



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**„Uždarytųjų“ fasadų technologijos įtaka pastatų
energiniam efektyvumui**

Magistro baigiamasis projektas

Karolis Diškevičius

Projekto autorius

Prof. dr. Andrius Jurelionis

Vadovas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**„Uždarytųjų“ fasadų technologijos įtaka pastatų
energiniam efektyvumui**

Magistro baigiamasis projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Karolis Diškevičius

Projekto autorius

Prof. dr. Andrius Jurelionis

Vadovas

Lekt. dr. Jurgita Černeckienė

Recenzentė

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros

Karolis Diškevičius

„Uždarų ertmių“ fasadų technologijos įtaka pastatų energiniam efektyvumui

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Karolio Diškevičiaus, baigiamasis projektas tema „Uždarų ertmių fasadų technologijos įtaka pastatų energiniam naudingumui“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: DARNŪS IR ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):

„UŽDARŲ ERTMIŲ“ FASADŲ TECHNOLOGIJOS ĮTAKA PASTATŲ ENERGINIAM
EFEKTYVUMUI

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: V25-09-20

„UŽDARŲ ERTMIŲ“ FASADŲ TECHNOLOGIJOS ĮTAKA PASTATŲ ENERGINIAM
EFEKTYVUMUI

(anglų k.):

IMPACT OF THE „CLOSED CAVITY“ FACADE TECHNOLOGY ON ENERGY
PERFORMANCE OF BUILDINGS

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

OBJEKTO IFC MODELIS, „UŽDARŲ ERTMIŲ“ FASADO TECHNOLOGIJOS SCHEMA.

Baigiamojo projekto dalys:

	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	
Eksperimentiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Analitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Skaitiniai tyrimai	x
Ekonominė dalis	x
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį), susitikimų su vadovu savaitės diena (-os) bei laikas:

Vadovas:

(indėlis 100 %)

prof. dr. Andrius Jurelionis

pareigos, vardas, pavardė

parašas

Studentas:

Karolis Diškevičius

vardas, pavardė

parašas

Diškevičius Karolis. Uždarų ertmių fasadų technologijos įtaka pastatų energiniam efektyvumui. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas / prof. dr. Andrius Jurelionis; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05).

Reikšmingi žodžiai: baigiamasis darbas, uždarų ertmių fasadas, uždarų ertmių fasadai, vieno sluoksnio fasadai, mūro fasadai, nevedinamas, energijos sąnaudos, temperatūros, akustika.

Kaunas, 2021. 47 p.

Santrauka

Žmonės apie 80 – 90 % savo laiko praleidžia pastatuose. Būtent dėl to projektuojant naujus ir renovuojant senus pastatus vis daugiau dėmesio yra skiriama patalpų mikroklimatui ir energiniam efektyvumui užtikrinti. Daugumoje pastatų temperatūrą ir oro kokybę bandoma reguliuoti atidarant langus, duris, naudojant pavienes vėdinimo, kondicionavimo, šildymo sistemas. Daugeliu atvejų šie variantai nėra energetiškai efektyvūs.

Tinkamas fasadas gali apsaugoti patalpas nuo perkaitimo, padidinti energinį pastato efektyvumą. Šiais laikais labai populiariu projektuoti didžiąją pastato fasado dalį iš stiklo konstrukcijų. Atsižvelgiant į tai, šio magistrinio darbo metu buvo išsikeltas tikslas ištirti kaip skirtingi fasadai gali pakeisti energijos sąnaudas biurų pastate „Sky office“, tam pasitelkiant IDA ICE dinaminio energijos sąnaudų modeliavimo programą bei literatūros šaltinius.

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas šiuo metu statomas biurų pastatas „Sky office“, esantis Vilniuje. Eksperimento metu IDA ICE programoje buvo nagrinėti stikliniai fasadai: vieno sluoksnio, dvigubas nevedinamas, vadinamasis uždarų ertmių („Closed cavity“) fasadai. Dvigubas vedinamas fasadas buvo nagrinėjamas pasitelkiant literatūros šaltinius. Gauti modeliavimo rezultatai parodė, kad uždarų ertmių fasadas gali būti efektyvus ir sutaupyti 22.5% energijos pastato aprūpinimui lyginant su vieno sluoksnio fasadu bei 4,3% lyginant su dvigubu vedinamu fasadu. Didelę įtaką fasado pasirinkimui turi įrengimo kaina, kuri svyruoja tarp 600-850 Eur/m² visais atvejais, ir priežiūros kaštai, šiuo aspektu vieno sluoksnio ir uždarų ertmių fasadų kaštai beveik nesikeičia, o dvigubo vedinamo fasado kaštai gali būti didesni netgi 7 Eur/m². Baigus modeliavimą ir apskaičiavus sutaupymus, įrengimo bei priežiūros kaštus apskaičiuotas uždarų ertmių fasado atsipirkimo terminas (lyginant su vieno sluoksnio fasadu) – 38 metai.

Darbą sudaro šios pagrindinės dalys: įvadas, literatūros analizė, pirminis modeliavimas, realaus pastato modeliavimas.

Diškevičius, Karolis. Impact of the "Closed Cavity" Facade Technology on Energy Performance of Buildings. Master project supervisor prof. dr. Andrius Jurelionis; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Civil Engineering (E05).

Keywords: final Project, closed cavity facade, double facades, single layer facades, masonry facades, non-ventilated, energy consumption, temperature, acoustics.

Kaunas, 2021. 47 p.

Summary

People spend about 80-90% of their time in buildings. That is why, when designing new and renovating old buildings, more and more attention is paid to ensuring the microclimate and energy efficiency of the premises. In most buildings, attempts are made to regulate the temperature and air quality by opening windows and doors, using individual ventilation, conditioning and heating systems. In most cases, these options are not energy efficient.

Proper facade can protect the premises from overheating, increase the energy efficiency of the building. Nowadays, it is very popular to design most of the facade of a building from glass structures. With this in mind, the aim of this master's thesis was to investigate how different facades can change the energy consumption in the "Sky office", using the IDA ICE dynamic energy consumption modeling program and literature sources.

The final master's thesis examines the "Sky office" building currently under construction in Vilnius. During the experiment, the IDA ICE program examined glass facades: single-layer, double unventilated, so-called Closed cavity facades. The double ventilated facade has been studied with the help of literature sources. The obtained modeling results showed that the enclosure of enclosed spaces can be efficient and save 22.5% of energy for the supply of the building compared to the single-layer facade and 4.3% compared to the double ventilated facade. The choice of façade is greatly influenced by the installation price, which ranges between 600-850 Eur / m² in all cases, and maintenance costs, in this respect the costs of single-layer and closed-cavity façades remain almost unchanged, and double ventilated façade costs can be as high as 7 Eur / m². After completion of modeling and calculation of savings, installation and maintenance costs, the payback period of the closed cavity façade (compared to the single-layer façade) was calculated to be 38 years.

The work consists of the following main parts: introduction, literature analysis, primary modeling, existing building modeling.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslėlių turinys	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Dvigubi – uždarų ertmių fasadai.....	12
2. Uždarų ertmių fasadų privalumai, trūkumai ir tikslai	14
2.1. Privalumai.....	14
2.2. Trūkumai	14
2.3. Tikslai	14
3. Uždarų ertmių fasado akustinės savybės	16
3.1. Akustika mieste	16
3.2. Ertmės įtaka akustikai bei skirtingų tipų fasadų palyginimas idealiomis sąlygomis.	16
4. Sistemos parametrų reikšmės ir ypatybės.....	18
5. Temperatūra sistemos viduje	19
5.1. Vidinės ertmės temperatūra	19
5.2. Stiklų paviršių temperatūra.....	19
6. Fasadų priežiūros kaštai	20
7. Energinų sąnaudų palyginimas	22
7.1. Vidutinių platumų klimato juosta.....	22
7.2. Šilto klimato zona.....	23
8. Literatūros analizės išvados.....	26
9. Tyrimo metodai	27
9.1. Pirminis modeliavimas	27
9.1.1. Modeliuojamų uždarų ertmių fasadų tipai.....	27
9.1.2. Modeliuojamų vieno sluoksnio fasadų tipai.....	29
9.1.3. Efektyviausių fasadų parinkimas.....	31
9.1.4. Energijos sąnaudų modeliavimas visame pastate.....	32
9.1.5. Pirminio modeliavimo išvados	34
9.2. Fasadų modeliavimas realiame pastate	34
9.2.1. Informacija apie pastatą.....	34
9.2.2. Uždarų ertmių fasadas realiame pastate	36
9.2.3. Vieno sluoksnio fasadas realiame pastate	37
9.2.4. Fasadų palyginimas	38
9.2.5. Palyginimas su mūriniu fasadu.....	38
9.2.6. Nepatenkintųjų procentas	39
9.2.7. Uždarų ertmių fasado stiklų paviršių temperatūros.....	39
9.2.8. Kaštų palyginimas, remiantis įrengimo, priežiūros, sutaupymo kaštais. Atsipirkimo terminas 40	
10. Tyrimo rezultatų apibendrinimas.....	42
Išvados	43
Literatūros sąrašas	44

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Akustinio tyrimo metu gauti rezultatai, visais devyniais tyrimų atvejais [12].....	16
2 lentelė. Bandymo metu gauti skirtingų parametrų fasadų akustiniai rezultatai [12]	17
3 lentelė. Energijos sąnaudos trimis skirtingais variantais [20].....	22
4 lentelė. Tarpiniai pirminio modeliavimo rezultatai.....	31
5 lentelė. Galutiniai pirminio modeliavimo rezultatai	32
6 lentelė. Duomenys apie pastatą	35
7 lentelė. Metinės energijos sąnaudos pastatui, naudojant uždarytųjų (dvigubą nevėdinamą) fasadą	36
8 lentelė. Metinės energijos sąnaudos pastatui, naudojant vieno sluoksnio fasadą	37
9 lentelė. Metinės energijos sąnaudos pastatui, naudojant mūrinį fasadą.....	39
10 lentelė. Nepatenkintųjų procentas pagal fasadą.	39
11 lentelė. Išorinio stiklo temperatūra visų metų laikotarpiu pagal fasadų orientaciją.....	39
12 lentelė. Vidinio stiklo temperatūra visų metų laikotarpiu pagal fasadų orientaciją.....	40
13 lentelė. Ekonominio naudingumo vertinimas vieneriems metams	40

Paveikslėlių turinys

1 pav. Fasadų tipai: A – vėdinamas natūraliai, B – nevėdinamas, C – vėdinamas mechaniškai [4]	13
2 pav. Laboratorinio bandymo atlikimo schema [12]	17
3 pav. Skirtingi geometrijos tipai dvigubuose fasaduose [13]	18
4 pav. Investicijų dydis vieno sluoksnio ir dviejų sluoksnių fasadų įrengimui [10, 19].....	20
5 pav. Fasadų aptarnavimo kaštai pagal fasado sistemos ypatumus ir tipą [10, 19].....	21
6 pav. Energijos sąnaudos taikant tris skirtingas technologijas tiriamuosiuose aukštuose, kWh [20]	22
7 pav. Skirtingų fasadų energijos sąnaudų palyginimas [22].....	24
8 pav. Vėsinimo apkrovos ir saulės pritekėjimai vieno sluoksnio fasado atveju [22]	24
9 pav. Vėsinimo apkrovos ir saulės pritekėjimai dvigubo nevėdinamo fasado atveju [22].....	25
10 pav. Uždarų ertmių fasadas (CCDSF-1)	27
11 pav. Uždarų ertmių fasadas (CCDSF-2)	28
12 pav. Uždarų ertmių fasadas (CCDSF-3)	28
13 pav. Uždarų ertmių fasadas (CCDSF-4)	29
14 pav. Vieno sluoksnio fasadas (SSF-1)	30
15 pav. Vieno sluoksnio fasadas (SSF-2)	30
16 pav. Pirminio eksperimento modelis.....	31
17 pav. Visas pirminio modeliavimo pastatas.....	32
18 pav. Pastato su uždarų ertmių fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius	33
19 pav. Pastato su vieno sluoksnio fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius	33
20 pav. Sky Office pastato Vilniuje informacinis modelis	35
21 pav. Pastato su uždarų ertmių fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius	36
22 pav. Pastato su vieno sluoksnio fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius	37
23 pav. Mūrinis fasadas	38

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

CCDSF – uždarytųjų ertmių fasado sistema.

SSF – vieno sluoksnio fasado sistema.

Terminai:

Uždarytųjų ertmių fasadas – dvigubas nevėdinamas fasadas, ši sistema veikia natūralios konvekcijos principu, tačiau oras yra uždarytas erdvėje tarp dviejų sistemos sluoksnių. Kadangi vidinio ir išorinio sluoksnių šiluminiai srautai yra skirtingi, oras natūraliai cirkuliuoja viduriniame tarpe. Tačiau dėl uždaros vidurinės ertmės šiuo metodu natūrali ventilacija nevyksta.

Dvigubas vėdinamas fasadas – šio tipo fasado sistemoje vidurinė ertmė vėdinama. Oras į sistemą patenka pro apatinę dalyje esančią ertmę, o išeina pro viršutinę dalyje esančią tokią pačią ertmę. Šis metodas sukuria tinkamą šiluminę varžą tarp vidinės ir išorinės pastato aplinkos, o šildomas oras vidurinėje dalyje gali būti natūraliai naudojamas atidarant langus vidiniame sluoksnyje.

Ivadas

Remiantis naujai atliktais tyrimais ir apklausomis nustatyta, kad dėl besikeičiančių sąlygų ir gyvenimo būdo dauguma žmonių pastatuose praleidžia apie 80 – 90 % savo laiko. Būtent dėl to projektuojant naujus ir renovuojant senus pastatus vis daugiau dėmesio yra skiriama patalpų mikroklimatui ir energijos sąnaudoms užtikrinti. Temperatūra ir oro kokybė – tai du faktoriai, turintys daugiausiai įtakos žmogaus savijautai ir produktyvumui. Daugumoje pastatų temperatūrą ir oro kokybę bandoma reguliuoti atidarant langus, duris, naudojant pavienes vėdinimo, kondicionavimo, šildymo sistemas. Daugeliu atvejų šie variantai nėra energetiškai efektyvūs, nes atidarant langą yra švaistoma energija, o ir projektuojant vėdinimą, šildymą reikia atsižvelgti ir į kitus pastato parametrus kaip: bendrą sistemų veikimą, jų atitikimą pastato paskirčiai, architektūriniams sprendimams ir pan.

Tinkamas fasadas gali apsaugoti patalpas nuo perkaitimo, padidinti energinį pastato efektyvumą, pagerinti darbo našumą ir pan. Šiais laikais labai populiari praktiškai visą pastato fasadą padengti konstrukcija iš stiklo, todėl dažnu atveju iškyla perkaitimo, šešėliavimo ir kitos problemos, kurios reikalauja papildomų kaštų.

Dvigubi fasadai yra specialus pastatų apvalkalo tipas, kai šalia įprasto pastato fasado dedamas papildomas fasado sluoksnis, kuris leidžia stipriai pagerinti pastato energines savybes. Viena iš dvigubo fasado rūšių yra uždarytųjų fasadai (angl. *closed cavity*) dar kitaip vadinami dvigubais nevėdinamais fasadais (toliau - CCDSF), kai oras, argonas ar kita geresnė už orą izoliacinės savybes turinti medžiaga, yra įleidžiama tarp abiejų sluoksnių visam eksploatavimo laikotarpiui, tokios langų sistemos niekada negali būti atidarytos, kadangi praranda savo šiluminės savybes.

Pagrindinis tikslas – išnagrinėti uždarytųjų, kitaip dar vadinamais dvigubais nevėdinamais fasadais, technologiją ir jos sukuriamą mikroklimatą pastato viduje bei palyginti energijos sąnaudas su alternatyviomis fasadų sistemomis.

Visas baigiamasis darbas suskirstytas į šias pagrindines dalis ir uždavinius:

1. išanalizuoti literatūrą, susijusią su uždarytųjų fasadų taikymu pastatuose;
2. sukurti kompiuterinį modelį dinaminiam energijos sąnaudų modeliavimui pagal realaus pastato modelį;
3. įvertinti uždarytųjų fasadų taikymo poveikį pastato energijos sąnaudoms ir šiluminio komforto parametrą šiltuoju ir šaltuoju metų periodu;
4. atlikti ekonominius fasadų skaičiavimus.

Baigiamajame darbe pasirinkta plačiai išsamiai išnagrinėti pastato energetines savybes, kai naudojami uždarytųjų fasadai ir palyginti jų energijos sąnaudas su alternatyviomis sistemomis.

1. Dvigubi – uždaryti fasadai

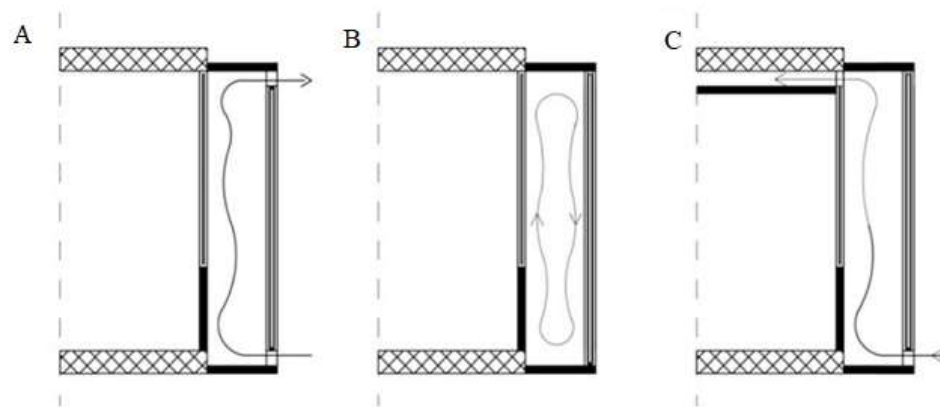
Darnaus vystymosi principai paskatino tyrėjus dar labiau įsigilinti į pastato fasadus ir jų įtaką energijos sąnaudoms ir mikroklimatui. Fasadai, kaip pagrindinė sienos konstrukcijos dalis, atlieka labai svarbią funkciją – palaiko ir saugo patalpų mikroklimatą. Nepaisant visų niuansų, ne visi fasadai tinkamai atlieka savo funkcijas: patalpos gali būti nepakankamai ventiliuojamos, esant mažesniai saulės apšvietimui tampa šalčiau, todėl padidėja energijos sąnaudos. Ir tai tik keli dalykai, galintys daryti įtaką blogam fasado veikimui. Pastaraisiais metais buvo sukurtos ir pasiūlytos naujos fasadų technologijos geresnei šilumos izoliacijai ir patalpų mikroklimatui. Tarp išskylančių pažangių fasadų buvo pasiūlyti ir dvigubi fasadai, kaip efektyvus sprendimas kontroliuojant vidaus ir lauko aplinkos sąveiką [1].

Paprastas dvigubo fasado apibrėžimas: dvigubi fasadai yra specialus pastatų apvalkalo tipas, kai šalia įprasto pastato fasado dedamas papildomas fasado sluoksnis. Paprastai dvigubi fasadai yra daromi iš dviejų stiklo sluoksnių. Tarpas tarp stiklų paliekamas vėdinamas arba būna uždaras ir pripildomas specialios dujinės medžiagos, neleidžiančia kauptis dulkioms, mikrobams ir kitiems organizmams. Oro erdvė tarp dviejų sluoksnių veikia kaip izoliacinis sluoksnis, padedantis palaikyti mikroklimatą. Į pačius tarpus taip pat, esant poreikiui, gali būti įkomponuojamos papildomos sistemos [2].

Pasinaudojus stiklu, kaip fasado elementu, dažniausiai siekiama sukurti pastato tektoninę raišką, ignoruojant neigiamus stiklo sukeltus efektus, tokius kaip šiltnamio efektas ir dideli šilumos nuostoliai žiemą [3].

Dvigubi fasadai gali būti šių tipų (1 pav.) [4]:

- Natūraliai vėdinama sistema: šio tipo DSF ore dėl plūdrumo cirkuliuoja vidurinė ertmė. Oras į sistemą patenka pro apatinėje dalyje esančią ertmę, o išeina pro viršutinėje dalyje esančią tokią pačią ertmę. Šis metodas sukuria tinkamą šiluminę varžą tarp vidinės ir išorinės pastato aplinkos, o šildomas oras vidurinėje dalyje gali būti natūraliai naudojamas atidarant langus vidiniame sluoksnyje (A).
- Nevėdinami fasadai (uždaryti fasadai): ši sistema veikia natūralios konvekcijos principu, tačiau oras yra uždarytas erdvėje tarp dviejų sistemos sluoksnių. Kadangi vidinio ir išorinio sluoksnių šiluminiai srautai yra skirtingi, oras natūraliai cirkuliuoja viduriniame tarpe. Tačiau dėl uždaros vidurinės ertmės šiuo metodu natūrali ventiliacija nevyksta (B).
- Mechanškai vėdinama sistema: vidiniame tarpelyje pašildytas oras su ventiliatoriumi tiekiamas į kambario plotą ar pastato įėjimą. Šiuo metodu sistema veikia kaip oro šildytuvai (C).



1 pav. Fasadų tipai: A – vēdinamas natūraliai, B – nevēdinamas, C – vēdinamas mehāniskai [4]

Išorinis slūksnis turi būtī aukšto atsparumo stiklas, kurīuo paprastai aptaisomas visas pastats. Stiklā laiko metalinēs konstrukcijas (rēmai). Išorinis slūksnis atspīndī daļī krentančios saulēs spīndulīuotēs panašīai kaip tai, kas vyksta vieno slūksnio fasade. Dēl konvekcīnīū šīlumos mainū, vykstančīū tarp dvīejū īstīklīntū sričīū, ertmēs temperatūra padīdēja ir oras īšyla uždaroje ertmēje [5].

2. Uždarų ertmių fasadų privalumai, trūkumai ir tikslai

Dvigubi fasadai yra optimalus variantas, valdant lauko ir vidaus erdvių sąveiką. Tai taip pat suteikia tam tikrą architektūrinį lankstumą projektuojant bei galimybę taupyti energiją negadinant pastato architektūrinių linijų [6].

Stiklinis fasadas daugiau aktualus esant šaltesnėms oro sąlygoms, taip yra todėl, kad šaltesnio klimato juostose yra mažesnis perkaitimo pavojus, tai ir yra bene didžiausia šių fasadų grėsmė. Tačiau tinkamai įrengtas ar pritaikant papildomus sprendinius uždarų ertmių fasadas turi potencialo ir šiltesnio klimato juostose [7].

2.1. Privalumai

Pats didžiausias uždarų ertmių fasadų sistemos plusas yra energijos sąnaudų sumažėjimas. Energijos sąnaudos, kai fasadas tinkamai įrengtas, lyginant su viengubo sluoksnio fasadu, gali sumažėti iki 50%. Energijos sąnaudos vėsinimui sumažėja apie 10–15 %, o šildymui – 20–30 % [1].

Kitas šios sistemos plusas yra tai, kad ji tinkama naudoti triukšmingiausiose miestų vietose, kadangi uždarų ertmių fasadai su specialiu užpildu tarp jų sukuria puikų garso izoliacijos sluoksnį [8].

Tarp sistemos privalumų taip pat galima išskirti galimybę integruoti kitus elementus į pačią sistemą, lengva sistemos priežiūra, kadangi dvigubas fasadas padarytas taip, jog vidus niekada nebūtų varstomas, todėl pasirūpinta, kad ten nesikaupytų nei dulkės, nei mikroorganizmai, taip pat šie fasadai yra graži architektūros detalė [1].

2.2. Trūkumai

Viena iš išskylančių problemų yra „perkaitimas“. Tai daugiau aktualu šiltesnio klimato zonoms, kadangi esant dideliems saulės šviesos pritekėjimams sistema turi vėsinti, o vėsinimo metu sunaudojama daug energijos, tai gali lemti energijos sąnaudų padidėjimą. Tačiau šias problemas daugeliu atvejų galima išspręsti pasitelkiant papildomus sprendinius [9].

Kitas iššūkis atsirandantis norintiems įsirengti dvigubą fasadą – atsipirkimo terminas. Dėl didelės kainos ir tam tikrų klimatinių sąlygų bei nepriimtų tinkamų sprendimų atsipirkimo terminas gali netgi būti ilgesnis už pačio pastato naudojimo terminą, kai įrengimo kaina lyginama su vieno sluoksnio fasadu. Tačiau tinkamai sukomponavus visus aspektus ir atlikus tinkamus sprendimus, uždarų ertmių fasadas gali atsipirkti ir greičiau nei per 10 metų [7].

2.3. Tikslai

Energijos ir vartojimo mažinimas bei aplinkos tausojimas

Energijos sąnaudos visų metų laikotarpiu taupomos išlaikant energiją pastato viduje ir jos neprarandant. Tyrimai rodo, kad pastatai su dvigubų fasadų sistemomis taupo gamtinius išteklius, mažinant energijos suvartojimą per visą pastato naudojimo ciklą [10].

Triukšmo lygio mažinimas

Dvigubųjų fasadų technologija plačiai naudojama miesto sąlygomis mažinti triukšmo lygį, pastatuose sklindantį iš aplinkos. Triukšmo lygio mažinimo efektas pasiekiamas naudojant garsą atspindinčius stiklus kartu su kitais įrenginiais, integruotais fasade, bei pačio fasado naudojimo režimais [10].

Saugumas

Papildomas fasado sluoksnis tampa skaidriu fiziniu barjeru, didinančiu psichologinį saugumo jausmą [10].

Estetinis vaizdas

Pastaraisiais dešimtmečiais architektai, inžinieriai ir gamintojai siekdami formos grynumo kuria pastatus, kurių fasadai atrodo kaip vientisa ar minimaliai skaidyta stiklinė "oda". Tačiau būtent stiklo skaidrumas, taip vertintas viduramžiais, dabar sukelia įvairių sunkumų. Norint patalpas apsaugoti nuo per didelio saulės spinduliuotės poveikio stiklą tenka tonuoti, o tai lemia veidrodžio efektą. Ant tokio fasado atsispindi aplinka, tačiau išnyksta stiklo medžiagiškumas, pranyksta šviesos ir šešėlių žaismo formuojama tradiciškai suvokiama architektūros raiška. Uždarų ertmių fasadas kompensuoja veidrodžio efektą – pastatas įgauna gylio, atsiskleidžia natūralus stiklo grožis, fasadas išlieka permatomas. Uždarų ertmių fasado koncepcija atveria projektuotojams neribotas galimybes maksimaliai išlaikyti pastato skaidrumą, gylį lyginant su tradiciniais fasadais, kurie atrodo masyvūs ir nepatogūs [10].

3. Uždarų ertmių fasado akustinės savybės

3.1. Akustika mieste

Dvigubi fasadai pasižymi puikia garso izoliacija – ne išimtis ir uždaryti fasadai, kurie dėl savo dvigubų sluoksnių ir izoliacinių dujų tarp jų sukuria puikų apsaugos nuo triukšmo sluoksnį net ir pačiose triukšmingiausiose planetos vietose.

Papildomas išorinio fasado sluoksnis pagerina pastato garso izoliaciją, taip sumažindamas išorinį triukšmą. Dvigubos odos fasadai tikrai yra tinkamas atsakas į nuolat didėjančią triukšmą miesto centruose, užtikrinant didesnę garso izoliacijos laipsnį nei įprasti vieno sluoksnio fasadai [11].

Bratislavoje, remiantis EN ISO 16283-1 standartu, buvo atlikti tyrimai aštuonių pastatų uždaryti fasaduose bei viename iš dalies įrengtame pastate su uždaryti fasadu (dviejų sluoksnių fasadas įrengtas ne visame pastate). Tyrimai buvo vykdyti tokiu principu: vienas mikrofonas (M1) buvo įdėtas į patį sistemos vidų, tai yra ertmėje tarp sluoksnių, antras (M2) – išorėje, nutolęs per du metrus nuo pastato fasado, o trečias (M3) – patalpų viduje. M1 ir M2 buvo pakelti per 1,5 metro nuo žemės paviršiaus, o M3 buvo vis perdedamas į šešias skirtingas pozicijas, kurios nurodytos EN ISO 16283-1 standarte. Triukšmo šaltinis – transporto priemonės [12].

1 lentelė. Akustinio tyrimo metu gauti rezultatai, visais devyniais tyrimų atvejais [12]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Garsas išorėje, dB	63,5	69,6	61,5	66,4	69,6	60,2	72,5	72,9	72,1
Garsas viduje, dB	33,6	31,9	31,3	30,6	36,9	28,6	38,4	38	36,9

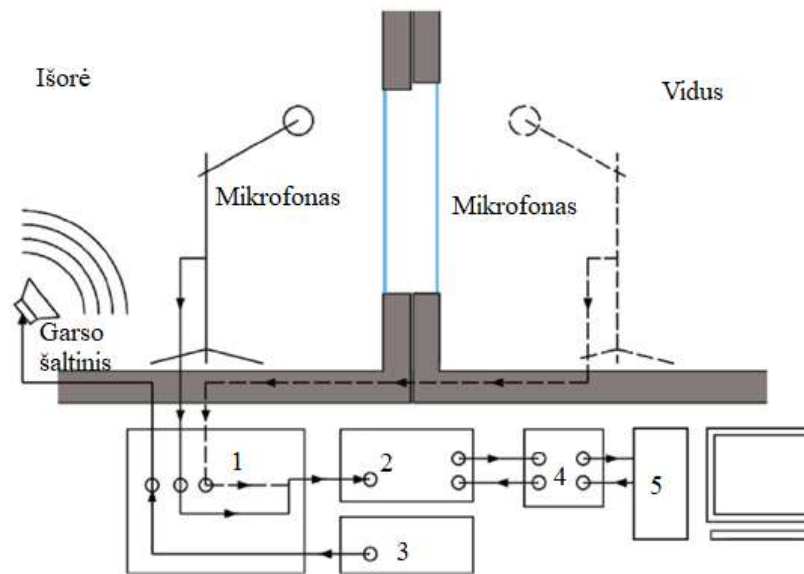
Tyrimo metu garso slėgis išorėje svyravo nuo 60,2 iki 72,9 dB. Tuo tarpu viduje visais atvejais triukšmo lygis nei vienu atveju nesiekė 40 dB (žr. 1 lentelę) [12].

3.2. Ertmės įtaka akustikai bei skirtingų tipų fasadų palyginimas idealiomis sąlygomis.

D. Urban su komanda atliko tyrimą laboratorinėmis sąlygomis, kuriuo buvo siekiama nustatyti kiek maksimaliai uždaryti fasadai gali sumažinti transporto sklaidžiamą triukšmą. Pirmasis mikrofonas buvo pastatytas išorinėje bandinio pusėje, antrasis – vidinėje (2 pav.). Bandymo metu buvo imituojamas transporto priemonių sukeltas triukšmas. Viso buvo išbandomos devynios fasadų konstrukcijos: viena vieno sluoksnio fasadų sistema bei aštuonios uždaryti fasado sistemos. Uždaryti fasadai buvo tiriami skirtingų pločių bei naudojant medžiagas, kurios papildomai izolios garsą [12].

Remiantis tyrimų rezultatais gauta, jog uždaryti fasado akustinėms savybėms ertmės plotis tarp sluoksnių įtakos neturi, visais atvejais (264mm, 314mm, 364mm) buvo gautas tas pats rezultatas – triukšmas idealiausiu atveju sumažėdavo 58dB. Vieno sluoksnio fasado atveju triukšmas sumažėdavo 34dB. Pridėjus papildomų garsą slopinančių medžiagų galima pasiekti ir 66dB triukšmo sumažėjimą [12].

Apibendrinant, dviejų sluoksnių fasadas gali puikiai tikti triukšmingoms miestų gatvėms, kadangi gali sumažinti išorinį triukšmą iki 58dB, kai vieno sluoksnio fasado akustinė varža yra 42% blogesnė (2 lentelė).



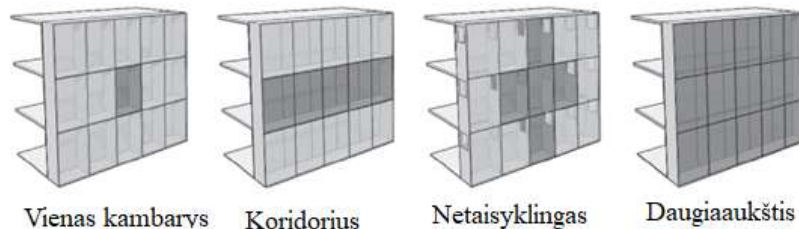
2 pav. Laboratorinio bandymo atlikimo schema [12]

2 lentelė. Bandymo metu gauti skirtingų parametrų fasadų akustiniai rezultatai [12]

Fasado konstrukcija	Garso sumažėjimas tarp mikrofonų, dB
Vieno stiklo sluoksnio	34
Dviejų stiklo sluoksnių, 314mm	58
Dviejų stiklo sluoksnių, 364mm	58
Dviejų stiklo sluoksnių, 264mm	58
Dviejų stiklo sluoksnių, 314mm, su mineraline vata	66

4. Sistemos parametrų reikšmės ir ypatybės

Geometrija. Fasado geometrijos keitimas daro įtaką saulės spinduliuotės kiekiui, kuris perduodamas į pastato vidų. Padidėjus horizontalių ir vertikalinių pertvarų skaičiui, padidėja saulės spinduliuotės kliūčių skaičius, todėl ji daro didelę įtaką vidaus aplinkai. Taigi, mažiau dalijamų fasadų, tokių kaip koridoriai ar daugiaaukščiai fasadai, perduodama saulės spinduliuotė būtinai skirsis nuo fasadų, kuriuose yra didesnis padalijimų skaičius (3 pav.) [13].



3 pav. Skirtingi geometrijos tipai dvigubuose fasaduose [13]

Uždarytųjų ertmių plotis. Uždarytųjų ertmių storio (-ių) kitimas keičia šilumos perdavimo koeficiento vertes konvekcijos būdu, todėl gaunami skirtingi rezultatai, atsižvelgiant į oro temperatūrą jo viduje ir, atitinkamai, šilumos mainus su užimta zona. Be to, pločio keitimas taip pat turi įtakos oro greičiui jos viduje [13].

Kuo uždara ertmė yra plonesnė tuo galima pasiekti geresnes šiluminės sąlygas ir mažesnes energijos sąnaudas pastatui, tačiau būtinai turi būti atsižvelgta ir į stiklą, rėmą bei kitas sudedamąsias viso stiklo paketo dalis, kadangi netinkamai sukomponavus galima gauti ir ganėtinai prastus šiluminių sąnaudų rezultatus, pavyzdžiui: storesnis sluoksnis bus efektyvesnis negu plonesnis [14].

Lango ypatybės. Įvairūs stiklinimo tipai turi aiškias spinduliuotės (ϵ) ir laidumo (k) vertes. Be to, į pastato vidų perduodamos saulės šviesos kiekį, taip pat veikia stiklinimo vidinio ir išorinio sluoksnių saulės faktorius [13].

Vidiniai pritekėjimai. Vidiniais pritekėjimais laikoma šilumos energija išsiskirianti dėl patalpų viduje veikiančių įrenginių ir žmonių veiklos. Kuo pastatų patalpos atviresnės tuo daugiau energijos galima sutaupyti šildant pastatą [15].

Fasado orientacija. Pakeitus pagrindinio fasado orientaciją, akivaizdžiai pasikeis su saulės spinduliuote susijusios vertės. Be to, įtakos turi ir vėjo greitis bei atitinkami vėjo slėgio koeficientai [13].

Ne paslaptis, jog daugiausiai saulės gaunantis fasadas reikalauja daugiausia vėsinimo, tačiau mažiausiai šildymo ir apšvietimo, todėl tinkamas fasado krypties parinkimas gali tiek padidinti tiek sumažinti energijos sąnaudas [16].

Kiekvieną kartą prieš projektuojant reikia atsižvelgti į visus faktorius, kadangi nebūtinai sutaupant vėsinimo kaštams gali sumažėti bendros pastato energijos sąnaudos, tačiau ne visada ir statant fasadą į pietus gali būti efektyviausias sprendimas.

5. Temperatūra sistemos viduje

5.1. Vidinės erdmės temperatūra

Uždarytųjų erdmių fasadų sistemos efektyvumas priklauso ne tik nuo naudojamų medžiagų (stiklų, rėmų, oro-argonų savybių), bet ir nuo viduje vykstančių procesų, esančių temperatūrų.

Šaltuoju metų laikotarpiu, kai temperatūra visos paros metu svyruoja nuo 0 °C iki 5,8 °C temperatūra fasado viduje gali pasiekti netgi 34,5 °C 13 val. dienos ir 1,7°C 1 val. nakties [17].

Šiltuoju metų laiku, kai paros temperatūra svyruoja tarp 11,4 °C ir 23,3 °C temperatūra fasado viduje gali pakilti iki 47 °C [17].

Palyginimui galima paminėti, kad vieno sluoksnio fasadai tais pačiais laikotarpiais ir esant toms pačioms išorės sąlygoms išlaiko atitinkamai temperatūra sistemos viduje iki 26 °C žiemos laikotarpiu ir iki 40 °C vasaros metu [17].

5.2. Stiklų paviršių temperatūra

Žiemos laikotarpiu uždarytųjų erdmių fasadų sistemos išorinio stiklo temperatūra siekia 8,1 °C, kai stiklas gauna tiesioginių saulės spindulių ir 4,6°C kai negauna. Vidinio stiklo temperatūra yra atitinkamai 22,7 °C, kai yra tiesioginė spinduliuotė ir 18,4 °C, kai nėra [18].

Šiltuoju metų laikotarpiu, kai saulė tiesiogiai šviečia į fasadą išorinis stiklas gali įšilti iki 44,4 °C, o vidinis iki 40,2 °C. Tuo pačiu laikotarpiu, kai fasadas negauna tiesioginių saulės spindulių, išorinis sluoksnis gali įšilti iki 31,9 °C, o vidinis iki 26,5 °C [18].

Lyginant stiklų temperatūras žiema su dvigubu vėdinamu ir vieno sluoksnio fasadu, kai buvo tiesioginė spinduliuotė labiausiai įkaitęs buvo uždarytųjų erdmių fasado išorinis stiklas, vėšiausias išorinis paviršius buvo dvigubo fasado vėdinamoje sistemoje. Lyginant vidinių stiklų temperatūras, labiausiai įkaitęs vidinis stiklas buvo uždarytųjų erdmių sistemoje, mažiausiai įkaito vieno sluoksnio fasado vidinis stiklas [18].

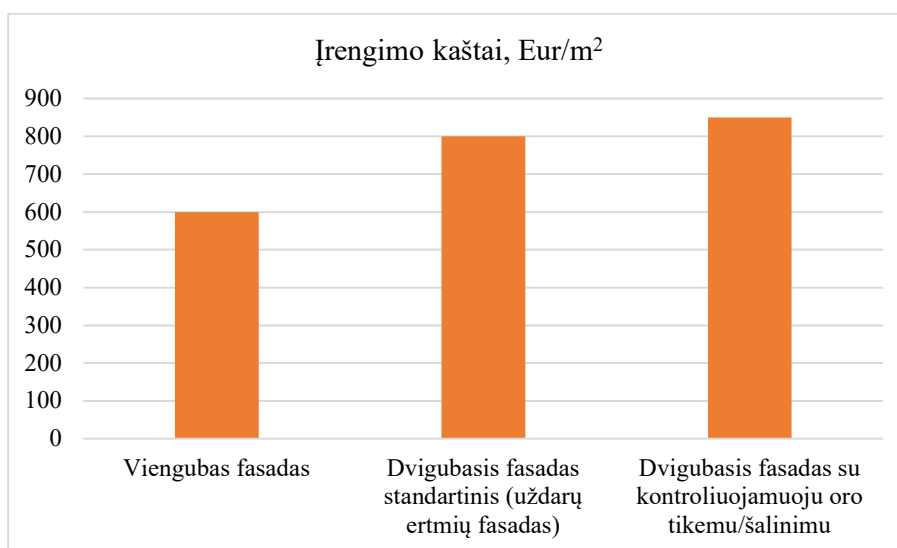
Vertinant sistemas žiemos metu, kai į fasadus tiesiogiai nešviečia saulė tendencijos kito. Išorinis stiklas labiausiai įkaitęs buvo vieno sluoksnio sistemoje, o mažiausiai dviguboje vėdinamoje sistemoje, šiuo atveju uždara sistema buvo per viduriuką. Vertinant vidinį stiklą, tai aukščiausia jo temperatūra buvo pasiekta nevėdinamoje dvigubo fasado sistemoje, o mažiausia – vieno sluoksnio fasade [18].

Vasaros metu, kai saulė tiesiogiai šviečia į fasadą visais atvejais tendencija išlieka ta pati – labiausiai įkaista dvigubo nevėdinamo fasado išoriniai ir vidiniai stiklai, o mažiausiai – vieno sluoksnio stiklai [18].

Kai vasaros metu nebėra tiesioginių spindulių rezultatai keičiasi, išorinis stiklas labiausiai įkaista vėdinamoje sistemoje, o mažiausiai vieno sluoksnio sistemoje. Išorinis stiklas labiausiai įkaista vieno sluoksnio sistemoje, o mažiausiai dviguboje nevėdinamoje sistemoje [18].

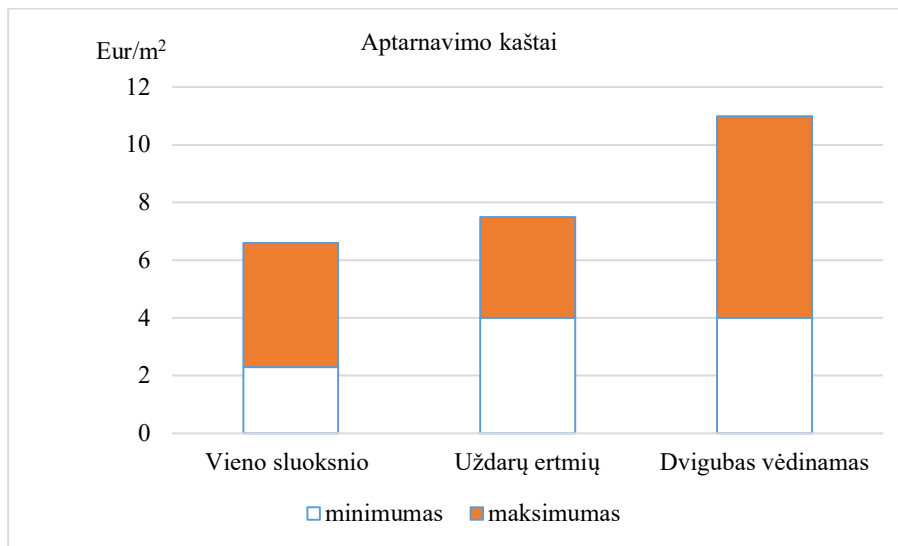
6. Fasadų priežiūros kaštai

Nėra jokios abejonės, jog dvigubi fasadai yra viena iš brangiausių fasadų sistemų. Vien tik paprastesnės sistemos įrengimas gali kainuoti virš 800 Eur/m², efektyvesnės dvigubo fasado sistemos gali kainuoti ir virš 1000 Eur/m² (4 pav.). Todėl natūralu, kad ir jų priežiūra ir remonto išlaidos kainuoja pakankamai didelius pinigus. Pagal Europoje galiojančias kainas eksploataavimo išlaidos uždarojo fasado atveju gali svyruoti nuo 4 Eur/m² iki 7,5 Eur/m² (5 pav.). Dvigubo vėdinamojo fasado atveju papildomai prisideda vidaus sistemos valymas, kuris remiantis moksline literatūra kainuoja papildomai vidutiniškai 4-5 Eur Eur/m². Uždarų ertmių fasadai šias išlaidas automatiškai iškart panaikina, kadangi juose vyksta tik vidinė oro cirkuliacija, kuri neleidžia stiklui iš vidaus apsinešti dulkelėmis, bakterijomis ir pan. Dvigubi ventiliuojami fasadai tokio problemos sprendimo neturi, kadangi nesvarbu kokia oro cirkuliacija, tačiau ji vyksta ir todėl kartas nuo karto tokias sistemas reikia valyti ir iš vidinės pusės [10, 19]



4 pav. Investicijų dydis vieno sluoksnio ir dviejų sluoksnių fasadų įrengimui [10, 19]

Lyginant vieno sluoksnio fasadų priežiūros išlaidas su uždarų ertmių fasadais jos yra praktiškai vienodos ir per daug nesiskiria. Esant dviejų sluoksnių vėdinamam fasadui priežiūros kaštai lyginant su uždarų ertmių fasadais padidėja 32-64 % [10, 19].



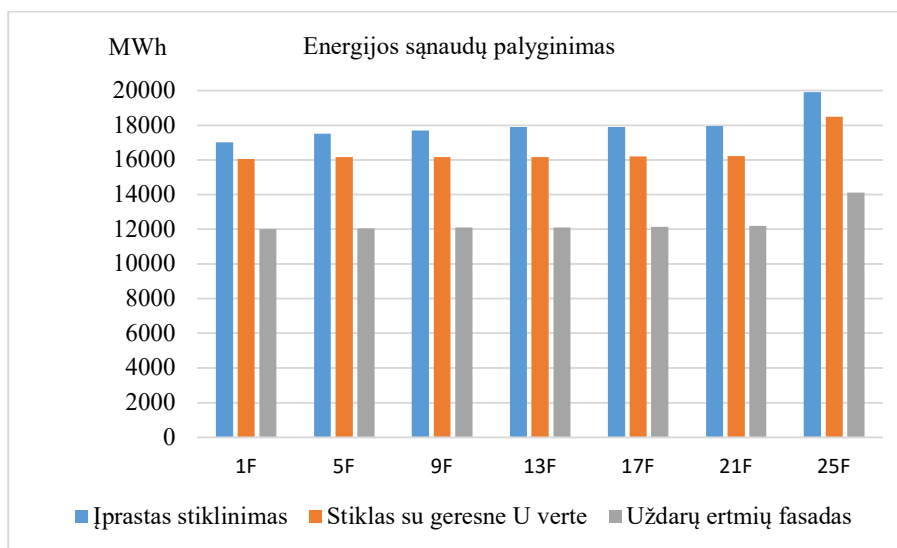
5 pav. Fasadų aptarnavimo kaštai pagal fasado sistemos ypatumus ir tipą [10, 19]

7. Energinių sąnaudų palyginimas

7.1. Vidutinių platumų klimato juosta.

Siekiant įvertinti pastatų energijos sąnaudas Seule (Pietų Korėjoje) buvo atliktas tyrimas su skirtingomis fasadų konstrukcijomis. Jis buvo vykdomas šaltuoju metų laikotarpiu, lapkričio-kovo mėnesiais ir jame buvo nagrinėjamos trijų tipų fasadų konstrukcijos: įprasti langai (angl. pavad. base-case), langai su pagerintu šilumos perdavimo koeficientu (angl. pavad. case-1), uždarytųjų fasado sistema (angl. pavad. case-2). Tyrimo objektas - 25 aukštų pastatas, kurio 1, 5, 9, 13, 17, 21 ir 25 aukštai buvo pasirinkti tyrimui.

Pirmuoju atveju energijos sąnaudos apskaičiuotos naudojant tipinius langus. Visuose aukštuose, apart paskutiniojo, jos buvo gautos beveik vienodos – apie 17,500 kWh, mažiausiai sunaudodavo penktame aukšte esantis butas. Paskutiniajame aukšte energijos sąnaudos buvo didžiausios – 19,765 kWh. Antruoju variantu buvo naudojami langai su geresnėmis šilumos perdavimo savybėmis. Tuomet visų butų energijos sąnaudos sumažėjo 5,4-5,6%. Tendencija kaip ir nepasikeitė, daugiausiai sunaudojo paskutinis aukštas, o likę daugiau mažiau vienodai, tik šiuo atveju mažiausiai sunaudojo pirmame aukšte esantis butas. Trečiuoju atveju buvo įrengtos uždarytųjų sistema. Šiuo atveju energijos sąnaudos sumažėjo 27,8-30%. Su šia sistema procentaliai daugiausiai energijos sutaupo 21 – o aukšto butas, kurio sąnaudos sumažėjo 30%. Mažiausiai sumažėjo 25 – amė bute esančio buto energijos sąnaudos – 27,8% (6 pav.) (3 lentelė) [20].



6 pav. Energijos sąnaudos taikant tris skirtingas technologijas tiriamuosiuose aukštuose, kWh [20]

3 lentelė. Energijos sąnaudos trimis skirtingais variantais [20]

Dujų sąnaudos, naudojant įprastą stiklą (kWh/mėnesį)						
Aukštai	Lapkritis	Gruodis	Sausis	Vasaris	Kovas	Bendrai
25	2,869	4,855	5,689	4,471	1,881	19,765
21	2,534	4,410	5,175	4,065	1,698	17,882
17	2,514	4,381	5,154	4,034	1,670	17,553
13	2,485	4,364	5,125	4,004	1,675	17,653
9	2,492	4,331	5,082	3,990	1,671	17,566
5	2,420	4,325	5,060	3,965	1,636	17,406

1	2,424	4,244	4,984	3,925	1,606	17,183
Dujų sąnaudos, naudojant stiklą su pagerintu šilumos perdavimo koeficientu (kWh/mėnesį)						
25	2,689	4,591	5,386	4,258	1,781	18,705
21	2,401	4,145	4,892	3,828	1,596	16,862
17	2,358	4,136	4,857	3,812	1,591	16,755
13	2,357	4,106	4,857	3,789	1,556	16,666
9	2,314	4,087	4,821	3,793	1,566	16,580
5	2,294	4,077	4,806	3,749	1,543	16,468
1	2,281	4,006	4,738	3,705	1,521	16,251
Dujų sąnaudos, naudojant uždarytųjų fasadų sistemą (kWh/mėnesį)						
25	2,022	3,521	4,117	3,254	1,350	14,264
21	1,727	3,101	3,662	2,848	1,177	12,516
17	1,715	3,088	3,656	2,832	1,166	12,457
13	1,701	3,071	3,632	2,814	1,160	12,377
9	1,680	3,068	3,608	2,812	1,140	12,307
5	1,678	3,022	3,584	2,795	1,143	12,222
1	1,652	2,997	3,558	2,726	1,129	12,062

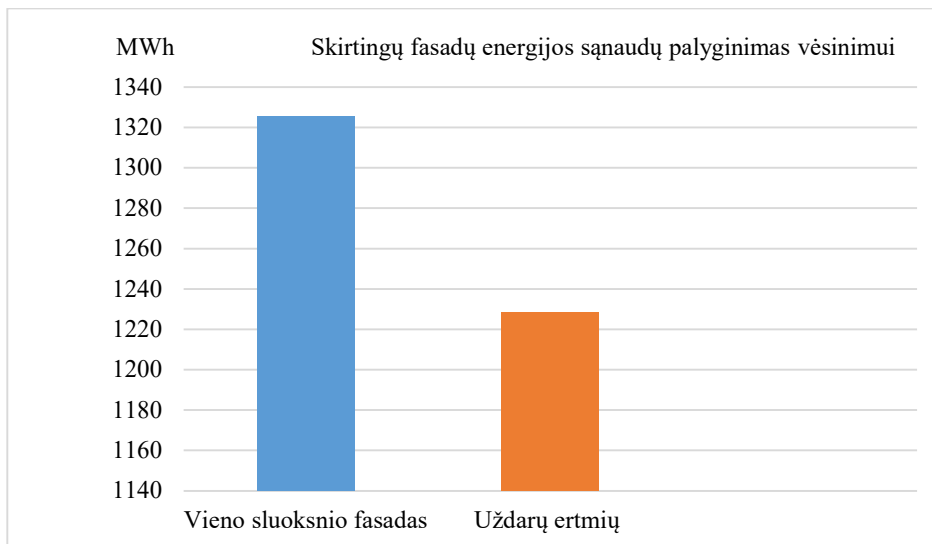
7.2. Šilto klimato zona

Perkaitimas – ko gero aktualiausia problema karšto klimato zonose. Perkaitimas labiausiai aktualus pastatams su stiklo fasadu, vasarą pastatas gali „perkaisti“ dėl aukštų išorės temperatūrų, saulės ir vidaus šilumos prieaugio. Norint optimizuoti šiluminį komfortą ir sumažinti aušinimo apkrovas, šio tipo pastato šiluminę savybę reikia atidžiai ištirti projektavimo etape. Ne paslaptis, jog norint atvėsinti pastatą yra sunaudojama daugiau energijos nei norint jį sušildyti. Todėl automatiškai energijos sąnaudos karštuose kraštuose gali būti ženkliai didesnės [21]. Nustatyti kiek dvigubi įstiklinti fasadai gali sumažinti energijos sąnaudas, kai pastate reikalingas tik vėsinimas buvo bandyta nustatyti 2005 m. Singapūre atliktu tyrimu.

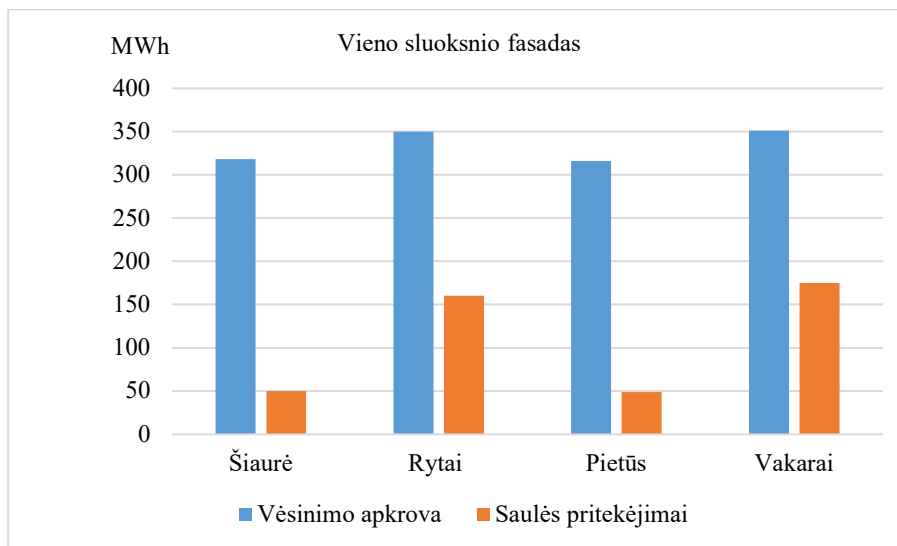
Tyrimė nagrinėjami fasadai: vieno sluoksnio stiklinis fasadas, uždarytųjų fasadas.

Tyrimo metu pirmuoju atveju pastatas buvo sumodeliuotas su vieno sluoksnio fasadu. Šiuo atveju energijos sąnaudos vėsinimui per visus metus siekė 1325 MWh energijos. Tuo tarpu antruoju atveju buvo išbandyta uždarytųjų fasadų sistema. Energijos sąnaudos šiuo atveju siekė 1228 MWh. Tai leistų sutaupyti 7,4% energijos išlaidų vėsinimui (7 pav.) [22].

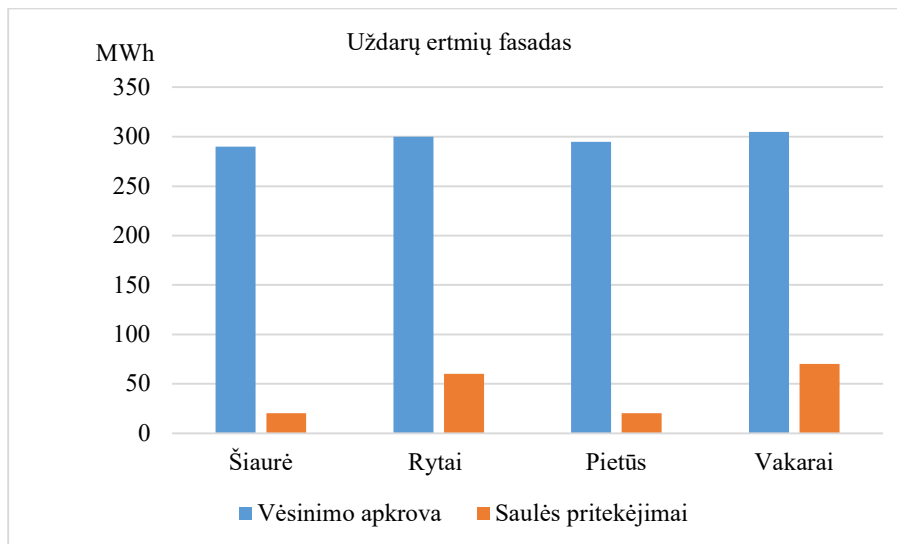
Taip pat galima paminėti, kad dvigubi fasadai ganėtinai stipriai sumažino didelius saulės pritekėjimus, kas leido apsaugoti pastatą nuo perkaitimo galimybės (8, 9 pav.)



7 pav. Skirtingų fasadų energijos sąnaudų palyginimas [22]



8 pav. Vėsinimo apkrovos ir saulės pritekėjimai vieno sluoksnio fasado atveju [22]



9 pav. Vėsinimo apkrovos ir saulės pritekėjimai dvigubo nevedinamo fasado atveju [22]

Kaip matosi diagramose didžiausias perkaitimo pavojus kildavo rytinėms ir vakarinėms pastato pusėms, kadangi šios gaudavo daugiausiai saulės spindulių. Dvigubas stiklo fasadas leido visose pastatų pusėse sumažinti saulės pritekėjimus apie 60% [22].

8. Literatūros analizės išvados

Analizės metu buvo išnagrinėti uždaryti ertmių fasadai. Pradžioje išanalizuoti plusai ir trūkumai, toliau nagrinėtos tokio tipo fasadų akustinės savybės, kas leidžia konstatuoti, kad jie yra itin efektyvūs net ir triukšmingiausiose vietovėse.

Buvo pasitelktas tyrimas išanalizuoti visus sistemos parametrus: geometrija, konstrukcijos plotis, langų ypatybės, vidiniai pritekėjimai, fasado orientacija. Šis tyrimas parodė sistemos parametru įtaką pastato energiniams parametrus.

Toliau tirtos pastatų, esančių skirtingose klimatinėse zonose, energinės sąnaudos leido nustatyti, kad šie fasadai yra labiau tinkami šaltesnėms klimato zonoms, kadangi vėsinimui energijos sunaudojama daugiau negu šildymui.

Atliktas energijos sąnaudų palyginimas su vieno sluoksnio fasadu leido nustatyti, jog šaltesnėse klimato zonose galima sutaupyti netgi iki 30% energijos šildymui naudojant uždarytą ertmių fasadą. O šiltesnėse klimato zonose, kuriose reikalingas tik vėsinimas, tyrimas parodė, jog naudojant uždarytą ertmių fasadus sutaupoma maždaug 7,4% energijos vėsinimui.

Temperatūra uždarytų ertmių fasadų sistemos viduje dienos eigoje gali svyruoti netgi beveik 35 °C amplitudė, šaltiniuose aprašoma, kad žiemos laikotarpiu maksimali temperatūra gali pasiekti 34,5 °C, tačiau tą pačią dieną naktį nukristi iki 1,7 °C. Vasarą maksimali temperatūra sistemos viduje gali pasiekti netgi 47 °C. Lyginant su vieno sluoksnio fasadu, kuris vasarą gali įkaisti iki 40 °C, o žiemą pakilti iki 26 °C, šie pokyčiai nėra labai dideli, tačiau jie labai svarbūs ir turintys didelę įtaką energijos sutaupymams.

Išorinio ir vidinio stiklo temperatūra gali kisti dėl įvairių priežasčių – vėjo, saulės, oro sąlygų ir kt. Bendrai vertinant, vasaros metu uždarytų ertmių fasado išorinio stiklo temperatūra gali kisti tarp 40,2°C ir 44,4°C, o vidinio – tarp 26,5°C ir 31,9°C. Žiemos metu didžiausi temperatūros pasikeitimai atsiranda išoriniame stikle, kurio temperatūra siekia 4,6 – 8,1°C, mažesni pokyčiai yra vidiniame stikle, kuris įšyla iki 18,4 – 22,7°C.

Toliau buvo nagrinėti šaltiniai apie fasadų įrengimo ir priežiūros kaštus. Lyginant sumomis, tai vieno sluoksnio fasadą įrengti kainuoja daug pigiau (vieno sluoksnio fasadas – 600 Eur/m², uždarytų ertmių fasadas – 800 Eur/m², dvigubas vėdinamas fasadas – 850 Eur/m²), o pati priežiūra priklauso nuo daugiau faktorių – vieno sluoksnio fasado priežiūros kaštai siekia 2,2 – 6,5 Eur/m², o uždarytų ertmių fasadų priežiūros kaštai būtų tarpe tarp 4 – 7,5 Eur/m², kai dvigubą vėdinimą fasadą prižiūrėti gali kainuoti tarp 4 – 11 Eur/m².

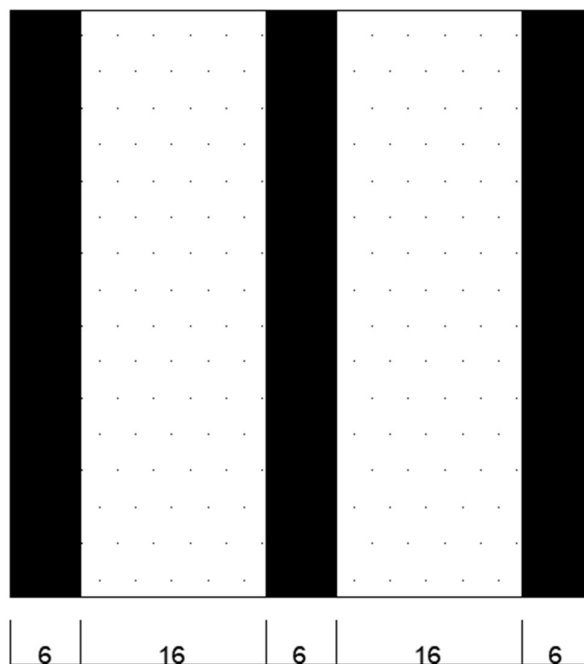
9. Tyrimo metodai

9.1. Pirminis modeliavimas

Prieš pradėdant galutinio pastato modeliavimą parenku efektyviausius fasadus, kuriuos naudosis tolesniuose skaičiavimuose. Pasirinkti fasadai naudojami 1 kambario (5x5m) patalpose, kur apskaičiuojamas jų energinis efektyvumas ir palyginamos energijos sąnaudos.

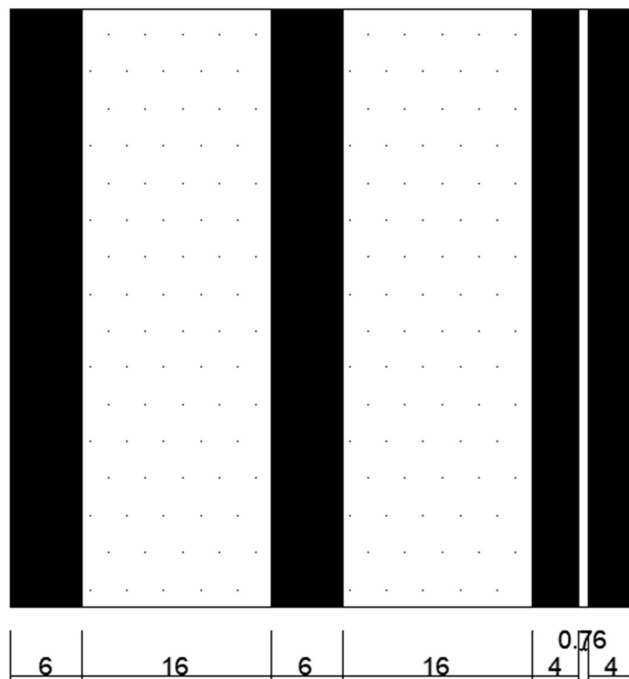
9.1.1. Modeliuojamų uždarytųjų fasadų tipai

Pirmuoju atveju modeliuojamas uždarytųjų fasadas su trejais 6mm stiklais ir dviem 16 mm oro – argono tarpais (10 pav.). Oro – argono tarpai sudaryti tokiu santykiu: 10 % oro ir 90 % argono. Stiklo šilumos laidumas (U) siekia $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Lango rėmo šilumos laidumas lygus $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Saulės šilumos įsisavinimo koeficientas lygus $0,313$.



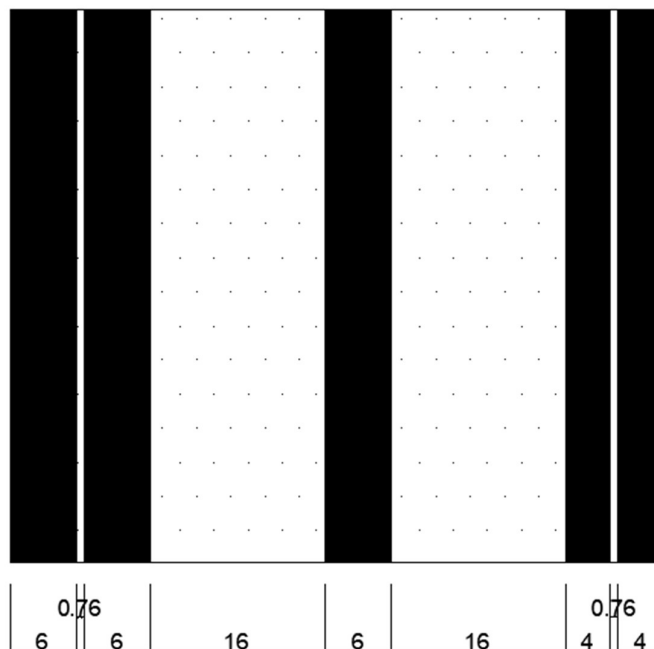
10 pav. Uždarytųjų fasadas (CCDSF-1)

Antruoju atveju modeliuojamas uždarytųjų fasadas su keturiais stiklais, dviem 16 mm oro – argono tarpais ir vienu poliviniliniu tarpu (11 pav.). Oro – argono tarpai sudaryti tokiu santykiu: 10 % oro ir 90 % argono. Stiklo šilumos laidumas (U) siekia $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Lango rėmo šilumos laidumas lygus $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Saulės šilumos įsisavinimo koeficientas lygus $0,386$.



11 pav. Uždarų ertmių fasadas (CCDSF-2)

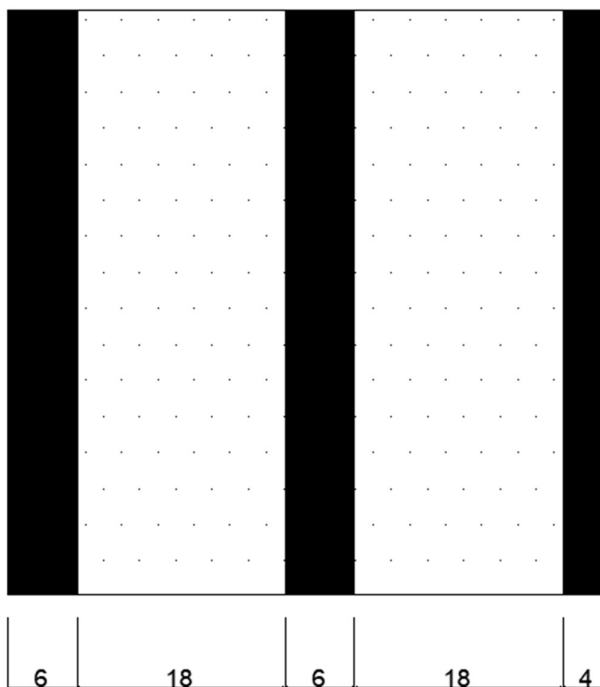
Trečiuoju atveju modeliuojamas uždarų ertmių fasadas su penkiais stiklais, dviem 16 mm oro – argono tarpais ir dviem poliviniliniai tarpais (12 pav.). Oro – argono tarpai sudaryti tokiu santykiu: 10 % oro ir 90 % argono. Stiklo šilumos laidumas (U) siekia $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Lango rėmo šilumos laidumas lygus $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Saulės šilumos įsisavinimo koeficientas lygus $0,191$.



12 pav. Uždarų ertmių fasadas (CCDSF-3)

Ketvirtuoju atveju modeliuojamas uždarų ertmių fasadas su trimis stiklais, dviem 18 mm oro – argono tarpais (13 pav.). Oro – argono tarpai sudaryti tokiu santykiu: 10 % oro ir 90 % argono. Stiklo šilumos

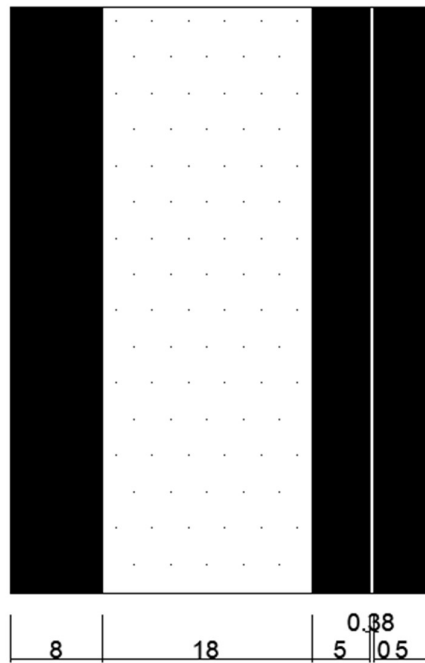
laidumas (U) siekia 0,75 W/(m²K). Lango rėmo šilumos laidumas lygus 2 W/(m²K). Saulės šilumos įsisavinimo koeficientas lygus 0,45.



13 pav. Uždarų ertmių fasadas (CCDSF-4)

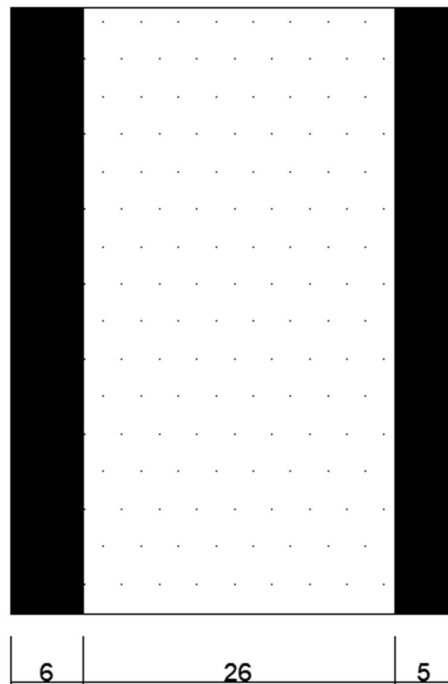
9.1.2. Modeliuojamų vieno sluoksnio fasadų tipai

Pirmuoju atveju modeliuojamas vieno sluoksnio nevėdinamas fasadas su trimis stiklais, vienu 18 mm oro – argono tarpais (14 pav.). Oro – argono tarpai sudaryti tokiu santykiu: 10 % oro ir 90 % argono. Stiklo šilumos laidumas (U) siekia 1 W/(m²K). Lango rėmo šilumos laidumas lygus 2 W/(m²K). Saulės šilumos įsisavinimo koeficientas lygus 0,33.



14 pav. Vieno sluoksnio fasadas (SSF-1)

Antruoju atveju modeliuojamas vieno sluoksnio nevėdinamas fasadas su trimis stiklais, vienu 26 mm oro – argono tarpais (15 pav.). Oro – argono tarpai sudaryti tokiu santykiu: 10 % oro ir 90 % argono. Stiklo šilumos laidumas (U) siekia $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Lango rėmo šilumos laidumas lygus $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Saulės šilumos įsisavinimo koeficientas lygus $0,548$.



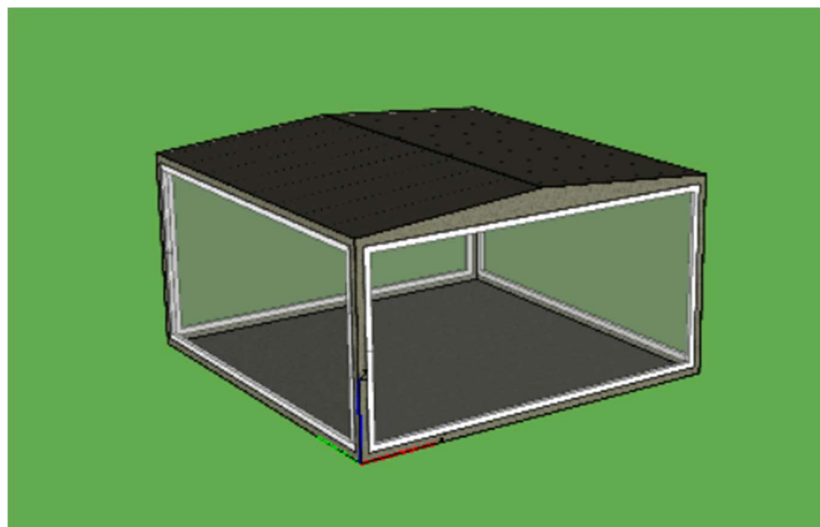
15 pav. Vieno sluoksnio fasadas (SSF-2)

9.1.3. Efektyviausių fasadų parinkimas

Visi vertinami fasadai buvo įkelti į tą patį modelį ir modeliuojami vyraujant toms pačioms sąlygoms ir naudojant tas pačias konstrukcijas: stogą, grindis, perdangą. Pastato plotas – 25 m² (16 pav.).

Įvertinus visus fasadų tipus pačiu efektyviausiu tapo pirmasis variantas (CCDSF-1), kuris už antroje vietoje pagal efektyvumą likusį (CCDSF-2) fasadą buvo efektyvesnis 27%. Lyginant vieno sluoksnio fasadus efektyvesnis buvo pirmasis variantas (SSF-1), kuris sunaudavo 27% mažiau energijos negu antrasis variantas (SSF-2).

Įvertinant tarpinius pirminio modeliavimo rezultatus, gavosi, jog uždarytų erdmių fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu visų metų laikotarpiu sutaupo apie 31% procentą energijos šildymui ir vėsinimui (4 lentelė).

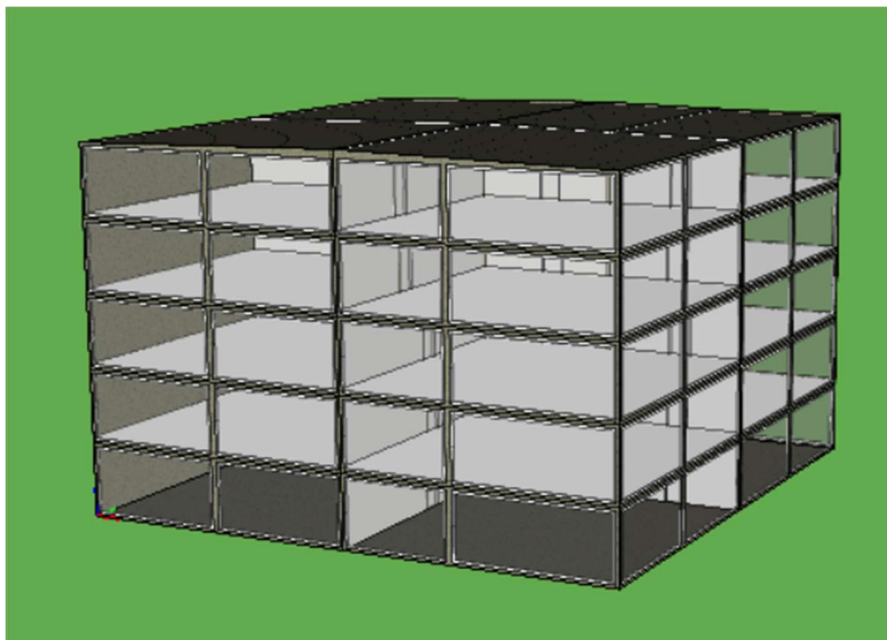


16 pav. Pirminio eksperimento modelis.

4 lentelė. Tarpiniai pirminio modeliavimo rezultatai

Pavadinimas	Šilumos laidumo koeficientas, W/(m ² K).	Energijos sąnaudos šildymui ir vėsinimui, kWh
CCDSF-1	0,3482	3619
CCDSF-2	0,3319	4962
CCDSF-3	0,3901	5319
CCDSF-4	0,4173	5384
SSF-1	0,4879	5265
SSF-2	0,5543	7228

9.1.4. Energijos sąnaudų modeliavimas visame pastate



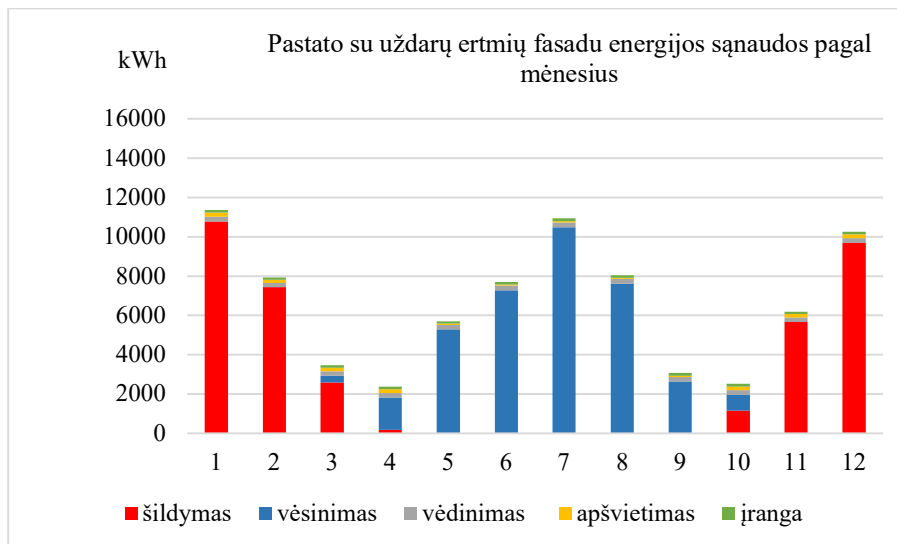
17 pav. Visas pirminio modeliavimo pastatas.

Galutiniame pirminio modeliavimo etape modeliuojamas visas penkių aukštų pastatas (2000 m^2) su abejomis skirtingų tipų efektyviausiomis sistemomis: uždarų ertmių fasado sistema (CCDSF-1), vieno sluoksnio fasado sistema (SSF-1).

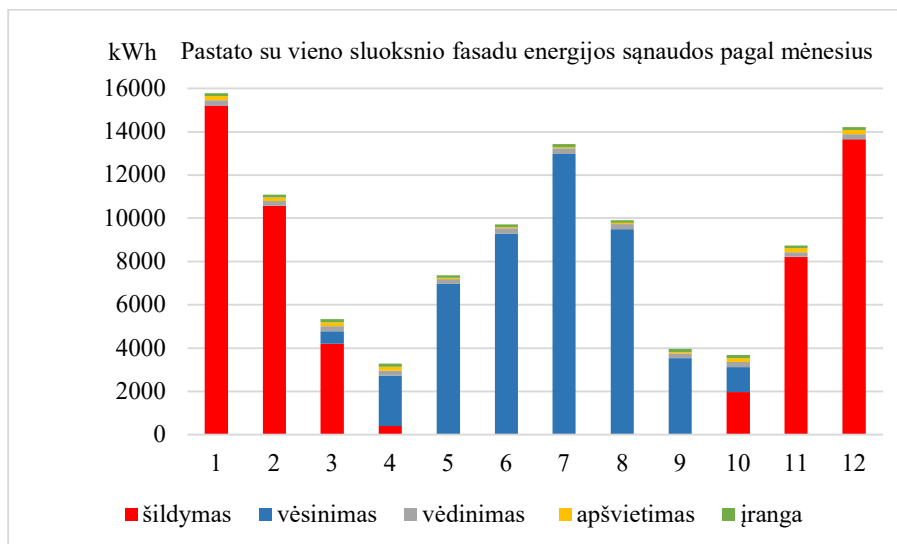
5 lentelė. Galutiniai pirminio modeliavimo rezultatai

Pavadinimas	Šilumos laidumo koeficientas, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$.	Energijos sąnaudos šildymui, kWh	Energijos sąnaudos vėsinimui, kWh	Bendros energijos sąnaudos, kWh
CCDSF-1	0,3725	37482	36095	73577
SSF-1	0,528	54202	46318	100520

Vertinant efektyviausius fasadų tipus visame pastate, mažiausiai energijos suvartojančiu fasadu išliko uždarų ertmių fasadas (CCDSF-1), kuris visu metų laikotarpiu šildymui sunaudoja 37482 kWh, o vėsinimui – 36095 kWh. Bendrai sunaudojama 73577 kWh energijos atlikti šiems procesams. Antroje vietoje pagal efektyvumą išliko vieno sluoksnio fasadas, kuris per vienų metų laikotarpį šildymui sunaudos 54202 kWh, o vėsinimui – 46318 kWh energijos. Bendrai vieno sluoksnio fasadas šiems procesams atlikti sunaudos 100520 kWh energijos (5 lentelė). Taigi įvertinant visus rezultatus tendencijos lyginant su modeliavimu atliktu vienos patalpos pastate labai nepasikeitė: uždarų ertmių fasadas sutaupė 28,8% lyginant su vieno sluoksnio fasadu.



18 pav. Pastato su uždaru ertmių fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius



19 pav. Pastato su vieno sluoksnio fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius

Vertinant fasadų efektyvumą pagal mėnesius uždaru ertmių fasadas daugiausiai energijos sunaudos šildymui ir vėsinimui atitinkamai sausio ir liepos mėnesiais, sausį šildymui sunaudota – 10787 kWh, o liepą vėsinimui – 10472 kWh energijos (18 pav.). Vieno sluoksnio fasadas daugiausiai energijos šildymui sunaudoja taip pat sausio mėnesį – 15209 kWh, o vėsinimui daugiausiai sunaudoja liepos mėnesį – 12971 kWh (19 pav.).

9.1.5. Pirminio modeliavimo išvados

Pirminio modeliavimo metu buvo viso įvertintos 6 fasadų sistemos: 4 uždarų ertmių fasado sistemos, 2 vieno sluoksnio fasado sistemos. Įvertinus visas sistemas buvo atrinktos geriausios kiekvienos rūšies sistemos. Vertinimas vyko sistemas naudojant vieno kambario pastate. Uždarų ertmių fasado atveju efektyviausia sistema buvo pirmoji (CCDSF-1), vieno sluoksnio fasado atveju efektyvesnė buvo taip pat pirmoji sistema (SSF-1). Nors ir pačių sistemų šilumos laidumai (U) labai stipriai neišsiskyrė, tačiau jas geriausiomis iš kitų tos pačios rūšies sistemų pavertė kiti faktoriai: atspindys, šviesos pralaidumas ir panašiai.

Toliau visos efektyviausios skirtingų rūšių fasadų sistemos buvo modeliuojamos visame pastate kur ir pasimatė jų tikrasis efektyvumas. Pati naudingiausia, energijos atžvilgiu, buvo uždarų ertmių fasado sistema, kuri visų metų laikotarpio šildymui ir vėsinimui bendrai išnaudojo 73577 kWh energijos, kas buvo 28,8% mažiau negu vieno sluoksnio tipo efektyviausia fasado sistema.

Lyginant energijos sutaupymus procentaliai vieno kambario ir pilname pastate energijos suvartojimo tendencija išliko panaši. Uždarų ertmių fasadas vieno kambario patalpoje sunaudodavo 31% mažiau energijos negu vieno sluoksnio fasadas. Modeliuojant visame pastate sutaupymai gavosi truputį mažesni 28,8%.

9.2. Fasadų modeliavimas realiame pastate

9.2.1. Informacija apie pastatą

Nagrinėjamas pastatas yra vadinamas „Sky office“, esantis Vilniuje. Šiuo metu pastatas yra vis dar statomas. Fasado tipas – vieno sluoksnio fasadas (22 pav.).



20 pav. Sky Office pastato Vilniuje informacinis modelis

6 lentelė. Duomenys apie pastatą

Plotas, m ²	10625,9
Tūris, m ³	39904,5
Aukštis, m	69,22
Aukštų skaičius, vnt	18
Pastato energinio naudingumo klasė	A+
Energijos sąnaudos vėsinti	18 kWh/m ²
Energijos sąnaudos šildyti	23 kWh/m ²

Originaliai projekte pateikti energijos sąnaudų duomenys skiriasi nuo išvardintų aukščiau (6 lentelė). Tai atsirado dėl to, jog energinis naudingumas skaičiuojamas naudojant NRG PRO programą, kuri neįvertina naudingumo koeficientų. Magistro baigiamajame darbe buvo naudojama IDA ICE programa, kuri visus naudingumo koeficientus įvertina, todėl prieš modeliuodamas realų pastatą apsiskaičiavau kokios turi būti energijos sąnaudos suvienodinus abiejų programų koeficientus.

Šildymas

Pastatas šildomas naudojant radiatorius ir kaloriferius. Radiatoriai naudojami identiški, kurie pateikti projekte.

Vėsinimas

Vėsinimas vykdomas per vėdinimo sistemą, tiekiant atvėsintą orą ir naudojant kondicionierius, kurie reguliuojami kiekvienas atskirai.

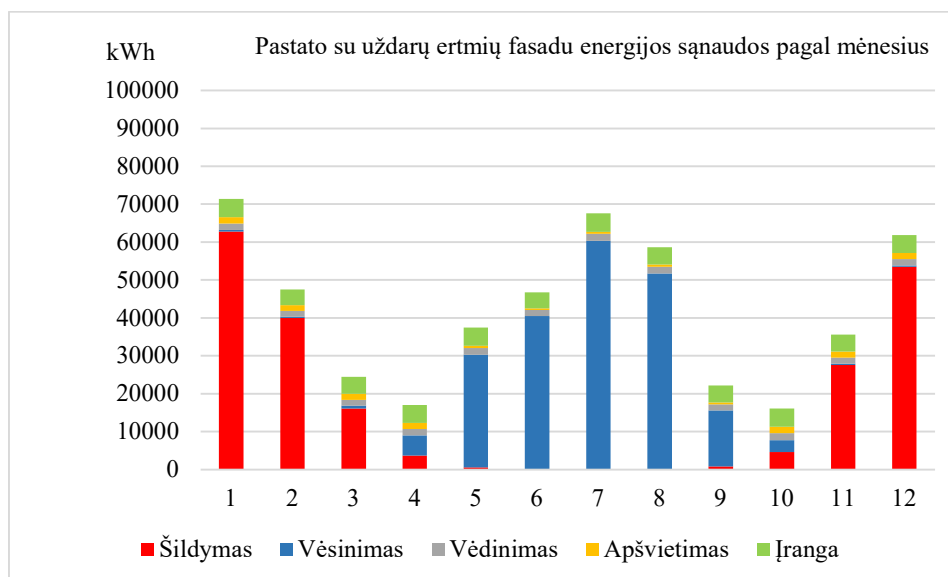
9.2.2. Uždarų ertmių fasadas realiame pastate

Atlikus pastato modeliavimo skaičiavimus, pačia efektyviausia sistema išliko uždarų ertmių fasadas, modeliavimo metu gauti rezultatai parodė, kad jam šiltinti ir vėsinti visus metus reikės 47,7 kWh/m² energijos (7 lentelė).

7 lentelė. Metinės energijos sąnaudos pastatui, naudojant uždarų ertmių (dvigubą nevėdinamą) fasadą

Šilumos laidumo koeficientas, W/(m ² K)	0,5687	
	kWh	kWh/m ² (per metus)
Energijos sąnaudos šildymui	210079	19,8
Energijos sąnaudos vėsinimui	207411	19,5
Energijos sąnaudos vėdinimui	20556	1,9
Energijos sąnaudos apšvietimui	13702	1,3
Energijos sąnaudos įrangai	54997	5,2
Viso	506745	47,7

Stebint energijos sąnaudas pagal mėnesius, tai šildymui daugiausiai sunaudojama sausio ir gruodžio mėnesiais, atitinkamai 62821 kWh ir 53542 kWh. Vėsinimui daugiausiai energijos buvo sunaudojama liepos ir rugpjūčio mėnesiais, atitinkamai 60313 kWh ir 51702 kWh. Energijos apšvietimui daugiausiai būdavo sunaudojama sausio – 1712 kWh ir spalio – 1698 kWh mėnesiais. Stebint energijos sąnaudas vėdinimui ir įrenginiams visų metų laikotarpiu didelių svyravimų nebuvo. Vėdinimo energijos kaštai svyravo nuo 1527 kWh iki 1897 kWh metų bėgyje. Įrenginių elektros kaštai metų bėgyje svyravo nuo 4211 kWh iki 4850 kWh (21 pav.).



21 pav. Pastato su uždarų ertmių fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius

9.2.3. Vieno sluoksnio fasadas realiame pastate

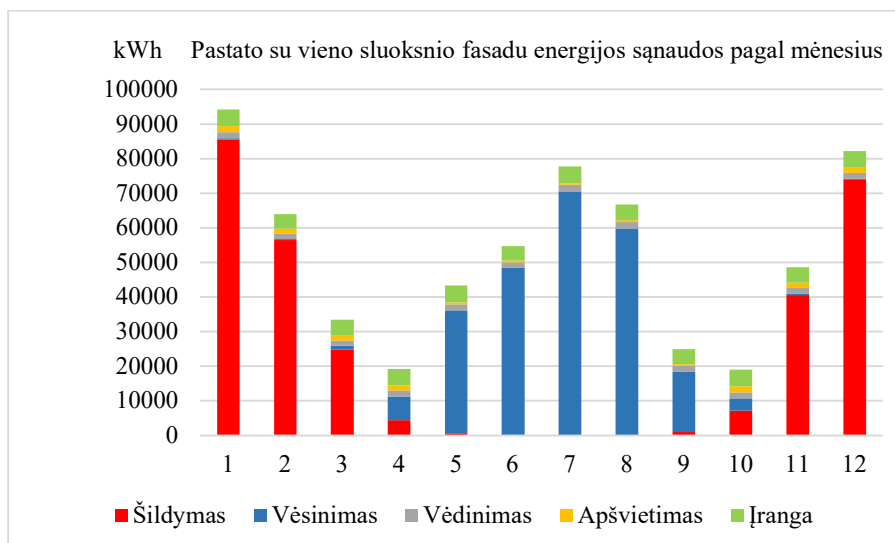
Modeliavimo rezultatai ir gauti duomenys iš projekto skiriasi 5 kWh/m² šildymui ir vėsinimui, kadangi realiame pastate buvo naudojamas vieno sluoksnio fasadas su vienomis stiklo charakteristikomis, o modelyje buvo naudojami vieno sluoksnio fasado stiklo paketai su truputį kitokiomis charakteristikomis, kurie atitiko UAB „Staticus“ stiklo paketų charakteristikas. Taip pat per daug į šiuos skirtumus žiūrėti nereikėtų, nes lyginama su projektiniais duomenimis, kurie realybėje gali kisti, trečias aspektas dėl ko skiriasi sąnaudos yra tai, kad 2/3 aukštų pakeistas išplanavimas – daugumoje aukštų vietoj uždaro ofiso, bus daromi atviri (be pertvarų). Įvertinus visus šiuos pakitimus atitinkamai gali keistis ir energijos sąnaudos

Atlikus pastato su vieno sluoksnio fasadu modeliavimą gauti rezultatai parodė, jog šis fasadas taip pat gali būti pakankamai efektyvus norint siekti aukštų energinio naudingumo klasių. Bendroje sumoje toks pastatas per metus sunaudos 59,1 kWh/m² (8 lentelė).

8 lentelė. Metinės energijos sąnaudos pastatui, naudojant vieno sluoksnio fasadą

Šilumos laidumo koeficientas, W/(m ² K)	0,7465	
	kWh	kWh/m ² (per metus)
Energijos sąnaudos šildymui	294946	27,8
Energijos sąnaudos vėsinimui	244083	23
Energijos sąnaudos vėdinimui	20556	1,9
Energijos sąnaudos apšvietimui	13685	1,3
Energijos sąnaudos įrangai	5499	5,2
Viso	628269	59,1

Stebint energijos sąnaudas pagal mėnesius, tai šildymui daugiausiai sunaudojama sausio ir gruodžio mėnesiais, atitinkamai 85565 kWh ir 73898 kWh. Vėsinimui daugiausiai energijos buvo sunaudojama liepos ir rugpjūčio mėnesiais, atitinkamai 70447 kWh ir 59808 kWh. Energijos apšvietimui daugiausiai būdavo sunaudojama sausio – 1714 kWh ir spalio – 1699 kWh mėnesiais. Stebint energijos sąnaudas vėdinimui ir įrenginiams visų metų laikotarpiu didelių svyravimų nebuvo. Vėdinimo energijos kaštai svyravo nuo 1527 kWh iki 1843 kWh metų bėgyje. Įrenginių elektros kaštai metų bėgyje svyravo nuo 4212 kWh iki 4850 kWh (22 pav.).



22 pav. Pastato su vieno sluoksnio fasadu energijos sąnaudos pagal mėnesius

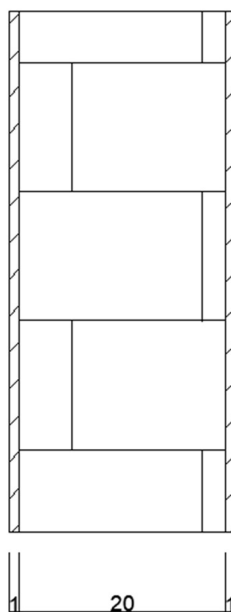
9.2.4. Fasadų palyginimas

Lyginant abiejų rūšių fasadus tendencijos išliko tokios pačios kaip ir pirminio modeliavimo atveju, o ir sutaupymai procentaliai išliko stipriai nepakitę. Uždarų ertmių fasadas sutaupydavo 28,8% šilumos ir 15% vėsinimo energijos lyginant su vieno sluoksnio fasadu. Bendrai uždarų ertmių fasadas vertinant šildymą ir vėdinimą yra efektyvesnis 22,5%.

Remiantis literatūros šaltiniais dvigubas vėdinamas fasadas lyginant su uždarų ertmių fasadu sunaudos 2,1% mažiau energijos vėsinimui, tačiau 6,96% daugiau energijos šildymui. Dvigubo vėdinamo fasado energijos sąnaudos buvo apskaičiuotos remiantis literatūros šaltiniais skaičiuojant procentalius sutaupymus [22], [43].

Paskaičiavus gaunasi, jog dvigubas vėdinamas fasadas šildymui sunaudos – 224700 kWh, o vėsinimui – 203055 kWh. Palyginus gautus vieno sluoksnio ir dvigubo vėdinamo fasado energijos sąnaudų duomenis gauta, jog dvigubo vėdinamo fasado atveju sutaupoma 23,8% energijos sąnaudų šildymui bei 16,8% energijos sąnaudų vėsinimui. Bendrai dvigubas vėdinamas fasadas sutaupo 20,6% energijos šildymui ir vėsinimui.

9.2.5. Palyginimas su mūriniu fasadu



23 pav. Mūrinis fasadas

Mūrinio fasado atveju buvo lyginamas pats paprasčiausias variantas: 200 mm mūras ir 10 mm tinkas (23 pav.). Modeliuojant šis fasadas buvo taikomas „Sky office“ pastate (9 lentelė).

Pakeičiant mūrinį fasadą uždarų ertmių fasadu energijos sąnaudos šilumai sumažėja 80,7% , tačiau dėl didelių įstiklintų plotų 86,9% padidėja energijos sąnaudos vėsinimui. Bendrai lyginant šių dviejų fasado sistemų energijos sąnaudas leidžia uždarų ertmių fasadui sutaupyti 65,3% energijos.

Pakeičiant mūrinį fasadą vieno sluoksnio fasadu energijos sąnaudos šilumai sumažėja 72,1% , tačiau dėl didelių įstiklintų plotų 120% padidėja energijos sąnaudos vėsinimui. Bendrai lyginant šių dviejų fasado sistemų energijos sąnaudas leidžia vieno sluoksnio fasadui sutaupyti 55,1% energijos.

Pakeičiant mūrinį fasadą dvigubu vėdinamu fasadu energijos sąnaudos šilumai sumažėja 79,6% , tačiau dėl didelių įstiklintų plotų 83% padidėja energijos sąnaudos vėsinimui. Bendrai lyginant šių dviejų fasado sistemų energijos sąnaudas leidžia dvigubam vėdinamam fasadui sutaupyti 64,4% energijos.

9 lentelė. Metinės energijos sąnaudos pastatui, naudojant mūrinį fasadą.

Šilumos laidumo koeficientas, W/(m ² K)	1,669	
	kWh	kWh/m ² (per metus)
Energijos sąnaudos šildymui	1089782	109,4
Energijos sąnaudos vėsinimui	110968	11,1
Energijos sąnaudos vėdinimui	21274	2,1
Energijos sąnaudos apšvietimui	13695	1,4
Energijos sąnaudos įrangai	55002	5,2
Viso	1290721	129,6

9.2.6. Nepatenkintųjų procentas

Lygiagrečiai skaičiavimo, tuo pačiu metu buvo sekami darbuotojų nepasitenkinimo patalpų mikroklimatu situacija. Visais atvejais buvo gauti gana geri rezultatai vertinant nepatenkintųjų darbuotojų procentą, kuris svyravo nuo 5 iki 11 %. Mažiausiai nepatenkinti darbuotojai buvo pastate, kuriame naudojamas uždarų ertmių fasadas, šiuo atveju procentaliai rezultatai svyravo tarp 5 - 9%. Esant vieno sluoksnio fasadui nepatenkintųjų procentas siekė 7 - 11% (10 lentelė). Prasčiausiai žmonės jausdavosi šiltuoju sezonu, kai temperatūra būdavo aukštesnė ir patalpose, kuriose būdavo didesnis CO₂ kiekis. Procentų svyravimas taip pat stipriai priklausė nuo įvairių rodiklių, saulės pritekėjimų, įrenginių, šešėlių, žmonių ir pan.

10 lentelė. Nepatenkintųjų procentas pagal fasadą.

Fasado tipas	Nepatenkintųjų procentas, %
Uždarų ertmių fasadas	5 - 9
Vieno sluoksnio fasadas	7 - 11

9.2.7. Uždarų ertmių fasado stiklų paviršių temperatūros

Uždarų ertmių fasado išorinio stiklo temperatūra visų metų laiku stipriai svyruoja. Vasaros metu, išorinis stiklas gali pasiekti iki 33 °C, žiemos metu temperatūra gali nukristi iki 14 °C. Temperatūrą, kurią gali pasiekti išorinė fasado dalis stipriai nulemia fasado orientacija, pietinėje ir rytinėje pusėje vasara pasiekama iki 33 °C, o šiaurinėje vos iki 27 °C, bei stiklo charakteristikos. Žiemos mėnesiais temperatūra pagal fasado kryptis svyruoja tarp 14 – 15 °C. Vakarinė pastato pusė nagrinėjama nebus, kadangi tas fasadas neturi stiklinių elementų (11 lentelė).

11 lentelė. Išorinio stiklo temperatūra visų metų laikotarpiu pagal fasadų orientaciją

	Pietūs	Rytai	Šiaurė
Maksimali temperatūra vasarą, °C	33 °C	33 °C	27 °C
Minimali temperatūra žiemą, °C	15 °C	15 °C	14 °C

Vidinio stiklo temperatūra vasarą svyruoja nuo 26,5 °C iki 28,5 °C, o žiemą temperatūra svyruoja tarp 13 °C ir 15 °C., temperatūros maksimumą ir minimumą įtakoja fasado orientacija (12 lentelė).

12 lentelė. Vidinio stiklo temperatūra visų metų laikotarpiu pagal fasadų orientaciją

	Pietūs	Rytai	Šiaurė
Maksimali temperatūra vasara, °C	28,5 °C	28,5 °C	26,5 °C
Minimali temperatūra žiema, °C	14 °C	14 °C	13 °C

9.2.8. Kaštų palyginimas, remiantis įrengimo, priežiūros, sutaupymo kaštais. Atsipirkimo terminas

13 lentelė. Ekonominio naudingumo vertinimas vieneriems metams

Fasado tipas	Viso fasado įstiklinimo kaina, tūkst. Eur.	Kaštai įrengimui, Eur/m ² per metus	Priežiūros kaštai metams, tūkst. Eur	Kaštai priežiūra, Eur/m ² per metus	Kaštai šildymui, tūkst. Eur.	Kaštai šildymui, Eur/m ²	Kaštai vėsinimui, tūkst. Eur.	Kaštas vėsinimui, Eur/m ²
Uždarų ertmių fasadas	2515,46	800	17,29	5,5	28,78	2,71	28,42	2,67
Dvigubas vėdinamas fasadas	2672,68	850	23,58	7,5	30,78*	2,9	27,82**	2,62
Vieno sluoksnio fasadas	1886,6	600	14,15	4,5	40,41	3,8	33,44	3,15

* šildymo energijos sąnaudos apskaičiuojant kaštus buvo skaičiuojamos procentaliai, naudojantis literatūros šaltiniais, kuriuose lyginami uždarų ertmių ir dvigubi vėdinami fasada, kur dvigubas vėdinamas fasadas sunaudoja 6,96% daugiau energijos [43].

** vėsinimo energijos sąnaudos apskaičiuojant kaštus buvo skaičiuojamos procentaliai, naudojantis literatūros šaltiniais, kuriuose lyginami uždarų ertmių ir dvigubi vėdinami fasada, kur dvigubas vėdinamas fasadas sunaudoja 2,1% mažiau energijos [22].

Viso įstiklinto fasado plotas – 3144,33 m². 13 lentelėje gauti duomenys yra apskaičiuoti remiantis IDA ICE gautais rezultatais, energijos sąnaudos naudojant dvigubą vėdinamą fasadą įvertintos remiantis literatūros šaltiniais [22], [43].

Pastatą įrengti su uždarų ertmių fasadu kainuoja beveik 628,87 tūkst. eurų brangiau negu su vieno sluoksnio fasadu. Pastatas naudodamas uždarų ertmių fasadą per viso tinkamumo naudoti laikotarpį (50 metų) sutaupytų maždaug 832,5 tūkst. eurų šildymui ir vėsinimui. Įvertinant įrengimo kaštus ir energijos sutaupymus, fasadas atsipirktų praėjus 38 metams.

Dvigubo fasado įrengimas kainuoja 786,08 tūkst. eurų brangiau negu vieno sluoksnio fasado. Pastatas su dvigubu vėdinamu fasadu per visą eksploataavimo laikotarpį sutaupytų 762,5 tūkst. eurų šildymui ir vėsinimui. Tokie sutaupymai ir brangesni priežiūros kaštai neleidžia šio tipo fasadui atsipirkti per 50 metų.

Dvigubas vėdinamas fasadas yra pats brangiausias variantas, tačiau tyrimai rodo, jog ne visada pats efektyviausias. Kaštus vėsinimui lyginant su uždaru ertmių fasadu jis sumažina 600 Eur/metus, tačiau šildymo kaštus padidina 2000 Eur/metus, taip pat dar atsižvelgiant į tai, kad šio fasado priežiūros kaštai yra dar 4-7 Eur/m² didesni, dėl poreikio valyti sistemos vidų, tai neleidžia šiam fasadui būti alternatyva efektyvesne už uždaru ertmių fasadą.

10. Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Lyginant visą modeliavimo etapą, tai energijos sutaupymai šildymui ir vėsinimui išliko tendencingi ir daugiau mažiau panašūs. Galutiniame modeliavimo etape fasadų sistemos buvo montuojamos ant šiuo metu statomo pastato Vilniuje. Gauti rezultatai parodo, kad uždarytų ertmių fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu sutaupo 28,8% šildymui ir 15% vėsinimui. Bendroje sumoje vertinant šiuos du faktorius sutaupoma 22,5% energijos. Dvigubas vėdinamas fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu bendrai sutaupytų 20,6% energijos sąnaudų šildymui ir vėsinimui.

Lyginant gautus modeliavimo rezultatus su literatūros šaltiniuose nurodytais sutaupymais, tai gauti rezultatai atitinka literatūroje nurodytus energijos sutaupymus šildymui ir vėsinimui. Kadangi ne viename buvo nurodoma, kad įprastai uždarytų ertmių fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu gali sutaupyti iki 30% energijos šildymui ir iki 15% energijos vėsinimui.

Apžvelgiant ir mūrinį fasadą, tai jį pakeitus uždarytų ertmių fasadu energijos sąnaudos šildymui ir vėsinimui sumažėtų 65,3%. Vieno sluoksnio fasadas sumažintų – 55,1%, o dvigubas vėdinamas fasadas – 64,4%.

Modeliuojant taip pat buvo stebimi ir keli kiti rodikliai: vienas iš jų – nepatenkintųjų procentas. Nepatenkintųjų procentai buvo ganėtinai maži visais atvejais: uždarytų ertmių fasade buvo gauta, kad vidutiniškai patalpoje bus 5 – 9% nepatenkintų žmonių, šį procentą būtų galima sumažinti iki 5 – 6%, jeigu būčiau pakeitęs kelias temperatūras, susijusias su šildymo ir vėsinimo pradžia, tai nebuvo daroma dėl to, kad siekiau kaip įmanoma laikytis šalia projekte pateiktų duomenų ir temperatūrų. Vieno sluoksnio fasado atveju nepatenkintųjų buvo 7 – 11%.

Apibendrinant gautus rezultatus vykdant išorinio ir vidinio stiklo temperatūros stebėjimus, tai gauti rezultatai skyrėsi su pateiktais literatūros šaltiniuose, kadangi modelyje gavau, jog šilčiausiu metu vasarą išorinis stiklas gali įšilti iki 33 °C, o žiemą nukristi iki 14 °C. Kai šaltiniuose nurodyta, jog esant saulėtai dienai pakyla iki 44,4 °C, o žiemą nukrenta iki 4,6 °C. Vidinio stiklo temperatūra taip pat skyrėsi nuo pateiktos šaltiniuose, kadangi modelyje gauta maksimali vidinio stiklo temperatūra vasarą buvo lygi 28,5 °C, o šaltiniuose – 40 °C. Žiemos laikotarpiu modelyje buvo gauta, kad temperatūra gali nukristi iki 13 °C, o šaltiniuose iki 18,4 °C. Šiuos skirtumus galiu paaiškinti tuo, kad bandymai buvo atliekami toli nuo Vilniaus toje pačioje klimato zonoje Kinijoje ir tuo, kad buvo naudojami stiklų paketai turintys kitokias charakteristikas, negu tie su kuriais atlikti modeliavimo tyrimai.

Atlikęs modeliavimą ir turėdamas energijos sutaupymo rezultatus bei informacijos iš literatūros šaltinių atlikau kainų palyginimo skaičiavimą, kuriame gavau, kad uždarytų ertmių fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu atsipirktų per 38 metus, dvigubas vėdinamas fasadas eksploataavimo laikotarpiu (50 metų) atsipirkti neturėtų.

Išvados

1. „Sky office“ modeliavimo rezultatai ir gauti duomenys iš projekto skiriasi 5 kWh/m² šildymui ir vėsinimui.
2. Gauti rezultatai parodo, kad uždarytųjų fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu sutaupo 28,8% šildymui ir 15% vėsinimui. Bendroje sumoje vertinant šiuos du faktorius sutaupoma 22,5% energijos. Dvigubas vėdinamas fasadas sutaupo 23,8% šildymo energijos sąnaudų bei 16,8% vėsinimo. Bendrai šildymui ir vėsinimui sutaupoma 20,6% kas neleidžia šiam fasadui būti efektyvesniu už uždarytųjų fasadą.
3. Apžvelgiant mūrinį fasadą, tai uždarytųjų fasadas sunaudoja 65,3% mažiau energijos šildymui ir vėsinimui. Vieno sluoksnio fasadas sutaupyti – 55,1%, o dvigubas vėdinamas fasadas – 64,4% energijos sąnaudų šildymui ir vėsinimui.
4. Lyginant gautus modeliavimo rezultatus su literatūros šaltiniuose nurodytais sutaupymais, tai gauti rezultatai atitinka literatūroje nurodytus energijos sutaupymus šildymui ir vėsinimui. Kadangi ne viename buvo nurodoma, kad įprastai uždarytųjų fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu gali sutaupyti iki 30% energijos šildymui ir iki 15% energijos vėsinimui.
5. Nepatenkintųjų procentai buvo ganėtinai maži visais atvejais: uždarytųjų fasade buvo gauta, kad vidutiniškai patalpoje bus 5 – 9% nepatenkintų žmonių, šį procentą būtų galima sumažinti iki 5 – 6%, jeigu būtų pakeičtos kelios temperatūros, susijusias su šildymo ir vėsinimo pradžia, tai nebuvo daroma dėl to, kad siekiau kaip įmanoma laikytis šalia projekte pateiktų duomenų ir temperatūrų. Vieno sluoksnio fasado atveju nepatenkintųjų buvo 7 – 11%.
6. Atlikęs modeliavimą ir turėdamas energijos sutaupymo rezultatus bei informacijos iš literatūros šaltinių atlikau kainų palyginimo skaičiavimą, kuriame gavau, kad uždarytųjų fasadas lyginant su vieno sluoksnio fasadu atsipirktų praėjus 38 metams. Dvigubas vėdinamas fasadas eksploatavimo laikotarpiu neatsipirks dėl didelių įrengimo ir priežiūros kaštų.

Literatūros sąrašas

1. GHAFFARIANHOSEINI, A., et al. Exploring the Advantages and Challenges of Double-Skin Façades (DSFs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2016, vol. 60, pp. 1052-1065 [žiūrėta 2020-09-28]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.130>.
2. DOLMANS, D., DUTOO, G., HALL, A. ir SEPPÄNEN, O. *Solar Shading: How to Integrate Solar Shading in Sustainable Buildings* [interaktyvus]. Brussels, 2010 [žiūrėta 2020-11-15]. ISBN 9782930521022. Prieiga per: [12_SolarShading_protected.pdf \(ktu.edu\)](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.130).
3. BUTVINSKAS, K. Dvigubų fasadų architektūrinės ir konstrukcinės savybės. Iš: *2011 metų teminės konferencijos straipsnių rinkinio; 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“* [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2020-11-15]. ISBN 978-9955-28-929-6. Prieiga per: http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/789/1/20_Butvinskas_S4.pdf.
4. NOROUZI, R. ir MOTALEBZADE, R. Chapter 1.12 - Effect of Double-Skin Façade on Thermal Energy Losses in Buildings: A Case Study in Tabriz. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions* [interaktyvus]. 2018, pp. 193-209 [žiūrėta 2020-11-09]. ISSN 9780-128137345. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813734-5.00012-3>.
5. SAELENS, D., CARMELIET, J. ir HENS, H. Energy Performance Assessment of Multiple-Skin Facades. *HVAC&R Research* [interaktyvus]. 2003, vol. 9, no. 2, pp. 167-185 [žiūrėta 2020-10-01]. ISSN 1078-9669. Prieiga per: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10789669.2003.10391063>.
6. SHAMERI, M.A., et al. Perspectives of Double Skin Façade Systems in Buildings and Energy Saving. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2011, vol. 15, no. 3, pp. 1468-1475 [žiūrėta 2020-10-19]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.016>.
7. ZOMORODIAN, Z.S. ir TAHSILDOOST, M. Energy and Carbon Analysis of Double Skin Façades in the Hot and Dry Climate. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2018, vol. 197, pp. 85-96 [žiūrėta 2020-11-29]. ISSN 0959-6526. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.178>.
8. PENIC, M, VATIN, N, MURGUL, V. Double Skin Facades in Energy Efficient Design. *Applied Mechanics and Materials* [interaktyvus]. 2014, vol. 680, pp. 534-538 [žiūrėta 2020-11-18]. Prieiga per: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.680.534>.
9. POURSHAB, N., TEHRANI, M.D., TOGHRAIE, D. ir ROSTAMI, S. Application of Double Glazed Façades with Horizontal and Vertical Louvers to Increase Natural Air Flow in Office Buildings. *Energy* [interaktyvus]. 2020, vol. 200, pp. 117486 [žiūrėta 2020-11-09]. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117486>.
10. HEIMRATH, Richard, et al. *Best Practice for Double Skin Façades: WP 1 Report “State of the Art”* [interaktyvus]. 2005 [žiūrėta 2020-11-15]. Prieiga per: [Microsoft Word - Bestfacade_WP1-Report_Draft_03](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.06.001).
11. GRATIA, E. ir DE HERDE, A. Optimal Operation of a South Double-Skin Façade. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2004, vol. 36, no. 1, pp. 41-60 [žiūrėta 2020-10-11]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.06.001>.

12. URBÁN, D., et al. Assessment of Sound Insulation of Naturally Ventilated Double Skin Facades. *Building and Environment* [interaktyvus]. 2016, vol. 110, pp. 148-160 [žiūrėta 2020-10-29]. ISSN 0360-1323. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.004>.
13. ALBERTO, A., RAMOS, N.M.M. ir ALMEIDA, R.M.S.F. Parametric Study of Double-Skin Facades Performance in Mild Climate Countries. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2017, vol. 12, pp. 87-98 [žiūrėta 2020-11-15]. ISSN 2352-7102. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.05.013>.
14. JOE, J., CHOI, W., KWAK, Y. ir HUH, J. Optimal Design of a Multi-Story Double Skin Facade. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2014, vol. 76, pp. 143-150 [žiūrėta 2020-11-16]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.002>.
15. FIORENTINI, M., GOMIS, L.L., CHEN, D. ir COOPER, P. On the Impact of Internal Gains and Comfort Band on the Effectiveness of Building Thermal Zoning. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2020, vol. 225, pp. 110320 [žiūrėta 2020-11-03]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110320>.
16. BLANCO, J.M., BURUAGA, A., CUADRADO, J. ir ZAPICO, A. Assessment of the Influence of Façade Location and Orientation in Indoor Environment of Double-Skin Building Envelopes with Perforated Metal Sheets. *Building and Environment* [interaktyvus]. 2019, vol. 163, pp. 106325 [žiūrėta 2020-10-03]. ISSN 0360-1323. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106325>.
17. GRATIA, E. and DE HERDE, A. Optimal Operation of a South Double-Skin Facade. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2004, vol. 36, no. 1, pp. 41-60 [žiūrėta 2020-10-29]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.06.001>.
18. HE, G., SHU, L. ir ZHANG, S. Double Skin Facades in the Hot Summer and Cold Winter Zone in China: Cavity Open Or Closed? *Building Simulation* [interaktyvus]. 2011, vol. 14, pp. 283-291 [žiūrėta 2020-10-11]. eISSN 1996-8744. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12273-011-0050-7>.
19. POIRAZIS, H. *Double Skin Façades for Office Buildings* [interaktyvus]. Lund, 2004 [žiūrėta 2020-11-14]. ISBN 91-85147-02-8. Prieiga per: [untitled \(upgreengrade.ir\)](http://untitled.upgreengrade.ir).
20. YOON, Y.B., SEO, B., KOH, B.B. ir CHO, S. Performance Analysis of a Double-Skin Façade System Installed at Different Floor Levels of High-Rise Apartment Building. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2019, vol. 26, pp. 100900 [žiūrėta 2020-10-27]. ISSN 2352-7102. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100900>.
21. MANZ, H. ir FRANK, T. Thermal Simulation of Buildings with Double-Skin Façades. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2005, vol. 37, no. 11, pp. 1114-1121 [žiūrėta 2020-10-19]. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.014>.
22. HIEN, W.N., et al. Effects of Double Glazed Façade on Energy Consumption, Thermal Comfort and Condensation for a Typical Office Building in Singapore. *Energy and Buildings*, 2005, vol. 37, no. 6, pp. 563-572 ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.004>.
23. TERMOLITAS. *Naudinga informacija: šilumos laidumas* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per <http://termolitas.lt/siltinimo-sistemas-termolitas-silumine-varza-ir-kuo-skiriasi-atviru-ir-uzdaru-poru-ppu>

24. ISOVER. *A, A+, A++ klasių pastatai* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-10-15]. Prieiga per <https://www.isover.lt/a-klasiu-pastatai>
25. EQUA. *Enhanced Window Models* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per <https://www.equa.se/es/ida-ice-2/extensions/enhanced-window-models>
26. CLIMAGUARD. *ClimaGuard 1.0+* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-11-03]. Prieiga per <https://www.guardianglass.com/eu/en/products/brands/climaguard/1-0-plus>
27. LIETUVOS STATYBININKŲ ASOCIACIJA. ST 121895674.205.20.01:2012, *Fasadų įrengimo darbai*. Vilnius, 2015m. [žiūrėta 2019-05-08]. Prieiga per: http://www.statybostaisykles.lt/sites/default/files/01_ENERGOTRAIN_B_TA2_Tinkuojami%20fasadai_v161215.pdf
28. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. STR 2.09.02:2005, *Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas: 2005m. birželio mėn. Nr.D1-289*. Valstybės žinios, 2005-06-16, Nr. 75-2729 [interaktyvus]. Galiojanti suvestinė redakcija 2015-03-27 [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930/asr>
29. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. STR 2.01.02.2016, *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas: 2016m. lapkričio mėn. Nr.D1-754* [interaktyvus]. TAR, 2016-12-01, Nr. 27896 [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/asr>
30. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. STR 2.04.01:2018, *Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorinės įėjimo durys: 2019 m. kovo mėn. Nr. D1-186* [interaktyvus]. TAR, 2019-04-03, Nr. 5376 [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per: [D1-186 Dėl statybos techninio reglamento STR 2.04.01:2018 „Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir ... \(lrs.lt\)](#)
31. EQUA. *User Manual: IDA Indoor Climate and Energy* [interaktyvus]. © 2013 EQUA Simulation AB [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per: www.equaonline.com/iceuser/pdf/ICE45eng.pdf
32. YIT. *"SKY OFFICE"* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-11-14]. Prieiga per: [SKY OFFICE | YIT.lt](#)
33. ETNA. *Pagrindinės stiklo paketo charakteristikos* [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2020-10-15]. Prieiga per: [Pagrindinės stiklo paketo charakteristikos | Etna.lt](#)
34. STATYK. *Stikliniai šilumos spąstai* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-10-16]. Prieiga per: [Stikliniai šilumos spąstai — naujienos.lt \(alfa.lt\)](#)
35. WIKIPEDIA. *Polyvinyl butyral* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-10-16]. Prieiga per: [Polyvinyl butyral - Wikipedia](#)
36. INOUTIC. *Stiklo šilumos laidumas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-10-17]. Prieiga per: [Šilumos laidumo koeficientas - U-vertė | Inoutic](#)
37. RESEARCHGATE. *Effect of glass thickness on the thermal performance of evacuated glazing* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-10-15]. Prieiga per: [Effect of glass thickness on the thermal performance of evacuated glazing | Request PDF \(researchgate.net\)](#)

38. INTELLIGENT GLASS SOLUTIONS. *Double-Skin Facades: Characteristics and Challenges for an Advanced Building Skin* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-10-14]. Prieiga per: [Double-Skin Facades: Characteristics and Challenges for an Advanced Building Skin | IGS \(igsmag.com\)](#)
39. SOUZA, Eduardo. How Do Double-Skin Façades Work. *Archdaily* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-10-15]. ISSN 0719-8884. Prieiga per: [How Do Double-Skin Façades Work? | ArchDaily](#)
- 40 SAFER, N., et al. Double-skin façade with Venetian blind: global modelling and assessment of energy performance. In: *EPIC Conference* [interaktyvus]. 2006 [žiūrėta 2020-10-11]. Prieiga per: [Microsoft Word - #130 Safer.doc \(aivc.org\)](#)
41. Double skin façade effect for building microclimate [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-11-25]. Prieiga per: [Effectiveness of Double Skin Façade in Controlling Indoor Air Temperature of Tropical Buildings - IOPscience](#)
42. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. STR 2.07.01:2003, *Vadentiekis ir nuotekų šalintuvas. Pastato inžinerinės sistemos. Lauko inžineriniai tinklai: 2003m. liepos mėn. Nr. 390* [interaktyvus]. Valstybės žinios, 2003-08-29, Nr. 83-3804 [žiūrėta 2020-11-28]. Prieiga per: [390 Dėl statybos techninio reglamento STR 2.07.01:2003 "Vadentiekis ir nuotekų šalintuvas. Pastato i... \(e-tar.lt\)](#)
43. MARKOVSKIJ, Stanislav. Dvigubojo fasado pastato energijos poreikiams įtaka. *Kompiuterinis modeliavimas* [interaktyvus]. Vilnius, 2011 [žiūrėta 2020-11-17]. Prieiga per: [Dvigubojo fasado pastato energijos poreikiams įtaka \(vgtu.lt\)](#).
44. IGNITIS GRUPĖ. *Paskelbtos galutinės elektros energijos ir gamtinių dujų kainos 2020 m. antrajam pusmečiui* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-12-01]. Prieiga per: [Paskelbtos galutinės elektros energijos ir gamtinių dujų kainos 2020 m. antrajam pusmečiui \(ignitisgrupe.lt\)](#).