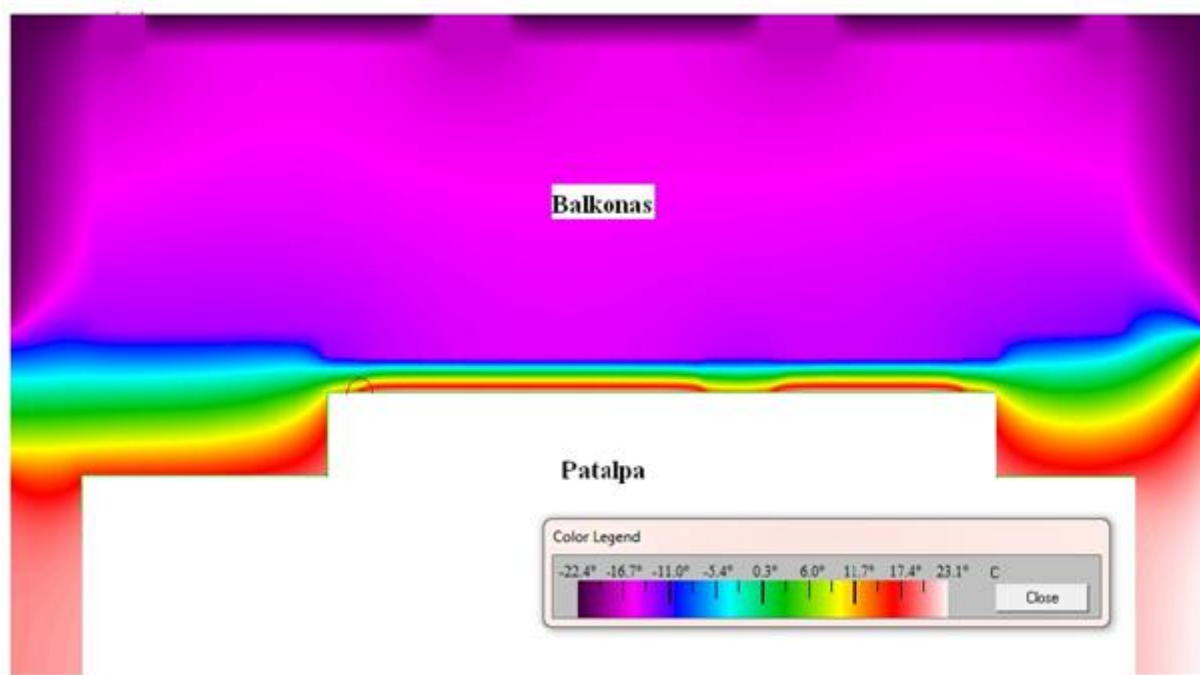


6.3 pav. Temperatūrų pasiskirstymas patalpos atitvarose, kai balkonas neįstiklintas

Kaip matyti iš 6.3 paveikslo, patalpos atitvarose, besiribojančiomis su lauko oru, temperatūra sparčiai mažėja. Atitvarų kampuose temperatūra yra apie 16 °C, o sienos ir lango sandūroje temperatūra yra tik apie 10 °C.



6.4 pav. Temperatūrų pasiskirstymas įstiklinus balkoną plastikinio profilio langais



6.5 pav. Temperatūrų pasiskirstymas įstiklinus balkoną aliuminio profilio langais

Palyginus 6.4 ir 6.5 paveiksluose pateiktus, patalpų su įstiklintais balkonais modelius, aiškiai matyti įstiklinimo konstrukcijų įtaka temperatūrų pasiskirstymui tiek atitvarose, tiek temperatūros kitimui balkone.

Kaip matyti, patalpos su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais vidutine oro temperatūra balkone yra -6°C , o sienų pakraščiuose temperatūra nukrinta iki -9°C . Patalpos, kurios temperatūra $23,7^{\circ}\text{C}$, sienos kampuose bei sienų ir langų sandūrose temperatūra mažai pasikeičia, t. y. nukrinta maždaug iki 20°C . Tuo tarpu patalpos, su įstiklintu balkonu aliuminio profilio langais, atitvarų temperatūra gana sparčiai krenta ir sienų bei langų sandūroje nukrinta iki 12°C , o vidutine oro temperatūra balkone siekia apie -15°C . Tai patvirtina jau ankstesniuose skyriuose minėtą teiginį, kad stiklinimas aliuminio konstrukcijomis yra „šaltasis stiklinimas“, kadangi aliuminis yra labai laidus šilumai ir šiuo atveju per rėmus prarandama nemažai šilumos.

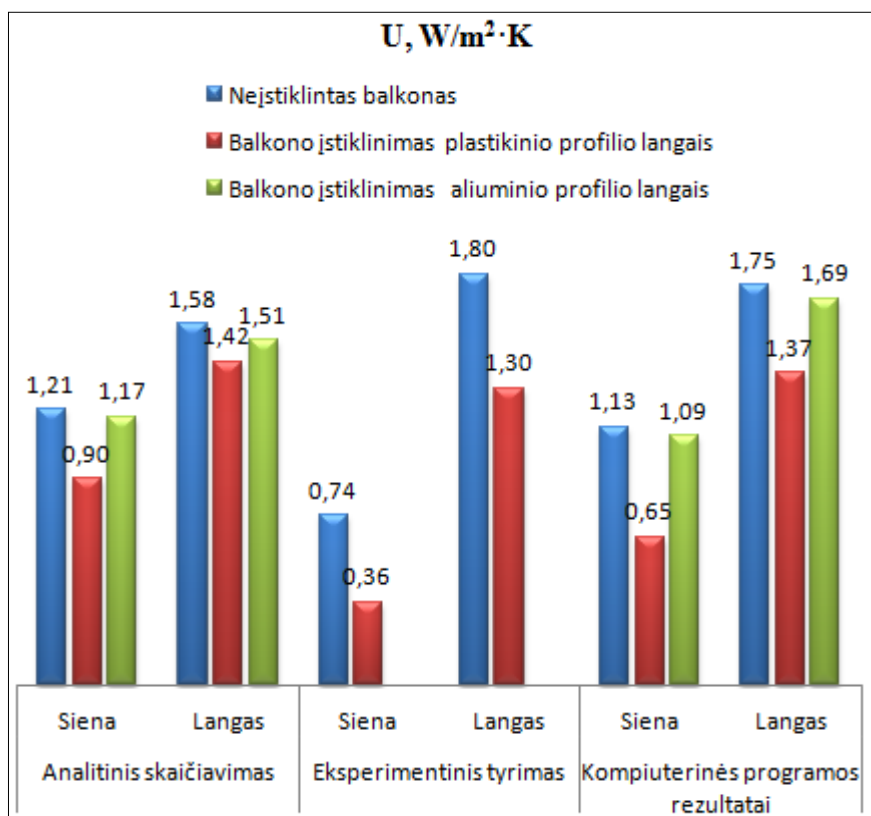
Palyginus modeliavimo metu gautus rezultatus su eksperimentinio tyrimo metu gautomis atitvarų paviršiaus temperatūromis (1 ir 2 priedas) matyti, kad gautos temperatūrų reikšmės yra labai panašios. Modeliavimo rezultatų nesutapimas su eksperimentinio tyrimo rezultatais yra apie 2 %–3 %.

6.3. Patalpų atitvarų šilumos perdavimo koeficiento radimas ir palyginimas su analitinio skaičiavimo ir eksperimentinio tyrimo metu gautomis reikšmėmis

Eksperimentinio tyrimo metu gautų rezultatų patikimumui įvertinti atlikti skaičiavimai

ne tik analitiškai pagal statybos techninių reglamentų nustatytą tvarką, bet ir kompiuterine programa esant toms pačioms aplinkos sąlygoms.

Skaičiuojant pagal kompiuterinę modeliavimo „THERM 5.0“ programą šilumos perdavimo koeficientus buvo įvertintos šios atitvaros: patalpų vidinės ir balkono išorinės sienos, langų bei balkono durų rėmai ir įstiklintosios dalys. Sumodeliavus ir aprašius kiekvieną šią konstrukciją atskirai programa pateikia kiekvienos konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientą. Eksperimentinio, analitinio ir kompiuterine programa „THERM 5.0,, gautų rezultatų palyginimas pateikiamas 6.6 paveiksle.



6.6 pav. Atitvarų šilumos perdavimo koeficientų palyginimas

Tiek teoriniuose skaičiavimuose, tiek skaičiavimuose kompiuterine programa taikomos tam tikros prielaidos ir tam tikra skaičiavimo metodika lemia rezultatų tikslumą ir patikimumą. Iš gautų rezultatų matyti, kad nagrinėjamųjų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų reikšmės tiek eksperimentinio tyrimo metu nustatytos, tiek kompiuterine programa apskaičiuotos yra artimos.

Kompiuteriniu modeliavimo būdu apskaičiuotos atitvarų šilumos perdavimo koeficientų reikšmės gana patikimos, nes kompiuterinis modeliavimas atliktas, naudojant

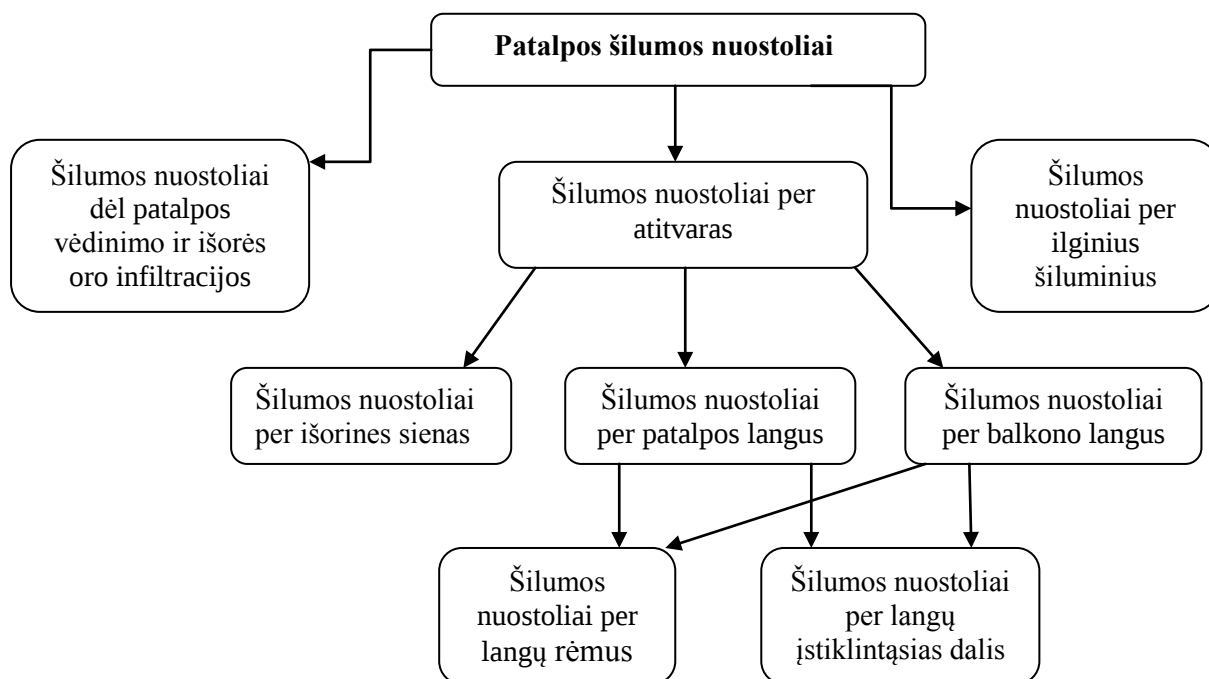
naujausias dvimačių temperatūrinių laukų skaičiavimo programų versijas, kurios įvertina šiluminių tiltelių įtaką lango ir sienų šilumos perdavimo koeficientui.

Analitiniu skaičiavimo būdu nustatytas šilumos perdavimo koeficientas akivaizdžiai skiriasi nuo kitų rezultatų, nes šis skaičiavimas nepakankamai tiksliai įvertina ilginių šiluminių tiltelių įtaką bendrojo lango U koeficiento nustatymui, kadangi nurodomos skirtingos ribojančių aplinkų sąlygos, o medžiagų šiluminės savybės ir šilumos perdavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal teoriškai pateiktas medžiagų šilumos laidumo koeficiento vertes (STR 2.09.04:2002 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos suvartojimas“), o tai veikia galutinių rezultatų paklaidą ir patikimumą.

Analitinio skaičiavimo rezultatų nesutapimas su eksperimentinio tyrimo rezultatais – 29,8 %, o tuo tarpu kompiuterine programa gauti rezultatai skiriasi 9,6 % nuo eksperimentinio tyrimo rezultatų.

7. Savitųjų šilumos nuostolių per atitvaras skaičiavimai

Siekiant įvertinti energinį efektyvumą įstiklinus balkonus, t. y. galimą procentinį šilumos sutaupymą, būtina apskaičiuoti patalpų šilumos nuostolius ir palyginti, kaip keičiasi šilumos nuostoliai įstiklinus balkonus aliuminio ir plastiko konstrukcijomis. 7.1 paveiksle pateikta tiriamųjų patalpų šilumos nuostolių struktūra.



7.1 pav. Nagrinėjamų patalpų šilumos nuostolių struktūra

Patalpos atitvarų projektiniai savitieji šilumos nuostoliai H_{en} , W/K, nustatomi:

$$H_{en} = \Sigma H_{el} + \Sigma H_{\psi} + \Sigma H_g; \quad (10)$$

čia: ΣH_{el} – atitvarų, išskyrus besiribojančių su gruntu, savitųjų šilumos nuostolių suma;

ΣH_{ψ} – projektiniai savitieji ilginių šiluminių tiltelių šilumos nuostoliai;

ΣH_g – projektiniai savitieji atitvarų, besiribojančių su gruntu, šilumos nuostoliai.

Patalpos atitvarų, išskyrus besiribojančių su gruntu, projektiniai savitieji šilumos nuostoliai H_{el} , W/K, skaičiuojami:

$$H_{el} = U \cdot A \cdot k_a \cdot b_u \cdot (1 + \Delta k_o + \Delta k_w + \Delta k_h); \quad (11)$$

čia: b_u – pataisa, jeigu atitvara ribojasi su nešildoma erdve (pvz., įstiklinti balkonai, pastogės);

Δk_o – pataisa dėl atitvaros padėties pasaulio šalių atžvilgiu;

Δk_w – pataisa dėl vėjo įtakos. Pastatas apsaugotas nuo vėjo, todėl $\Delta k_w = 0$;

Δk_h – pataisa dėl šildymo prietaisų rūšies;

Atitinkamo ilginio šilumos tiltelio projektiniai savitieji šilumos nuostoliai H_Ψ , W/K, nustatomi pagal formulę:

$$H_\Psi = \Psi \cdot l \cdot k_a \cdot b_u \cdot (1 + \Delta k_o + \Delta k_w + \Delta k_h); \quad (12)$$

čia: Ψ – ilginio šilumos tiltelio šilumos perdavimo koeficientas, W/m·K;

l – ilginio šilumos tiltelio ilgis, m;

Šilumos nuostoliai dėl išorės oro infiltracijos H_{in} , W/K:

$$H_{in} = c \cdot \rho_i \cdot L_{in}; \quad (13)$$

čia: L_{in} – infiltruojamo oro debitas, (m³/h), nustatomas pagal formulę:

$$L_{in} = n_{in} \cdot A_p \cdot h \cdot \Delta k_c \cdot (1 + \Delta k_b) \cdot (1 + k_g); \quad (14)$$

čia: n_{in} – oro apykaita dėl infiltracijos, kartais/h;

A_p – patalpos plotas, m²;

h – patalpos aukštis, m;

Δk_c – pataisa, įvertinanti infiltracijos padidėjimą kampinėse patalpose.

Δk_b – pataisa, įvertinanti vėdinimo sistemos rūšį;

k_g – pataisa, įvertinanti patalpos padėtį pastate, apskaičiuojama pagal formulę:

$$k_g = \left| \frac{N}{2} - N_i + 1 \right| \cdot 0,005 / \sqrt{N} \quad (15)$$

čia: N – aukštų skaičius;

N_i – aukštas, kuriame yra patalpa.

Patalpos su natūralia vėdinimo sistema projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl vėdinimo H_{nv} , W/K, nustatomi:

$$H_{nv} = c \cdot \rho_i \cdot L_{nv}; \quad (16)$$

čia: L_{nv} – išorės oro debitas dėl natūralaus vėdinimo, nustatomas pagal formulę, m³/h:

$$L_{nv} = n_{nv} \cdot A_p \cdot h \cdot \Delta k_c \cdot (1 + \Delta k_b) \cdot (1 + k_g); \quad (17)$$

čia: $n_{nv} = n_{tv} - n_{in}$ – oro apykaita patalpoje (kartais/h) dėl vėdinimo, atmetus išorės oro infiltracijos dalį;

n_{tv} – oro apykaita patalpoje (kartais/h) dėl natūralaus vėdinimo;

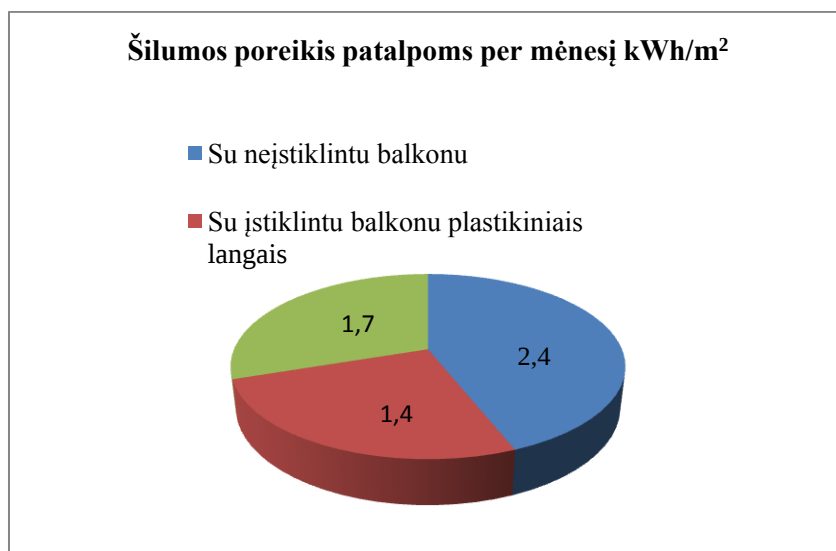
n_{in} – oro apykaita dėl infiltracijos (kartais/h).

Atlikus skaičiavimus pagal pateiktas formules yra gaunami rezultatai, kurie pateikti 7.1 lentelėje. Detalesni kiekvienos patalpos šilumos nuostolių skaičiavimo rezultatai pateikti 3-iajame, 4-ajame ir 5-ajame prieduose.

7.1 lentelė. Projektinis šilumos poreikis patalpų šildymui

Patalpa	$H_{\Psi},$ W/K	$H_{eb},$ W/K	$H_{in},$ W/K	$H_v,$ W/K	$\Sigma H_{ss} = \Sigma H_{el} +$ $\Sigma H_{\Psi} + H_{in} +$ H_{nv}	$P_h^{ss},$ W
Balkonas neįstiklintas	13,33	30,29	3,93	13,75	57,37	2358
Balkonas įstiklintas plastikinio profilio langais	4,03	12,57	3,39	11,88	31,65	1361
Balkonas įstiklintas aliuminio profilio langais	12,54	15,47	3,55	12,43	40,44	1723

Realiai palyginti šių trijų patalpų šilumos nuostolius inžineriniu požiūriu netikslinga, dėl daugelio priežasčių: skirtingi pastatai ir nevienoda jų būklė, nevienodas patalpų šildymo plotas, langų ir sienų plotų santykis. Visi šie veiksniai įtakoja nuostolius per ilginčius šiluminius tiltelius, vėdinimo, infiltracijos ir pan. Šiuo tikslu 7.2 paveiksle pateiktas patalpų šilumos poreikis per mėnesį šildomo ploto vienetui, kWh/m².



7.2 pav. Patalpų šilumos poreikis per mėnesį, kWh/m²

Iš 7.2 paveiksle pateiktų duomenų akivaizdžiai matyti balkonų stiklinimo įtaka patalpos šilumos poreikiams. Įstiklinus balkonus šilumos nuostoliai į aplinką sumažėja iki 1,7 karto.

8. Balkono apšiltinimo efektyvumo skaičiavimas

Vienokios ar kitokios konstrukcijos balkonams reikalinga papildoma izoliacija. Ypatingai tai aktualu balkonams, kurių akloji dalis yra pagaminta iš šiferio lakštų ar atskirų betoninių segmentų, kurie, kaip taisyklė, senuose daugiabučiuose namuose yra susidėvėję ir pažeisti temperatūros svyravimų, todėl balkonų stiklinimas be papildomos balkono izoliacijos gali neduoti norimų rezultatų.

Iš 6-ajame ir 7-ajame skyriuje pateiktų rezultatų matyti akivaizdus energetinis efektyvumas įstiklinus balkonus plastikinio profilio langais (šilumos poreikiai ploto vienetai yra mažiausi lyginant su kitomis stiklinimo konstrukcijomis). Kaip žinoma, įrengus balkono izoliaciją (apšiltinimą) galime papildomai sumažinti patalpų šilumos nuostolius, todėl šiame skyriuje yra nagrinėjama balkono sienų ir perdangos (grindų) apšiltinimo įtaka temperatūros kitimui nešildomojoje patalpoje (balkone) ir patalpų šilumos nuostoliams.

Sienų ir balkono grindų apšiltinimo modeliavimo programa THERM 5.0 metu pasirinkta analizuoti keli populiariausi šiltinimo variantai, t.y. apšiltinti grindis ir sienas medinėmis dailylentėmis, plastikinėmis dailylentėmis ir putų polistirolu.

8.1. Balkono grindų izoliacija

Dažnai balkono plokštė yra vidinės perdangos plokštės tęsinys. Čia, kaip ir neapšiltinto pamato atveju, turime labai didelį šalčio tiltą, kuris puikiai matyti pateiktame 1.1 paveiksle (1.4 poskyris). Siekiant kuo įmanoma daugiau sumažinti šalčio tiltą geriausia balkono plokštę yra apšiltinti iš apačios ir iš viršaus. Apšiltinimo storis gali būti kintamas – prie sienos storesnis ir plonėjantis į išorės pusę.

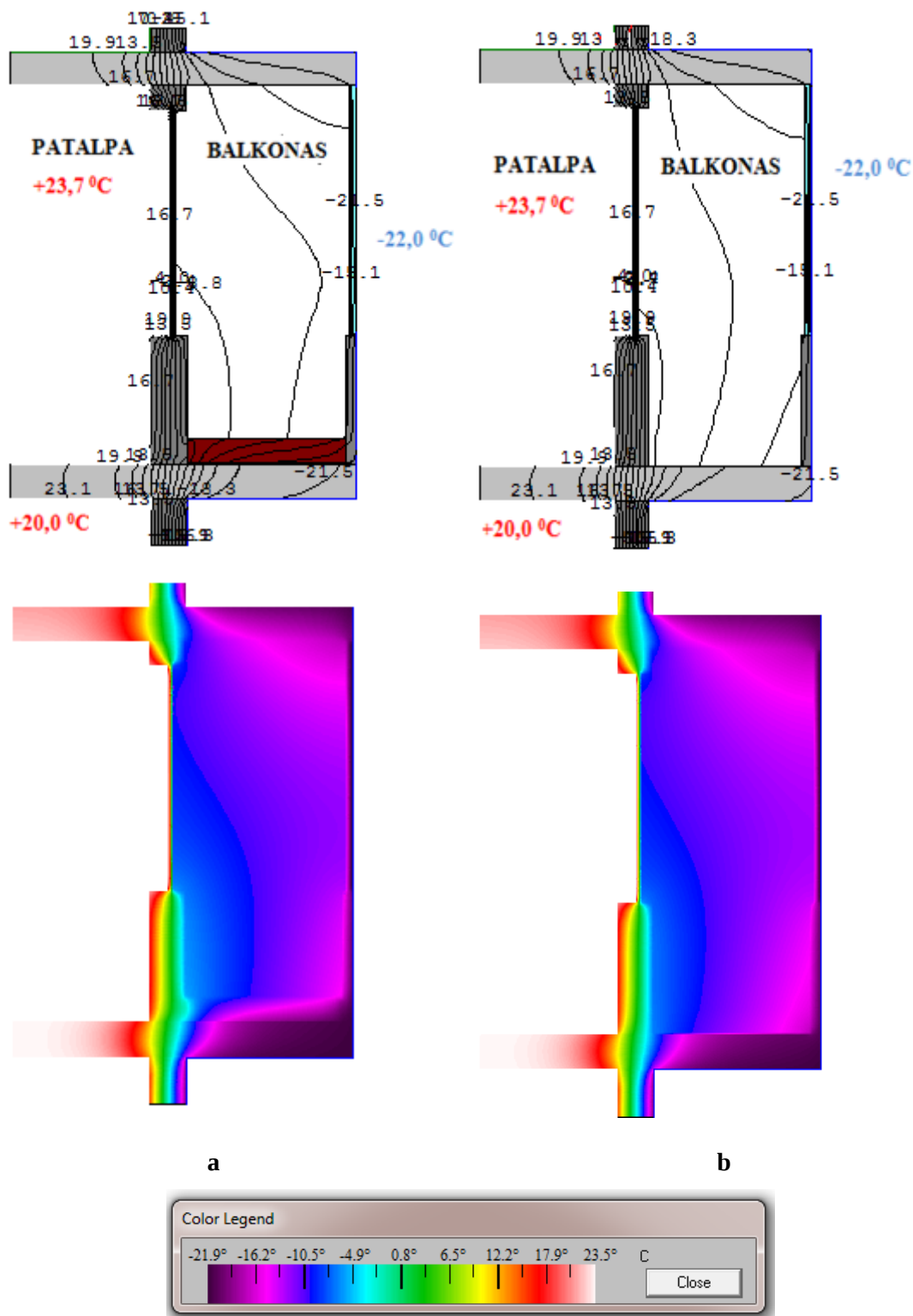
Kadangi šiame darbe nagrinėjama konkreti patalpa su įstiklintu/neįstiklintu balkonu, todėl analizuojama tik balkono perdangos izoliacija iš vienos pusės.

Pastaruoju metu populiariausias balkono grindų apšiltinimas yra medinėmis dailylentėmis. 8.1 lentelėje pateikta medžio dailylenčių ir grindų pakloto šiluminių techninių dydžių projektinės vertės (duomenys paimti iš statybos techninio reglamento STR 2.09.04:2002 „Pastato šildymo sistemos galia energijos sąnaudos šildymui“). 8.1 paveiksle pateikta balkono pjūvis, kuriame pavaizduotas patalpos atitvarų temperatūrinis kitimas įrengus grindų izoliaciją (a) ir be jos (b).

Tiriamosios patalpos temperatūra pasirinkta 23,7 °C (gauta eksperimentinių tyrimų metu), o gretimų patalpų – 20 °C.

8.1 lentelė. Medžiagų šiluminių techninių dydžių projektinės vertės

Eil. Nr.	Medžiagos	Sluoksnio storis, d, m	Medžiagos tankis ρ , kg/m ³	Šilumos laidumo koeficientas λ , W/(m·K)	Šilumos imlumo koeficientas s, W/(m ² ·K)
1.	Medinės dailylentės (ąžuolo)	0,12	700	0,23	4,3
2.	Grindų paklotas (poliuretanas)	0,03	1200	0,25	6,2



8.1 pav. Temperatūros kitimas balkone įrengus grindų izoliaciją (a) ir be jos (b)

Kaip matyti iš 8.1 paveikslo balkono perdangos apšiltinimas tik iš vienos pusės mažai įtakoja vidaus oro temperatūrą balkone, kadangi perdangos (grindų ir lubų) paviršiai ribojasi su šaltaisiais (neapšiltintais) paviršiais ir sienų bei perdangos plokštės sandūroje išlieka šaltio tiltai. Kaip matyti, esant neapšiltintai balkono perdangos (grindų) plokštei vidutinė oro temperatūra balkone yra apie -8°C , o tuo tarpu esant grindų izoliacijai vidutinė oro temperatūra yra apie -7°C . Oro temperatūra prie šaltųjų (balkono langas) ir šiltųjų paviršių (patalpos siena, langas) lieka nepakitusi.

8.2. Balkono sienų apšiltinimas

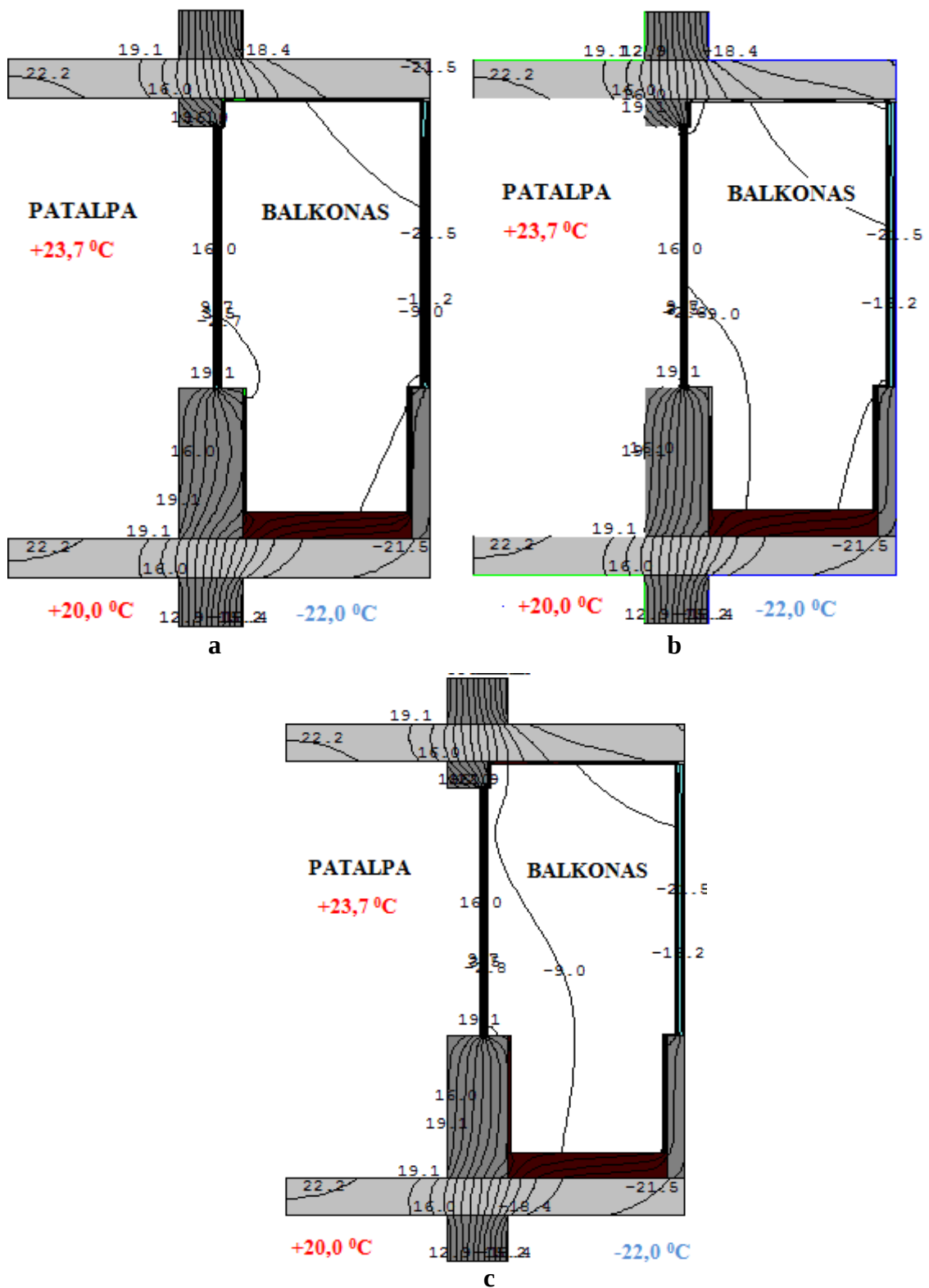
Balkonų sienos gali būti apšiltinamos įvairiausiomis medžiagomis. Šiuo metu populiariausios sienų šiltinimo medžiagos yra polistireninis putplastis, medinės ir plastikinės dailylentės. Šių medžiagų šiluminės charakteristikos labai skirtingos ir šiluminės energijos sutaupymo atveju gaunami skirtingi rezultatai (8.2 paveikslas).

Polistireninis putplastis (putų polistirolas) yra organinės kilmės standi termoizoliacinė medžiaga. Šios medžiagos gaminiams paprastai būdingas $0,030 - 0,045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ šilumos laidumas. Polistireninio putplasčio vandens garų varžos faktorius siekia nuo $\mu=30$ iki $\mu=100$. Šiuo metu ši termoizoliacinė medžiaga yra plačiai taikoma dėl gerų šiluminių savybių. Medienos ir plastikinės dailylentės taip pat vienos plačiausiai naudojamų šiltinimo medžiagų, tačiau šios medžiagos dėl savo mažesnių izoliacinių savybių, lyginant su polistireniniu putplastiu, daugiau naudojamos kaip apdailos medžiagos. Plastikinės ir medinės dailylentės labai patrauklios dėl savo ilgaamžiškumo ir pigumo, montavimo paprastumo. Šios apdailos/šiltinimo medžiagos atsparios drėgmei ir temperatūros svyravimams.

8.2 lentelėje pateikti skaičiuojamieji duomenys (medžiagų šiluminiai dydžiai), naudojami kaip įvesties duomenys modeliavimo programos THERM 5.0 duomenų bazėje.

8.2 lentelė. Skaičiuojamieji duomenys

Eil. Nr.	Medžiagos	Sluoksnio storis, d, m	Medžiagos tankis ρ , kg/m^3	Šilumos laidumo koeficientas λ , $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$
1.	Armuotas tinkas	0,02	1600	0,80
2.	Polistireninis putplastis	0,15	25	0,03
3.	Dekoratyvinis tinkas	0,02	1600	1,00
4.	Plastikinės dailylentės	0,08	1500	0,25
5.	Medinės dailylentės	0,12	700	0,10



8.2 pav. Temperatūros kitimas balkone apšiltinus grindis ir sienas: a – polistireniniu putplasčiu, b – plastikinėmis dailylentėmis, c – medinėmis dailylentėmis

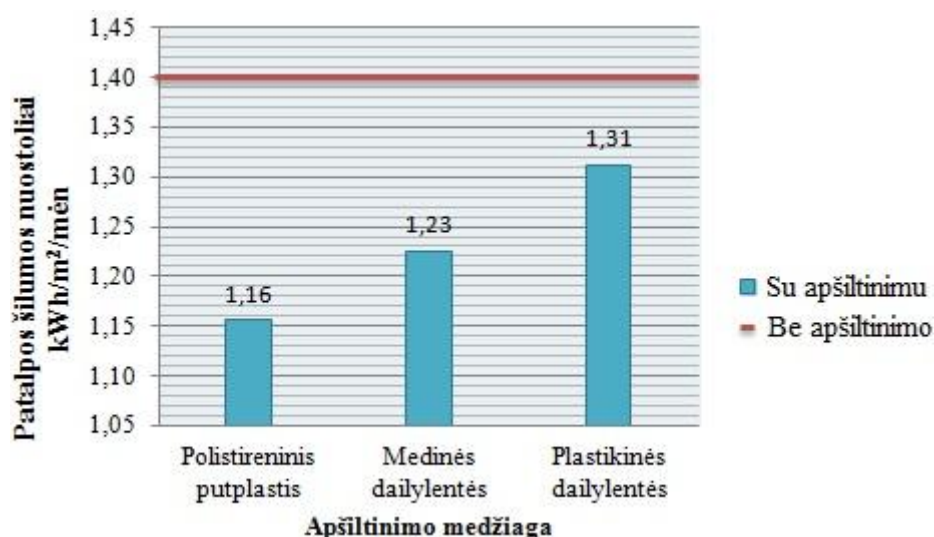
Apšiltinant balkono sienas yra labai svarbus sandarumas, kadangi balkono plokštė remiasi į neapšiltintos sienos laikančiąją dalį (jei žemiau ar viršuje esantys gretimi balkonai neįstiklinti ar sienos neapšiltintos). Apšiltinus sienas neapakankamai sandariai ir blogomis termoizoliacinėmis savybėmis pasižyminčiomis medžiagomis, dažniausiai nepasiekiami

rezultatai, kurių buvo tikimasi. Analizuojant balkono sienų apšiltinimo skirtingomis medžiagomis variantus (8.2 pav.) matyti, kad sienų apšiltinimas polistireniniu putplasčiu vidaus oro temperatūrą balkone sumažina nuo -8°C iki -5°C . Tuo tarpu sienų apšiltinimas plastikinėmis ir medinėmis dailylentėmis duoda kur kas mažiau efektyvesnių rezultatų, t.y. temperatūra balkone išlieka mažai pakitusi (sumažėja $1-2^{\circ}\text{C}$), o sienų ir balkono perdangos sandūroje (kampuose) temperatūra svyruoja nuo 16°C iki $12,9^{\circ}\text{C}$. Sienų apšiltinimas polistireniniu putplasčiu, dėl savo gerų šiluminių savybių, pakankamai sandariai izoliuoja nešildomą balkono erdvę nuo gretimų šaltųjų paviršių ir patalpos atitvarose bei sienų kampuose temperatūra nežymiai pakinta (kai patalpos vidaus oro temperatūra $23,7^{\circ}\text{C}$, patalpos atitvarų kampuose temperatūra yra apie 19°C).

8.3. Balkono sienų apšiltinimo įtaka patalpų šilumos nuostoliams

7-ajame skyriuje pateikti patalpų, besiribojančių su nešildoma patalpa, šilumos nuostoliai per atitvaras. Patalpos su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais šilumos nuostoliai per mėnesį sudaro $1,4 \text{ kWh/m}^2$ (7.2 pav.) ir sumažėja apie 1,7 karto lyginant su patalpa, besiribojančia su neįstiklintu balkonu (lauko oru).

8.3 paveiksle pateikta patalpų šilumos nuostolių kitimas įstiklinus balkoną plastikinio profilio langais ir apšiltinus sienas skirtingomis termoizoliacinėmis savybėmis turinčiomis medžiagomis.



8.3 pav. Patalpų šilumos nuostolių sumažėjimas apšiltinus balkono sienas ir grindis

Kaip matyti iš 8.3 paveiksle pateiktų rezultatų, įstiklinus balkoną ir apšiltinus polistireniniu putplasčiu patalpų šilumos nuostolius papildomai galima sumažinti 1,2 karto (apie 17,1 %), o apšiltinus sienas medinėmis ir plastikinėmis dailylentėmis – 7 %–12 %.

9. Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo ekonominis įvertinimas

Gyvenamasis būstas yra svarbi nacionalinės ekonomikos dalis. Lietuvoje daugiau kaip 60 % daugiabučių namų pastatyta per praėjusio amžiaus paskutinius keturis dešimtmečius (Aukščiūnas 2005). Tokie daugiabučiai namai ne tik energiniu, bet ir ekonominiu energijos vartojimo požiūriu yra neefektyvūs.

Ekonominis įvertinimas priklauso nuo energijos taupymo priemonių paprastojo atsipirkimo laiko, šilumos sutaupymo, tenkančio šildomos patalpos ploto vienetui, gyvenimo sąlygų pagerėjimo nustatymo. Kadangi paprastasis atsipirkimo laikas (PAL) neparodo, ar įgyvendinama energijos taupymo priemonė atsiperka greičiau nei baigiasi jos gyvavimo trukmė ir jis neįvertina pinigų diskontavimo (Rogoža *et al.* 2008), šiame darbe yra naudojamas rodiklis įvertinantis visus minėtus aspektus, t.y sutaupytos energijos kaina (SEK).

Šiame skyriuje, ekonominiai rodikliai (PAL, SEK) analizuojami ne tik patalpose su įstiklintais balkonais (įvertinant balkono sienų, grindų apšiltinimą), bet ir patalpoje su neįstiklintu balkonu, kaip prielaidą priimant, kokie būtų galimi sutaupymai įstiklinus ir apšiltinus balkoną.

9.1. Sutaupytos energijos kainos skaičiavimas

Sutaupytos energijos kaina (angl. – Cost of conserved energy), pasak šilumos tiekėjų asociacijos, vienas iš svarbiausių energijos taupymo priemonių vertinimo kriterijų. SEK kriterijus parodo, kas yra pigiau – taupyti energiją, ar ją vartoti. Tarkime, kad energijos taupymo priemonės sutaupytos energijos kaina yra 100 Lt/MWh, o šilumos tarifas – 110 Lt/MWh, tuomet aišku, kad taupyti energiją pigiau nei ją vartoti ir atvirkščiai.

SEK privalumas yra tas, kad jos skaitinė reikšmė nepriklauso nuo esamos ar būsimos energijos kainos. Pavyzdžiui, jei priemonės SEK reikšmė yra gauta aukštesnė nei esama šilumos kaina, bet žemesnė nei prognozuojama ateityje kaina, tuomet galima sakyti, kad priemonę įgyvendinti verta (Rogoža *et al.* 2008).

Sutaupytos energijos kaina yra apskaičiuojama pagal formulę:

$$SEK = \frac{I}{Q_S} \cdot \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n}}, \text{ Lt/kWh} \quad (18)$$

kur: I – investicijų į priemonę dydis, Lt;

Q_S – sutaupytos energijos kiekis, kWh;

n – priemonės gyvavimo trukmė, metais,

d – diskonto norma, vieneto dalimis.

Diegiant energijos taupymo priemonę (balkonų įstiklinimą ir apšiltinimą), pasiekiamas ne tik energinis taupymo efektas, bet taip pat atnaujinama pati priemonė, t. y. atstatoma priemonės pradinė būklė – sumažinamas jos nusidėvėjimo laipsnis. Tokiu būdu, vertinant, kad dalis investuotų lėšų be energijos taupymo yra skiriama priemonės būklės atstatymui, investicijų dydis energijos taupymui skaičiavimuose gali būti sumažintas. Šis sumažinimas turėtų atitikti procentinę atstatomos priemonės būklės dalį. Šiuo atveju formulė (18) atrodytų taip:

$$SEK = (1 - k) \cdot \frac{I}{Q_s} \cdot \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n}}, \text{ Lt/kWh} \quad (19)$$

kur: k – priemonės nusidėvėjimo laipsnis, *vieneto dalimis*.

9.1.1. Sutaupyta energijos kaina įstiklinus ir apšiltinus balkoną

Siekiant įvertinti galimą šiluminį sutaupymą ir sutaupytos energijos kainą įstiklinus ir apšiltinus balkoną pasirinkta išanalizuoti tiriamąją patalpą su neįstiklintu balkonu. Patalpoje su neįstiklintu balkonu atlikus eksperimentinius tyrimus ir šilumos nuostolių per atitvaras analizę nustatyta, kad patalpos šilumos nuostoliai yra 2,31 kW, o per mėnesį šie nuostoliai išauga iki 1739 kWh.

Atliekant skaičiavimus priimama, kad balkonas yra įstiklinamas plastikinio profilio langais. Atskirai įvertinami ir galimi šiluminiai sutaupymai apšiltinus balkono sienas skirtingomis izoliacinėmis savybėmis pasižyminčiomis medžiagomis (8.2 poskyris).

9.1 ir 9.2 lentelėse pateikiamas įdiegtų priemonių, t.y balkono įstiklinimo ir sienų apšiltinimo, ekonominis efektyvumo įvertinimas. Įstiklinimo investicijos ir kiti papildomi duomenys apskaičiuoti remiantis „Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringu“ (1 ir 2 etapas). Apšiltinimo medžiagų ir darbų kainos apskaičiuotos pagal internetinėje svetainėje pateikiamų įmonių prekių ir paslaugų kainas.

9.1 lentelė. Įdiegtos priemonės (balkono įstiklinimo) ekonominio efektyvumo įvertinimas

Parametras	Dydis	Matavimo vnt.
Gyvavimo laikas	50	metų
Priemonės nusidėvėjimas	50	%
Investicija	2800	Lt
Metiniai šilumos sutaupymai	6034,33	kWh
Šilumos nuostolių per atitvaras sumažėjimas	49,1	%
Sutaupytos energijos kaina (SEK)	0,022	Lt/kWh
Sutaupyta šiluma	337,11	kWh/m ²

Kaip matyti iš 9.1 lentelėje pateiktų rezultatų įstiklinus balkoną per metus galime sutaupyti 337,11 kWh/m² ir patalpos nuostolius per išorinės atitvaras sumažinti beveik 50 %. Kaip taisyklė, jeigu energijos taupymo kaina (SEK) yra mažesnė nei faktinis šilumos tarifas (29,58 ct/kWh), tai priemonė ekonomiškai efektyvi. Todėl galime teigti, kad balkonų stiklinimas ne tik energiniu, bet ir ekonominiu požiūriu efektyvi šilumos taupymo priemonė.

9.2 lentelė. Įdiegtos priemonės (balkono įstiklinimo ir apšiltinimo) ekonominio efektyvumo įvertinimas

Parametras	Sienų apšiltinimas		
	Putų polistirolu	Medinėmis dailylentėmis	Plastikinėmis dailylentėmis
Sienų šilumos perdavimo koeficientas, W/m ² K	1,207	1,207	1,207
Sienų šilumos perdavimo koeficientas, įdiegus energijos taupymo priemonę, W/m ² K	0,172	0,493	0,871
Patalpos šilumos nuostoliai kai balkonas neįstiklintas, kWh/mėn	1738,96	1738,96	1738,96
Patalpos šilumos nuostoliai įstiklinus ir apšiltinus balkoną, kWh/mėn	589,27	716,58	866,62
Metiniai šilumos sutaupymai, kWh	8124,77	7225,13	6164,81
Šilumos nuostolių per atitvaras sumažėjimas, %	66,1	58,7	50,2
Investicija, Lt	3190	3185	3036
Sutaupyta energijos kaina (SEK), Lt/kWh	0,025	0,028	0,031
Sutaupyta šiluma, kWh/m ²	453,90	403,64	344,40

Metiniai šilumos sutaupymai įstiklinus ir apšiltinus balkoną putų polistirolu net tik didžiausi (8,125 MWh), lyginant su kitomis šiltinimo medžiagomis, bet ir vertinant pagal SEK yra efektyviausia energiją taupanti priemonė (kuo SEK mažesnė, tuo energiją taupanti priemonė efektyvesnė).

9.1.2. Sutaupyta energijos kaina apšiltinus ir įstiklinus balkonus skirtingų stiklinimo konstrukcijų langais

Kaip jau buvo minėta ankstesniuose skyriuose efektyviausia balkoną apšiltinti polistireniniu putplasčiu vertinant pagal sutaupyta energijos kainą, metinius sutaupymus, tenkančius šildomo ploto vienetai ir pagal patalpų mikroklimato sąlygų pagerėjimą (padidėja patalpos ir balkono vidaus oro temperatūra). Atsižvelgiant į šiuos rezultatus toliau analizuojamas ekonominis efektyvumas patalpose su įstiklintais balkonais skirtingomis stiklinimo konstrukcijomis ir apšiltinus sienas polistireniniu putplasčiu.

9.3 lentelėje pateikiama dviejų skirtingų patalpų su skirtinga balkonų stiklinimo konstrukcija ekonominis įvertinimas. Vertinama pagal du rodiklius, t. y. SEK ir šiluminiai

sutaupymai. Skaičiavimai atlikti remiantis eksperimentinių tyrimų metu nustatytomis patalpų ir balkono vidaus oro temperatūromis.

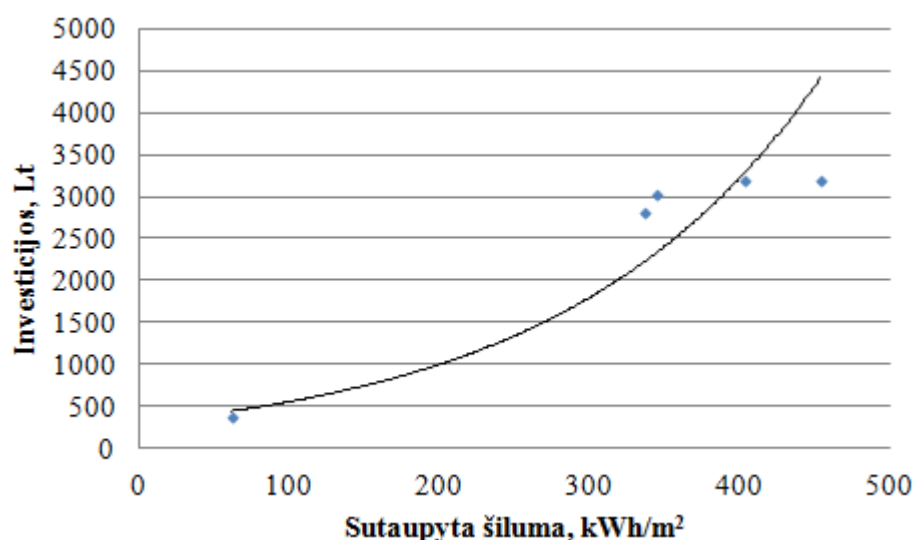
9.3 lentelė. Ekonominio efektyvumo palyginimas įstiklinus balkonus skirtingomis stiklinimo konstrukcijomis

Parametras	Stiklinimo konstrukcija	
	Plastikinio profilio langai	Aliuminio profilio langai
Gyvavimo laikas, metai	50	50
Patalpos šilumos nuostoliai (balkonas neapšiltintas) kWh/mėn	7017,50	7504,19
Patalpos šilumos nuostoliai (balkonas apšiltintas) kWh/mėn	6029,29	6080,57
Metiniai šilumos sutaupymai, kWh	988,22	1423,62
Šilumos nuostolių per atitvaras sumažėjimas, %	14,08	18,97
Investicija, Lt	390	390
Sutaupyta energijos kaina (SEK), Lt/kWh	0,03	0,02
Sutaupyta šiluma, kWh/m ²	62,15	89,54

Kaip matyti iš 9.3 lentelėje pateiktų rezultatų apšiltinus balkoną, kuris įstiklintas plastikinio profilio langais, SEK yra 0,03 Lt/kWh, t. y. per šildymo sezoną galima sutaupyti 29,6 Lt, o tuo tarpu apšiltinus balkoną, kuris įstiklintas aliuminio profilio langais – 28,47 Lt.

9.2 Šilumos sutaupymų ir investicijų priklausomybė

Diegiant pastatuose šilumos taupymo priemones, šiuo nagrinėjamu atveju – balkonų įstiklinimą ir apšiltinimą, ne tik sumažėja šildymo galios dydis (7 skyrius, 7.1 lentelė), bet ir sutaupoma lėšų šildymui. Kaip žinome, didėjant investicijoms, t. y diegiant didesnę šilumos taupymo priemonių paketą, šilumos sutaupymai taip pat didėja. Šilumos sutaupymai priklausomai nuo investicijų dydžio į šilumos taupymo priemones pateikta 9.1 paveiksle.



9.1 pav. Šiluminės sutaupymų ir investicijų priklausomybė

Iš grafiko matyti, kad didėjant investicijoms šilumos sutaupymai eksponentiškai didėja. Tai patvirtina, kad balkonų įstiklinimas ir apšiltinimas tiek ekonominiu, tiek energiniu požiūriu yra pranašesnė kompleksinė šilumos taupymo priemonė, nei pavienės šilumos taupymo priemonės diegimas, pvz., įstiklinti balkonus be papildomos izoliacijos ir apšiltinimo.

9.3. Paprastojo atsipirkimo laiko (PAL) skaičiavimas

Paprastas atsipirkimo laikas (PAL) – pats paprasčiausias ekonominio įvertinimo būdas. Tai ir pats populiariausias (o tarp Lietuvos inžinierių/konsultantų iki šiol praktiškai vienintelis vartojamas) ekonominio įvertinimo būdas (Leka 2002). Paprastas atsipirkimo laikas yra nustatomas kaip metų skaičius, per kuriuos energijos taupymo priemonės nulemti sutaupymai padengs investicijas (Rapcevičienė 2010):

$$PAL = \frac{I}{S}, \quad (20)$$

kur: I – investicijos, Lt;

S – metiniai šilumos sutaupymai, Lt.

9.4 lentelėje pateikta energijos taupymo priemonių, t. y. balkonų stiklinimo ir apšiltinimo, atsipirkimo laikas.

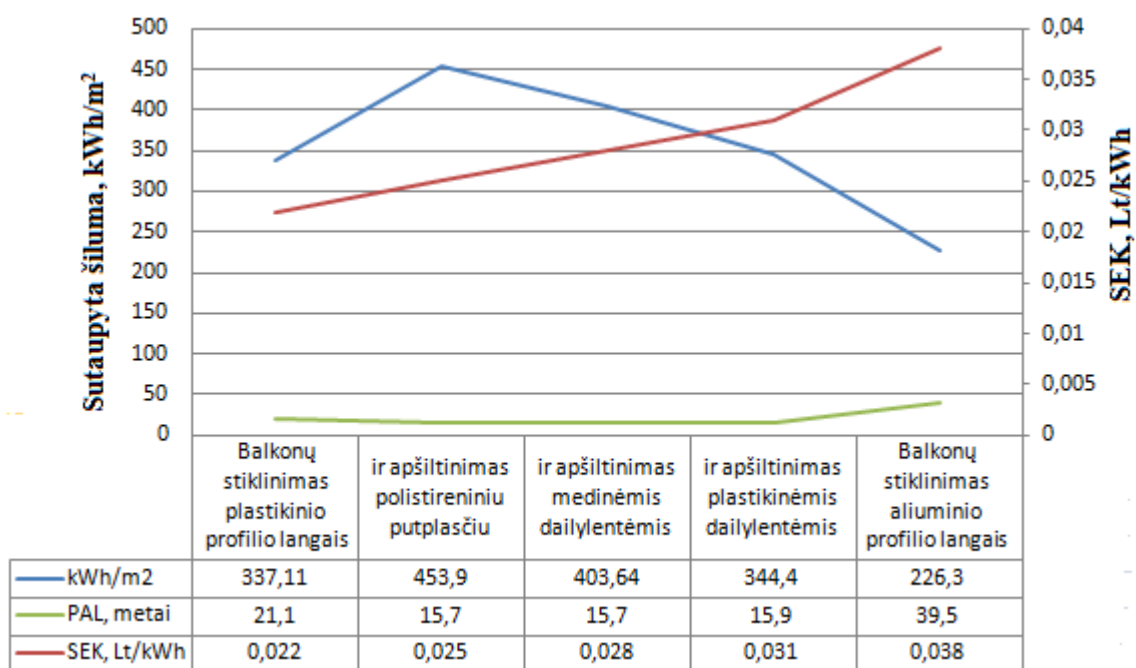
9.4 lentelė. Energijos taupymo priemonių paprastas atsipirkimo laikas

Eil. Nr.	Energijos taupymo priemonė	Investicijos, Lt	Metiniai šilumos sutaupymai, Lt	PAL, metai
1.	Balkonų stiklinimas plastikinio profilio langais	2800	132,76	21,1
1.1.	ir apšiltinimas polistireniniu putplasčiu	3190	203,13	15,7
1.2.	ir apšiltinimas medinėmis dailylentėmis	3185	202,30	15,7
1.3.	ir apšiltinimas plastikinėmis dailylentėmis	3036	191,11	15,9
2.	Balkonų stiklinimas aliuminio profilio langais	3100	78,47	39,5

Vertinant pagal metinius šilumos sutaupymus ir ekonominį vertinimo rodiklį PAL matyti, kad balkonų įstiklinimas plastikinio profilio langais ir sienų apšiltinimas polistireniniu putplasčiu yra efektyviausia energijos taupymo priemonė. Metiniai šilumos sutaupymai įstiklinus balkonus aliuminio profilio langais yra mažiausiai, o atsipirkimo laikas siekia beveik 40 metų. Remiantis šiais rezultatais galima daryti išvadą, kad stiklinimas aliuminio konstrukcijomis yra ekonomiškai neefektyvi energijos taupymo priemonė (investicijos didelės, o šilumos sutaupymai maži).

9.4. Balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo įvertinimas pagal tris ekonominius rodiklius

Lyginant balkonų įstiklinimo (plastiko ir aliuminio konstrukcijomis) ir apšiltinimo skirtingomis šiltinimo/apdailos medžiagomis efektyvumą šiluminės energijos sutaupymui buvo analizuojami trys svarbūs ekonominiai rodikliai: paprastasis atsipirkimo laikas, SEK ir šilumos sutaupymai, tenkantys šildomo ploto vienetui (9.2 pav.).



9.2 pav. Energijos taupymo priemonių vidutiniai rodikliai

Iš paveikslo matyti, kad atsipirkimo laiko ir SEK rodikliai turi panašias kitimo tendencijas, t. y. didėjant SEK didėja ir atsipirkimo laikas. Šilumos sutaupymai tenkantys šildomo ploto vienetui neatitinka minėtų rodiklių pasiskirstymo tendencijų, be to priemonės efektyvumas didėja didėjant šilumos sutaupymams ir mažėja didėjant atsipirkimo laikui ir SEK.

Lyginant įstiklinimo konstrukcijų efektyvumą labai išsiskiria įstiklinimas aliuminio profilio langais, nes ši priemonė pasižymi didelėmis investicijomis ir mažais sutaupymais.

Vertinant atskirų priemonių efektyvumą tikslinga vadovautis visais trimis rodikliais, suteikiant kiekvienam rodikliui tam tikrą svorį (Rogoža *et al.* 2008). Šiuo tikslu panaudoti 9.2 paveiksle pateikti duomenys ir perskaičiuoti į 10-ies balų sistemą. Skaičiavimai atlikti remiantis „Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringas“ (2 etapas) ir „Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa“.

Priemonės energinis efektyvumas 10-ies balų sistemoje apskaičiuojamas:

$$k = 10 - \frac{9 \cdot (E_{\max} - E_n)}{(E_{\max} - E_{\min})}, \quad (21)$$

$$k = 1 + \frac{9 \cdot (E_{\max} - E_n)}{(E_{\max} - E_{\min})}, \quad (22)$$

kur: k – perskaiciuotas nedimensinis rodiklis (nuo 1 iki 10);

$E_{\max}$ – maksimali priemonių rodiklių vertė (vienetai priklauso nuo rodiklio tipo);

$E_{\min}$ – minimali priemonių rodiklių vertė (vienetai priklauso nuo rodiklio tipo);

E_n – perskaiciuojamo tam tikros priemonės rodiklio vertė (vienetai priklauso nuo rodiklio tipo).

Perskaiciuojant šilumos sutaupymus, tenkančius šildomo ploto vienetui, naudojama (21) lygtis, o perskaiciuojant SEK ir paprastą atsipirkimo laiką – (22) lygtis. Gauti perskaiciavimai pateikti 9.5 lentelėje.

9.5 lentelė. Efektyvumo rodikliai perskaiciuoti dešimties balų sistemoje

Eil. Nr.	Energijos taupymo priemonė	Atsipirkimai	SEK	Sutaupymai	Vidurkis
1.	Balkonų stiklinimas plastikinio profilio langais	8,0	10,0	5,4	7,8
1.1.	ir apšiltinimas polistireniniu putplasčiu	10,0	8,3	10,0	8,9
1.2.	ir apšiltinimas medinėmis dailylentėmis	10,0	6,6	8,0	8,6
1.3.	ir apšiltinimas plastikinėmis dailylentėmis	9,9	4,9	5,7	6,8
2.	Balkonų stiklinimas aliuminio profilio langais	1,0	1,0	1,0	1,0

Iš aukščiau pateiktos lentelės matyti, kad priemonių efektyvumas pagal atskirus rodiklius skiriasi, todėl naudojamas jų vidurkis, vertinant, kad visi rodikliai pagal svarbą yra lygūs. Lyginant šiuos rezultatus su „Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringe“ ir 1.3 lentelėje pateiktais rezultatais, matyti, kad gauti rezultatai yra šiek tiek didesni. Šių nagrinėjamų rezultatų dydžiui įtakos turėjo tai, kad buvo nagrinėjama konkreti patalpa, o ne visas pastatas.

Apibendrinant ankstesiuose skyriuose pateiktus rezultatus, galime teigti, kad balkonų įstiklinimas ir apšiltinimas energetiniu ir ekonominiu požiūriu yra efektyvi energiją taupanti priemonė, kurią tikslinga būtų diegti kompleksiskai visame pastate.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Išnagrinėjus tris balkonų įstiklinimo ir apšiltinimo įtakos šilumos sutaupymui variantus, ir palyginus patalpų mikroklimato ir šilumos poreikių kitimo rezultatus, gautus eksperimentinių tyrimų metu, analitinių skaičiavimų ir skaičiavimų, atliktų kompiuterine THERM 5.0 programa, galima padaryti tokias išvadas:

1. Eksperimentinio tyrimo metu gauti rezultatai (šilumos perdavimo koeficientas, atitvarų paviršiaus temperatūros) yra patikimiausi. Lango ir išorinės sienos šilumos perdavimo koeficientas, įvertinus vidaus ir išorės paviršiaus normines šilumines varžas lygus:

- išorinės (mūrinės) sienos, kuri ribojasi su įstiklinto balkono nešildoma patalpa, $U_{GF} = 0,36 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, o plastikinio lango $U_{GF} = 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$;
- išorinės (monolitinės) sienos, kuri ribojasi su neįstiklinto balkono patalpa, $U_{GF} = 0,74 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, o medinių langų $U_{GF} = 1,8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

2. Analizuojant patalpų mikroklimato sąlygas nagrinėjamose patalpose ir atlikus detalius temperatūros ir santykinės drėgmės matavimus nustatyta, kad patalpoje su įstiklintu balkonu patalpos oro temperatūra yra 4–5 °C didesnė, kai analizuojamose patalpose temperatūra kito nuo 19,1–23,7 °C, o vidutinė lauko oro temperatūra siekė apie -22 °C.

3. Išsami tiriamųjų patalpų šilumos nuostolių analizė parodė, kad patalpų šilumos nuostoliai per mėnesį yra: patalpos su neįstiklintu balkonu – 2,4 kWh/m², patalpos su įstiklintu balkonu aliuminio profilio langais – 1,7 kWh/m² bei patalpos su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais – 1,4 kWh/m². Nustatyta, kad įstiklinus balkonus plastikinio profilio langais šilumos nuostoliai į aplinką sumažėja apie 1,7 karto lyginant su patalpa, besiribojančia su neįstiklintu balkonu (lauko oru).

4. Modeliuojant kompiuterine „THERM 5.0“ programa palyginti skirtingi variantai apšiltinus balkoną skirtingomis termoizoliacinėmis savybėmis pasižyminčiomis medžiagomis. Nustatyta, kad sienų apšiltinimas polistireniniu putplasčiu vidaus oro temperatūrą balkone sumažina nuo -8 °C iki -5 °C, o tuo tarpu sienų apšiltinimas plastikinėmis ir medinėmis dailylentėmis duoda kur kas mažiau efektyvesnių rezultatų, t.y. temperatūra balkone išlieka mažai pakitusi (sumažėja apie 1 °C).

5. Atlikus ekonominį vertinimą pagal tris rodiklius (SEK, PAL ir šilumos sutaupymai, tenkantys šildomo ploto vienetui) nustatyta, kad efektyviausia balkoną stiklinti plastikinio profilio langais ir apšiltinti polistireniniu putplasčiu. Balkonų stiklinimas aliuminio profilio langais vertinant pagal SEK ir PAL yra ekonomiškai neefektyvi energijos taupymo priemonė,

kadangi investicijos didelės, o šiluminiai sutaupymai – maži, t.y apie 78 Lt/metus, o tuo tarpu įstiklinus balkoną plastikinio profilio langais galime sutaupyti apie 133 Lt/metus.

6. Įstiklinus ir apšiltinus balkoną polistireniniu putplasčiu per metus sutaupytume apie 8 MWh šiluminės energijos, o išlaidos būsto šildymui sumažėtų apie 200 Lt.

Pasiūlymai:

1. Rekomenduojama balkonų įstiklinimą ir apšiltinimą kaip energijos taupymo priemonę diegti ne pavieniui, o kompleksiškai visame pastate. Taip bus pasiekiami geresni šilumos taupymo rezultatai.

2. Siekiant maksimaliai sumažinti patalpų šilumos nuotolius ir ekonomiškai taupyti šiluminę energiją siūloma balkonus stiklinti plastikinio profilio langais ir įrengti papildomą sienų ir balkono plokštės izoliaciją (apšiltinimą).

LITERATŪRA

Aukščiūnas, V. 2005. Lietuvos būsto būklė ir jos atnaujinimo aspektai. Verslas: teorija ir praktika. Vilnius: Technika. 142–149 p.

Bliūdžius, R.; Ramanauskas, J.; Stankevičius, V. 2005. *Langų šiluminės savybės*. Kaunas: Technologija. 136 p. ISBN 9955-09-983-6.

Daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2011 m. gruodžio 28 d. nutarimu Nr. 1556 (Žin., 2012, Nr. 1-1).

Energijos efektyvumo veiksmų planas. Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2008 m. gruodžio 4 d. įsakymu Nr. 4-620 (2007, Nr. 76-3024).

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES. Dėl pastatų energinio naudingumo, 2010-05-19, L 153/13.

Forsström, A. 2010. Glazed balconies save energy [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 m. sausio 19 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.dn.se/bostad/inglasade-balkonger-spar-energi-1.1196938>>

Gudzinskas, J.; Lukoševičius, V.; Martinaitis, V.; Tuomas, E. 2011. *Šilumos vartotojo vadovas*. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. 155. ISBN 798-609-95258-0-8.

Hutri, J.; Hilliaho, E.; Välimäki, S. 2010. Balcony views [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. sausio 15 d. Prieiga per internetą: <www.mabglas.dk/Produkter/Altanlukninger/Balcony_mab.pdf>

Jonaitis, B.; Šneideris, A. 2007. Monolitinio gelžbetonio balkono plokščių armavimas elementais su izoliuojančiu intarpu. Vilnius: Technika. 47 p.

Langų sistemos. 2011. Rėminė balkonų stiklinimo sistema [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 m. gegužės 17 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.balkonu-stiklinimas.lt/remine-stiklinimo-sistema/remine-balkonu-stiklinimo-sistema.html>>

Lawrence Berkeley National Laboratory. 1999. THEMR NFRC Simulationa Manual. California, 237 p. DE-AC03-76SF00098.

Leka (Lietuvos energetikos konsultantų asociacija). 2002. Energetikos planavimas [interaktyvus]. Ekonominis šilumos ūkio modernizavimo projektų vertinimas

[Žiūrėta 2012 m. gegužės 17 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.leka.lt/index.php?content=pages&lng=lt&page_id=31&news_id=37>

Motuzienė, V. 2010. *Istiklinimo įtakos viešųjų pastatų energijos poreikiams kompleksinė analizė*. Vilnius: Technika. 158 p. ISBN 978-9955-28-704-9.

Paulauskaitė, S.; Babelytė, A. 2012. Istiklintų balkonų įtakos patalpų mikroklimatui ir šilumos poreikiams analizė [Analysis of glazed balconies influence for microclimate and heat needs], iš *Pastatų inžinerinės sistemos* 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2012 m. balandžio 12 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 83–89.

Rapcevičienė, D. 2010. Daugiabučių namų renovacijos efektyvumo vertinimas [Evaluation of multi residential house renovation efficiency], iš *Verslo vadyba ir finansai* 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2010 m. kovo 12 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 83–89.

Rogoža, A.; Šiupšinskas, G.; Martinaitis, V. 2008. Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringas (2 etapas) [interaktyvus]. Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra [žiūrėta 2012 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą:
<<http://www.am.lt/VI/files/0.888292001235479201.pdf>>

Rogoža, A.; Martinaitis, V. 2007. Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringas (I etapas) [interaktyvus]. Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra [žiūrėta 2012 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.am.lt/files/Monitoringas_2007.pdf>

RSN 156-94. Statybinė klimatologija. Vilnius, 1995.P.136. (Žin., 1994, Nr. 24-394).

Stankevičius, V.; Bliūdžius, R. 2007. Išanalizuoti teisės aktų ir norminių dokumentų, reglamentuojančių pastatuose įrengtų langų gamybos, energinio efektyvumo bei kitų charakteristikų, įrengimo, eksploatavimo reikalavimus ir paruošti pasiūlymus dėl pastatuose įrengtų langų savybių atitikties nustatyties reikalavimams tikrinimo. Ataskaita. KTU: Architektūros ir Statybos institutas. 58 p.

STR 2.05.01:2005. Pastatų atitvarų šiluminė technika. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2005 m. kovo 18 d. įsakymu Nr. D1-156. (Žin., 2005, Nr 100-3733).

STR 2.09.04:2008. Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2008 m. gegužės 12 d. įsakymu Nr. D1-248. (Žin., 2008, Nr. 58-2185).

Tilley, J. 2010. Architects choice [žiūrėta 2012 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.architectnews.co.uk/is-your-choice-of-thermal-break-module-really-up-to-the-job-cms-689>>

Vilniaus katalogas. 2011 m. Namai Vilniuje [žiūrėta 2012 m. sausio 22 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.vilnius21.lt/>>

PRIEDAI

1 PRIEDAS. Eksperimentinio tyrimo matavimo duomenys patalpoje su neįstiklintu balkonu

Data	Santykinė oro drėgmė	Patalpos oro temperatūra	Šilumos srautas per sieną	Šilumos srautas per lango rėmą	Šilumos srautas per įstiklintąją dalį	Sienos paviršiaus temperatūra	Lango rėmo paviršiaus temperatūra	Įstiklintosios dalies paviršiaus temperatūra	Lauko oro temperatūra
	%	°C	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C	°C	°C
2012.02.03	23,0	19,8	23,4	15,5	56,8	17,6	16,5	10,1	-23,1
2012.02.03	21,8	20,0	23,9	15,5	57,7	17,2	16,5	11,9	-23,9
2012.02.03	21,4	20,4	23,9	22,8	58,2	17,4	16,5	12,2	-22,7
2012.02.03	21,7	20,7	23,7	24,5	58,3	17,5	16,8	11,3	-23,0
2012.02.04	21,7	20,5	23,8	24,5	58,3	17,6	16,8	9,9	-23,6
2012.02.04	21,7	20,3	23,8	23,9	58,5	18,1	16,8	11,3	-23,9
2012.02.04	22,6	20,3	23,1	24,6	59,2	19,2	16,1	11,9	-23,7
2012.02.04	22,5	20,2	23,6	24,8	57,7	19,1	16,0	12,0	-23,7
2012.02.04	21,8	20,3	23,6	25,6	61,0	17,8	16,0	11,9	-23,1
2012.02.04	22,9	20,4	23,6	23,3	58,7	17,9	16,0	11,9	-23,9
2012.02.04	26,4	20,3	23,7	24,4	58,5	17,8	16,0	12,0	-23,8
2012.02.04	26,2	20,5	23,6	23,9	56,5	17,6	16,0	11,9	-23,7
2012.02.04	25,1	20,1	23,3	23,4	56,1	17,3	16,0	11,9	-23,9
2012.02.04	22,2	20,0	23,3	23,4	58,2	17,4	16,0	11,9	-23,9
2012.02.04	22,6	20,0	22,7	24,2	61,1	17,6	15,9	11,9	-23,9
2012.02.04	22,8	19,8	23,1	24,2	56,6	17,5	15,9	11,8	-24,4
2012.02.04	22,2	19,7	23,2	24,3	54,9	17,6	15,8	11,9	-23,9
2012.02.04	22,1	19,4	23,4	24,0	55,4	18,1	15,8	11,8	-24,4
2012.02.04	24,4	19,5	23,1	24,1	56,1	18,2	15,8	11,9	-23,9
2012.02.04	24,2	19,5	23,4	24,1	57,1	17,9	15,7	11,9	-24,1
2012.02.04	28,1	19,4	22,9	23,2	59,0	18,2	15,6	11,8	-24,4
2012.02.04	26,6	19,2	23	23,2	58,2	18,3	16,5	11,8	-21,2
2012.02.04	25,6	19,1	22,3	23,3	56,8	18,3	16,5	11,8	-21,4
2012.02.04	25,0	19,1	22,9	24,0	53,6	17,9	16,5	11,3	-24,5
2012.02.04	24,6	19,1	22	23,0	55,6	17,9	16,5	11,3	-24,2
2012.02.04	24,3	19,3	22,1	23,6	55,6	17,8	16,5	11,3	-24,6
2012.02.04	24,1	19,5	22,4	23,5	57,8	18,3	16,5	11,3	-24,4
2012.02.04	24,1	19,4	22,1	21,4	56,0	17,3	16,5	11,3	-24,4
2012.02.05	24,0	19,7	22,1	21,6	57,5	18,3	16,5	11,3	-24,9
2012.02.05	23,9	20,2	22	21,6	59,0	18,3	16,5	11,3	-25,3
2012.02.05	23,9	20,2	22	21,9	56,7	18,3	16,5	11,3	-25,5
2012.02.05	23,7	20,4	21,9	22,2	57,3	18,3	16,5	11,3	-21,8
2012.02.05	23,7	20,6	20,9	20,3	57,0	18,3	16,5	11,3	-22,6
2012.02.05	23,6	20,6	21,8	20,7	59,6	18,3	16,5	11,3	-23,1
2012.02.05	23,5	20,7	21,7	20,2	58,7	18,3	16,5	11,3	-22,5
2012.02.05	23,5	20,9	20,2	20,4	61,3	20,8	16	11,3	-22,3

Pastaba: duomenys pateikiami 1-os valandos intervalu.

2 PRIEDAS. Eksperimentinio tyrimo matavimo duomenys patalpoje su įstiklintu balkonu

Data	Santykinė oro drėgmė	Patalpos oro temperatūra	Šilumos srautas per sieną	Šilumos srautas per lango rėmą	Šilumos srautas per įstiklintąją dalį	Sienos paviršiaus temperatūra	Lango rėmo paviršiaus temperatūra	Įstiklintosios dalies paviršiaus temperatūra	Oro temperatūra balkone
	%	°C	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C	°C	°C
2012.01.31	35,9	23,1	17,1	16,5	51,9	21,8	20,9	14	-4,5
2012.01.31	37,1	23,2	16,9	16,6	51,1	21,7	20,8	13,9	-5,8
2012.01.31	33,3	23,2	17,5	17,5	51,0	21,6	20,9	13,9	-5,6
2012.01.31	33,9	23,2	17,6	16,2	52,6	21,5	20,9	13,8	-5,8
2012.02.01	33,5	23,2	17,7	15,4	51,5	21,5	20,8	13,8	-6,0
2012.02.01	33,4	23,2	17,7	13,8	50,0	21,5	20,8	13,8	-3,3
2012.02.01	34,1	22,8	17,0	12,2	51,6	21,4	20,9	13,7	-6,7
2012.02.01	34,8	22,6	17,9	8,7	52,4	21,2	20,8	13,7	-5,9
2012.02.01	34,5	22,4	18,0	9,2	53,4	21,2	20,8	13,7	-5,1
2012.02.01	34,0	22,3	17,7	11,8	50,6	21,1	20,8	13,7	-5,4
2012.02.01	35,0	22,2	17,7	14,5	50,1	21,2	20,8	13,6	-3,8
2012.02.01	34,9	22,1	17,7	15,5	49,3	21,2	20,6	13,6	-5,8
2012.02.01	35,0	22,2	17,7	16,6	48,4	21,1	20,7	13,6	-5,8
2012.02.01	34,9	22,2	17,6	15,1	48,9	21,0	20,8	13,6	-3,5
2012.02.01	34,2	22,2	17,7	15,8	49,3	21,1	20,6	13,5	-5,6
2012.02.01	35,0	22,3	17,3	16,7	49,3	21,1	20,6	13,5	-4,1
2012.02.01	33,3	22,7	17,6	15,3	50,6	21,0	20,6	14,8	-6,4
2012.02.01	34,8	23,2	17,6	13,4	48,4	20,9	20,7	14,9	-6,4
2012.02.01	34,5	23,7	17,6	15,5	53,0	21,0	20,6	15,1	-6,4
2012.02.01	32,9	23,6	17,6	15,8	51,4	21,0	20,6	15,1	-6,1
2012.02.01	31,4	23,8	17,5	15,9	49,7	20,9	20,5	15,2	-7,2
2012.02.01	30,8	23,4	17,5	14,5	48,9	20,9	20,7	15,1	-7,4
2012.02.01	32,2	23,4	16,9	12,4	50,2	21,0	20,6	15,1	-7,6
2012.02.01	32,4	23,3	17,4	14,1	50,4	20,9	20,6	15,2	-7,6
2012.02.01	31,7	23,1	16,9	13,6	51,9	20,8	20,5	15,2	-5,9
2012.02.01	32,9	23,0	16,3	15,7	52,1	20,9	20,7	15,4	-7,0
2012.02.01	30,3	23,1	16,9	15,5	52,7	20,9	20,6	15,4	-5,3
2012.02.01	34,4	23,0	17,9	16,9	48,6	20,8	20,5	15,4	-5,4
2012.02.02	36,0	23,0	17,7	15,5	50,1	20,8	20,5	15,4	-5,4
2012.02.02	35,8	22,9	17,6	15,0	49,7	20,9	20,6	15,3	-5,3
2012.02.02	31,2	22,7	17,7	16,3	49,5	20,8	20,5	15,3	-5,3
2012.02.02	32,3	22,6	17,4	16,1	49,9	20,8	20,4	15,2	-5,2
2012.02.02	32,9	22,4	17,7	17,1	49,2	20,8	20,5	15,4	-6,1
2012.02.02	32,0	22,4	17,3	15,9	49,6	20,8	20,5	15,5	-6,1

2012.02.02	32,8	22,3	17,5	14,5	51,2	20,6	20,5	15,4	-5,0
2012.02.02	32,6	22,2	17,7	12,4	49,9	20,7	20,4	15,2	-6,0
2012.02.02	32,0	22,3	17,6	14,1	51,6	20,8	20,5	15,1	-3,3
2012.02.02	32,3	22,4	17,7	13,6	49,7	20,6	20,4	14,9	-6,7
2012.02.02	33,2	22,4	17,3	15,7	51,2	20,6	20,5	14,3	-5,9
2012.02.02	36,7	22,4	16,9	15,5	50,7	20,6	20,3	14,4	-5,1
2012.02.02	36,6	22,5	17,4	16,9	49,9	20,7	20,4	14,3	-5,4
2012.02.02	36,3	22,8	16,9	18,5	53,0	20,6	20,4	14,3	-3,8
2012.02.02	36,6	23,1	17,6	15,0	49,5	20,6	20,4	14,3	-5,6
2012.02.02	35,6	23,0	17,7	16,3	54,2	20,5	20,3	14,4	-5,8
2012.02.02	36,4	22,7	17,3	16,1	49,8	20,7	20,2	14,5	-6,0
2012.02.02	36,8	22,6	17,6	17,1	49,0	20,6	20,4	14,5	-6,4
2012.02.02	37,7	22,6	17,6	16,3	47,8	20,6	20,3	14,6	-6,4
2012.02.02	36,5	22,4	17,6	16,2	47,6	21,6	20,2	14,6	-6,1
2012.02.02	36,4	22,4	17,6	16,9	48,8	21,5	20,3	14,8	-7,2
2012.02.02	36,6	22,5	16,9	15,9	50,5	21,5	20,3	14,8	-7,4
2012.02.02	37,8	22,5	17,5	14,5	47,8	21,6	20,2	14,9	-5,9
2012.02.02	35,6	22,5	17,6	15,8	48,5	21,7	20,3	15,1	-7,0
2012.02.03	37,4	22,4	16,9	15,9	50,0	21,6	20,3	15,1	-5,3
2012.02.03	40,0	22,3	17,5	14,3	48,2	21,6	20,2	15,2	-5,4
2012.02.03	35,5	21,9	17,6	12,6	48,0	21,8	20,6	15,1	-5,4
2012.02.03	37,5	22,8	17,4	14,1	48,0	21,8	20,6	15,1	-5,3
2012.02.03	43,2	22,8	17,7	13,6	44,3	21,7	20,5	15,2	-5,3
2012.02.03	43,9	22,9	17,3	15,7	43,9	21,7	20,7	15,2	-5,2
2012.02.03	43,5	22,0	17,5	15,5	47,6	21,9	20,6	15,1	-6,1
2012.02.03	43,1	22,8	17,7	16,9	47,4	21,8	20,5	14,9	-6,1
2012.02.03	44,0	22,7	17,6	15,5	46,1	21,7	20,4	14,3	-5,0
2012.02.03	44,0	23,3	18,7	15,7	46,5	21,7	20,6	14,4	-5,9
2012.02.03	43,5	23,1	17,3	16,3	47,4	21,7	20,6	14,3	-7,0
2012.02.03	43,2	23,0	16,9	16,1	46,4	21,6	20,6	14,3	-5,3
2012.02.03	40,6	23,1	18,4	16,6	46,2	21,5	20,5	14,3	-5,4
2012.02.03	44,7	23,3	16,9	15,1	47,5	21,7	20,9	14,4	-5,4
2012.02.03	44,3	23,1	17,6	15,8	45,9	21,7	20,6	14,5	-5,3
2012.02.03	45,7	23,0	17,6	16,7	47,6	21,6	20,5	14,5	-5,3
2012.02.03	46,4	23,1	17,4	15,3	47,4	21,7	20,5	14,6	-5,3
2012.02.03	40,3	23,6	17,7	13,4	49,8	21,7	20,8	14,6	-6,1
2012.02.03	39,8	23,6	17,6	15,5	49,6	22,0	20,6	14,8	-6,2

Pastaba: duomenys pateikiami 1-os valandos intervalu.

3 PRIEDAS. Patalpos su neįstiklintu balkonu šilumos poreikių skaičiavimas

Sekančiose lentelėse pateikiami skaičiavimo rezultatai, t. y šilumos nuostoliai per patalpos atitvaras, taip pat šilumos nuostoliai dėl ilginių šiluminių tiltelių, vėdinimo, infiltracijos.

Patalpa	θ_i °C	Atitvarų charakteristikos					k_a	b_u	Δk_0	Δk_w	Δk_h	Δk_{h0}	$1+\Delta k_0+\\ +\Delta k_w+\Delta k_h+\\ +\Delta k_{h0}$	H_{eb} W/K
		Atitvara ir orientacija	Matmenys, m		Plotas, m ²	U, W/m ² K								
			Ilgis	Aukštis (plotis)										
Miegamasis	19,1	IŠ1/P	0,90	2,50	2,25	1,213	-	1	0	0,02	0,02	1	2,04	5,54
		IŠ2/R	2,30	2,50	5,75	1,13	-	1	0	0,02	0,02	1	2,04	14,16
		L1/P	-	-	1,46	1,582	-	1	0	0,02	0,02	1	2,04	4,27
		L1D/P			2,09	1,601	-	1	0	0,02	0,02	1	2,04	6,31
														30,29

Patalpa	θ_b , °C	Ilginio šiluminio tiltelio apibūdinimas	Ψ , W/(m·K)	l, m	k_a	b_u	Δk_0	Δk_w	Δk_h	Δk_{h0}	$1+\Delta k_0+$ $+\Delta k_w+\Delta k_h+\Delta k_{h0}$	H_{Ψ} , W/K
Miegamasis	19,1	Išorinis kampas	-0,1	2,50	-	0,4	0	0,02	0,02	1,2	2,24	-0,22
		Sienos ir perdangos sandūra	0,7	3,43	-	0,4	0	0,02	0,02	1,2	2,24	2,15
		Balkono grindų ir sienos sandūra	0,8	3,43	-	0,4	0	0,02	0,02	1,2	2,24	2,46
		Langų ir sienų sandūra	1	9,98	-	0,4	0	0,02	0,02	1,2	2,24	8,94
												13,33

A_{p2} m ²	A_{pds} m ²	A_{o2} m ²	h, m	Δk_c	Δk_b	k_g	n_{in2} h ⁻¹	n_{tv} , h ⁻¹	n_{ny2} h ⁻¹	η_{hr2} h ⁻¹	L_{in2} m ³ /h	L_{nv2} m ³ /h	L_{ev2} m ³ /h	H_{in2} W/K	H_{nv2} W/K	H_{de2} W/K	H_{ev2} W/K	H_{v2} W/K
17,9	-	60	2,5	1,1	0,1	0,0839	0,2	0,7	0,5		11,74	29,34	0	3,93	9,82	0	0	13,75

4 PRIEDAS. Patalpos su įstiklintu balkonu plastikinio profilio langais šilumos poreikių skaičiavimas

Sekančiose lentelėse pateikiami skaičiavimo rezultatai, t. y šilumos nuostoliai per patalpos atitvaras, taip pat šilumos nuostoliai dėl ilginių šiluminių tiltelių, vėdinimo, infiltracijos.

Patalpa	θ_i °C	Atitvarų charakteristikos					k_a	b_u	Δk_0	Δk_w	Δk_h	Δk_{h0}	$1+\Delta k_0+$ $+\Delta k_w+\Delta k_h+\Delta k_h$ 0	$H_{el}, W/K$
		Atitvara ir orientacija	Matmenys, m		Plotas, m^2	$U,$ W/m^2K								
			Ilgis	Aukštis (plotis)										
Miegamasis	23,7	IŠ1/Š	0,80	2,50	2,00	0,900	0,67	0,8	0	0,05	0,02	1	2,07	2,00
		L1	1,18	1,4	1,65	1,429	0,67	0,8	0	0,05	0,02	1	2,07	2,62
		L1/D	0,74	2,18	1,61	1,419	0,67	0,8	0	0,05	0,02	1	2,07	2,54
		L2/B	2,72	0,8	2,18	1,500	1,00	0,8	0	0,05	0,02	1	2,07	5,41
														12,57

Patalpa	θ_b °C	Ilginio šiluminio tiltelio apibūdinimas	Ψ , W/(m·K)	l, m	k _a	b _u	Δk_0	Δk_w	Δk_h	Δk_{h0}	$1+\Delta k_0+$ $+\Delta k_w+\Delta k_h++\Delta k_{h0}$	H_{Ψ} , W/K
Miegamasis	23,7	Išorinis kampas	-0,1	2,50	1,00	0,8	-	0,02	0,02	1,2	2,24	-0,45
		Sienos ir perdangos sandūra	0,7	2,72	0,08	0,8	-	0,02	0,02	1,2	2,24	0,28
		Balkono grindų ir sienos sandūra	0,8	2,72	0,67	0,8	-	0,02	0,02	1,2	2,24	2,62
		Langų ir sienų sandūra	1	10,88	0,08	0,8	-	0,02	0,02	1,2	2,24	1,58
												4,03

$A_p,$ m^2	$A_{pd},$ m^2	$A_o,$ m^2	$h,$ m	Δk_c	Δk_b	k_g	$n_{in},$ h^{-1}	$n_{tv},$ h^{-1}	$n_{nv},$ h^{-1}	$\eta_{hr},$ h^{-1}	$L_{in},$ m^3/h	$L_{nv},$ m^3/h	$L_{ev},$ m^3/h	$H_{in},$ W/K	$H_{nv},$ W/K	$H_{de},$ W/K	$H_{ev},$ W/K	$H_v,$ W/K
15,9	-	60	2,5	1,1	0,1	0,0950	0,2	0,7	0,5	-	10,14	25,34	-	3,39	8,48	0	0	11,88

5 PRIEDAS. Patalpos su įstiklintu balkonu aliuminio profilio langais šilumos poreikių skaičiavimas

Sekančiose lentelėse pateikiami skaičiavimo rezultatai, t. y šilumos nuostoliai per patalpos atitvaras, taip pat šilumos nuostoliai dėl ilginių šiluminių tiltelių, vėdinimo, infiltracijos.

Patalpa	θ_i °C	Atitvarų charakteristikos					k_a	b_u	Δk_0	Δk_w	Δk_h	Δk_{h0}	$1+\Delta k_0+$ $+\Delta k_w+\Delta k_h+\Delta k_{h0}$	H_{el} , W/K
		Atitvara ir orientacija	Matmenys, m		Plotas, m^2	U, W/m^2K								
			Ilgis	Aukštis (plotis)										
Miegamasis	20,3	IŠ1/ŠV	1,05	2,50	2,63	1,171	1,00	0,8	0	0,02	0,02	1,00	2,04	4,28
		L1	1,18	1,4	1,65	1,429	0,77	0,8	0	0,02	0,02	1,00	2,04	2,94
		L1/D	0,74	2,18	1,61	1,387	0,77	0,8	0	0,02	0,02	1,00	2,04	2,87
		L2/B	2,72	0,8	2,18	1,510	1,00	0,8	0	0,02	0,02	1,00	2,04	5,36
														15,47

Patalpa	θ_p , °C	Ilginio šiluminio tiltelio apibūdinimas	Ψ , W/(m·K)	l, m	k_a	b_u	Δk_0	Δk_w	Δk_h	Δk_{h0}	$1+\Delta k_0+$ $+\Delta k_w+\Delta k_h++\Delta k_{h0}$	H_{Ψ} , W/K
Miegamasis	20,3	Išorinis kampas	-0,1	2,40	1,00	0,5	0	0,02	0,02	1,2	2,24	-0,27
		Sienos ir perdangos sandūra	0,7	3,60	0,00	0,5	0	0,02	0,02	1,2	2,24	0,01
		Balkono grindų ir sienos sandūra	0,8	3,60	0,60	0,5	0	0,02	0,02	1,2	2,24	1,92
		Langų ir sienų sandūra	1	9,72	1,00	0,5	0	0,02	0,02	1,2	2,24	10,89
												12,54

A_p , m^2	A_{pd} , m^2	A_o , m^2	h, m	Δk_c	Δk_b	k_g	n_{in} , h^{-1}	n_{iv} , h^{-1}	n_{nv} , h^{-1}	η_{hr} , h^{-1}	L_{in} , m^3/h	L_{nv} , m^3/h	L_{ev} , m^3/h	H_{in} , W/K	H_{nv} , W/K	H_{de} , W/K	H_{ev} , W/K	H_v , W/K
15,9	-	60	2,5	1,1	0,1	0,0727	0,2	0,7	0,5	-	10,61	26,53	-	3,55	8,88	0	0	12,43