



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Vilūnė Pikelytė

PASTATŲ SU STIKLINIAIS FASADAIS ŠILUMOS REŽIMO ANALIZĖ
ANALYSIS OF THERMAL MODE IN BUILDINGS WITH GLASS
FACADES

Baigiamasis magistro darbas

Energetika ir termoinžinerija studijų programa, valstybinis kodas **62406T106**

Termoinžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Vytautas Martinaitis
(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilūnė Pikelytė

PASTATŲ SU STIKLINIAIS FASADAIS ŠILUMOS REŽIMO ANALIZĖ
ANALYSIS OF THERMAL MODE IN BUILDINGS WITH GLASS
FACADES

Baigiamasis magistro darbas

Energetika ir termoinžinerija studijų programa, valstybinis kodas 62406T106

Termoinžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc.dr. Sabina Paulauskaitė _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas lekt. Regina Žukienė _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2010

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

TVIRTINU

Technologijos mokslų sritis

Energetikos ir termoinžinerijos mokslų kryptis

Energetikos studijų kryptis

Energetikos ir termoinžinerijos studijų programa, valstybinis kodas **62406T106**

Termoinžinerijos specializacija

Katedros vedėjas

(parašas)

Vytautas Martinaitis
(vardas, pavardė)

2010 gegužės mėn. 04 d.

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) **VILŪNEI PIKELYTEI**.....
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema .. **Pastatų su stikliniais fasadais šilumos režimo analizė**.....

Patvirtinta 2009 m. lapkričio 30 d.

Dekano įsakymu Nr. 342 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas

2010 m. birželio mėn. 01 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti pastatų stiklinių fasadų charakteristikų analizę. Numatyti galimas energijos taupymo priemones pastatuose, turinčiuose didelius įstiklintus paviršius. Įvertinti šildymo ir vėsinimo energijos poreikius konkrečių objektų pavyzdžiu, priklausomai nuo fasado orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu, nuo skirtingų stiklo paketų optinių ir šiluminių savybių. Išanalizuoti pasyvių energiją taupančių priemonių įtaką energijos poreikiams. Palyginti skirtingų skaičiavimo metodikų rezultatus tarpusavyje, įvertinti šias metodikas. Atlikti išorės oro temperatūrų kaitos analizę 2009/2010 metų šildymo sezono metu ir palyginti skaičiuotinus ir realius šilumos suvartojimus šildymui nagrinėjame objekte. Padaryti darbo išvadas.

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

Vadovas
(parašas)

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

Užduotį gavau

.....
(parašas)

.....*Vilūnė Pikelytė*.....
(vardas, pavardė)

.....2010-02-08.....
(data)

Anotacija lietuvių kalba

Katedra:	Pastatų energetikos katedra
Baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba:	Pastatų su stikliniais fasadais šilumos režimo analizė
Baigiamojo darbo pavadinimas anglų kalba:	Analysis of Thermal Mode in Buildings with Glass Facades
Baigiamojo darbo vadovas:	doc. dr. Sabina Paulauskaitė
Anotacija (lietuvių kalba) (iki 2000 simbolių):	Baigiamajame magistro darbe buvo išanalizuota didelių įstiklintų atitvarų plotų įtaka šildymo ir vėsinimo energijos sąnaudoms. Atlikta stiklo paketų, jų terminių savybių bei pasyvių energijos taupymo priemonių taikymo apžvalga. Konkretiems objektams pasirinkti penki energijos poreikių analizės variantai. Nustatyta, kaip energijos poreikius įtakoja didžiausio įstiklinto pastato fasado orientacija pasaulio šalių atžvilgiu, skirtingos stiklo paketų optinės ir šiluminės savybės bei pasyvių energiją taupančių priemonių naudojimas. Išnagrinėta apie septyniasdešimt skaičiavimo variantų. Palyginti skirtingų vėsinimo poreikių skaičiavimo metodikų rezultatai. Atlikta 2009 – 2010 m. šildymo sezono vidutinių išorės oro temperatūrų analizė. Natūrinėmis sąlygomis nustatytas patalpų oro temperatūros ir santykinio drėgnumo kitimas ir palyginta su reglamentuojamomis vertėmis. Nagrinėjamajame objekte atlikta skaičiuojamųjų ir faktinių šilumos suvartojimų, perskaičiuotų į norminius dydžius, palyginamoji analizė.
	The Master's degree paper analyses the influence of large glazed areas of heating and cooling energy costs. Carried out the review of glazing, their thermal properties and the passive energy saving measures. The analysis of five options for energy needs of

Prasminiai žodžiai (lietuvių kalba) (iki 500 simbolių):	Stikliniai fasadai, stiklo paketai, energijos sąnaudos, šildymo ir vėsinimo poreikiai, energijos taupymo priemonės, optinės ir šiluminės savybės, patalpų oro temperatūra ir santykinis drėgnumas, faktinis šilumos suvartojimas
--	---

Anotacija anglų kalba

Anotacija (anglų kalba) (iki 2000 simbolių):	The Master's degree paper analyses the influence of large glazed areas of heating and cooling energy costs. Carried out the review of glazing, their thermal properties and the passive energy saving measures. The analysis of five options for energy needs of certain objects has been done. Established the affect to energy needs of the largest glazed façade orientation of the world's countries, different glazing optical and thermal properties and passive energy-saving tools. Examined about seventy calculation options. The results of different methods of calculating the cooling needs have been compared. Carried out the average outside air temperature analysis in 2009 - 2010 heating season. At subsistence conditions the indoor air temperature and relative humidity has been identified, and compared with the governing values. The comparative analysis in considered object of estimated and actual consumption of heat, expressed in the normative values, has been done.
Prasminiai žodžiai (anglų kalba) (iki 500 simbolių):	Glass facades, double glazing, energy consumption for heating and cooling needs, energy-saving measures, optical and thermal properties, indoor air temperature and relative humidity, the actual heat consumption
Kokia kalba parašytas baigiamasis darbas:	lietuvių ▼

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	9
Priedų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Darbo aktualumas	12
2. Pasyviųjų energijos taupymo priemonių taikymo apžvalga	12
3. Įstiklintų paviršių charakteristikos.....	13
3.1. Stiklo paketų rūšys	16
3.2. Terminės stiklo paketų savybės	16
4. Pastatų energijos poreikiai ir pasyviojo saulės panaudojimo principai	18
5. Darbo tikslas	20
6. Nagrinėjamųjų objektų apibūdinimas.....	21
6.1. Automobilių salono pagrindinės charakteristikos	21
6.2 Administracinių patalpų pagrindinės charakteristikos	22
7.Energijos poreikių skaičiavimo metodikos	23
7.1. Šilumos poreikių skaičiavimas pagal STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui	23
7.1.1.Automobilių salono šilumos nuostolių struktūra.....	26
7.1.2.Administracinių patalpų šilumos nuostolių struktūra	27
7.2. Vėsinimo poreikių skaičiavimo metodika	28
8. Nagrinėjamųjų objektų energijos poreikių analizė.....	30
8.1. Šilumos ir šalčio poreikių analizė, esant skirtingoms apsaugos nuo saulės priemonėms	30
8.2. Šilumos ir šalčio poreikių analizė, keičiant didžiausio įstiklintojo fasado orientaciją	33
8.3. Šilumos ir šalčio poreikių analizė, keičiant stiklo paketų šilumines ir optines savybes	37
8.4.Šilumos ir šalčio poreikių kitimo dėsningumas priklausomai nuo stiklo paketų šilumos perdavimo koeficiento	40
8.5 Šilumos ir šalčio poreikių kitimo dėsningumas priklausomai nuo stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktorius.....	41
9.Vėsinimo poreikių skaičiavimų, atliktų kompiuterine programa ProClim rezultatų analizė	43
10. Administracinių patalpų mikroklimato parametrų kitimo analizė natūrinėmis sąlygomis.....	44

11. Administracinių patalpų faktinių šilumos sanaudų palyginimas su analitinio skaičiavimo rezultatais.....	46
12. Išvados.....	50
13. Literatūros sąrašas	52
PRIEDAI	54

Paveikslų sąrašas

- 1 pav.** Stiklo paketų tipai
- 2 pav.** Stiklo paketo sandara
- 3 pav.** Šilumos perdavimas per standartinį stiklo paketą
- 4 pav.** Šilumos sklidimas per vidinį stiklą
- 5 pav.** Automobilių salonas Šiauliuose
- 6 pav.** Pastato energinio naudingumo įvertinimas
- 7 pav.** Administracinės patalpos Vilniuje
- 8 pav.** Automobilių salono pastato dalies šilumos nuostolių struktūra
- 9 pav.** Administracinių patalpų šilumos nuostolių struktūra
- 10 pav.** Automobilių salono energijos poreikių priklausomybė nuo naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių
- 11 pav.** Administracinių patalpų energijos poreikių priklausomybė nuo naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių
- 12 pav.** Automobilių salono projektinių šilumos poreikių šildymui priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių
- 13 pav.** Administracinių patalpų projektinių šilumos poreikių šildymui priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių
- 14 pav.** Automobilių salono metinių vėsinimo poreikių priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių
- 15 pav.** Administracinių patalpų metinių vėsinimo poreikių priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių
- 16 pav.** Nagrinėjamųjų objektų metinių šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų šilumos perdavimo koeficientų
- 17 pav.** Nagrinėjamųjų objektų metinių šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriaus
- 18 pav.** Vėsinimo poreikių skaičiavimų rezultatų palyginimas
- 19 pav.** Patalpos temperatūros ir drėgmės kitimas
- 20 pav.** 2009-2010 m. šildymo sezono Vilniuje vidutinės mėnesinės išorės oro temperatūros
- 21 pav.** Vidutinių paros išorės temperatūros Vilniuje per 2009-2010m. šildymo sezoną
- 22 pav.** Realių šilumos sąnaudų palyginimas su analitinio skaičiavimo rezultatais

Lentelių sarašas

4.1 lentelė. Pastatų šiluminės energijos poreikis ir šilumos nuostoliai per metus

8.1 lentelė. Metiniai šildymo ir vėsinimo poreikiai, naudojant skirtingas apsaugos nuo saulės priemones

8.2 lentelė. Metinių projektinių šilumos poreikių šildymui priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių

8.3 lentelė. Metinių vėsinimo poreikių priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių

8.4 lentelė. Maksimalus šilumos srautas ir jo intensyvumo valanda skirtingoms orientacijoms

8.5 lentelė. Nagrinėjamųjų stiklo paketų šiluminės - optinės savybės

8.6 lentelė. Metiniai projektiniai šilumos poreikiai šildymui, nagrinėjamiesiems stiklo paketams, naudojant skirtingas apsaugos nuo saulės priemones

8.7 lentelė. Metiniai vėsinimo poreikiai, nagrinėjamiesiems stiklo paketams, naudojant skirtingas apsaugos nuo saulės priemones

8.8 lentelė. Metinių šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų šilumos perdavimo koeficiento

8.9 lentelė. Nagrinėjamųjų objektų šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriaus

10.1 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės

10.2 lentelė. Darbo patalpų šiluminio komforto aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės

Priedų sąrašas

A.1. priedas. Autosalono planas

A.2. priedas. Administracinių patalpų planas

B.1. priedas. Autosalono ir administracinių patalpų šilumos poreikių šilumos poreikių skaičiavimų apibendrinimas

B.2.priedas. Autosalono vėsinimo poreikių skaičiavimas

B.3.priedas. Administracinių patalpų vėsinimo poreikių skaičiavimas

C priedas. Vėsinimo galios skaičiavimo programa ProClim rezultatai

D priedas. 2009 - 2010m. šildymo sezono išorės oro temperatūros pagal LHMT

Įvadas

Šiuolaikinių namų statyba pasižymi tuo, kad didėja statybų sparta, naudojamos modernios medžiagos, lengvesnės konstrukcijos, tačiau pastatas turi atitikti architektūrinius, konstrukcinius ir šiluminius reikalavimus. Pastatas turi būti patvarus atmosferos poveikiui, energija jame turi būti naudojama ekonomiškai.

Energijos kiekis, sunaudojamas pastatų šildymui, priklauso nuo pastato atitvarinių konstrukcijų šiluminių-techninių savybių, pasirinkto šildymo režimo bei nuo šilumos nuostolių į aplinką. Norint patalpose užtikrinti reikiamą temperatūrinį režimą, mūsų klimato sąlygomis, pastatų atitvarinėse konstrukcijose turi būti sukauptas tam tikras šilumos kiekis. Šis šilumos kiekis priklauso nuo atitvarų konstrukcijų charakteristikų (tūrio, medžiagų tankio, šiluminės talpos, šiluminės varžos, šilumos imlumo koeficiento).

Tačiau tiek mažaaukščiai, tiek daugiaaukščiai šiuolaikiniai pastatai beveik neįsivaizduojami be didelių langų ar tiesiog įspūdingų stiklinių fasadų. Jų pagrindinė funkcija – įleisti į patalpas dienos šviesą. Nors architektūriniai sprendimai itin estetiški ir modernūs, dėl jų ne visada pavyksta kokybiškai eksploatuoti pastatus. Dėl specifinių stiklo šilumos ir šviesos laidumo savybių reikalingos didelės energijos sąnaudos, norint patalpose palaikyti tinkamą mikroklimatą, o tai žymiai sumažina tokių pastatų ekonomiškos eksploatacijos rodiklius. Susiduriama ir su problemomis siekiant vasarą palaikyti reikiamą mikroklimatą patalpoje.

Lietuva yra šalto klimato zonoje. Šildymo sezonas trunka daugiau kaip 200 parų, todėl didelės išlaidos pastatų šildymui. Lietuva turi nedaug savų energijos šaltinių (10-12 %) ir yra priversta importuoti naftą ir dujas. Daugiau kaip prieš dešimt metų pasikeitusios energijos įsigijimo sąlygos jau suformavo Lietuvos gyventojų požiūrį į taupų energijos vartojimą pastatams šildyti [1].

Mūsų šalyje pastatų efektyviam šildymui yra skiriama daug dėmesio. Įvairiuose statybos techniniuose reglamentuose nustatomi šilumos energijos gamybos, naudojimo reikalavimai, taip pat reglamentuojamos pastatų atitvarų šiluminių techninių rodiklių reikšmės. Pastatų vėsinimą reglamentuoja tik STR2.09.02:2005, Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas. Pagrindinis pastatų šildymą reglamentuojantis dokumentas tai STR 2.09.04:2008. Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui.

Poreikis plėsti patalpų vėdinimo sektorių ES ir Lietuvoje kas metai didėja, o tai reikalauja papildomų energijos sąnaudų, nes ne tik žiemą, bet ir vasarą pastatuose turime turėti komfortines aplinkos sąlygas. Atsižvelgiant į didėjančią vėsinimo paklausą, buvo sudarytas Europos vėsinimo indekso žemėlapis, kuris nustato preliminarų vėsinimo poreikį atskirose valstybėse.

Pagal šį indeksą šiaurės šalyse yra +40 % vėsinimo poreikis, Pietų Europos šalyse +100–140 %, Lietuva patenka į +80 % indekso zoną. Tai dar kartą patvirtina faktą, kad ne tik pastatų šildymo, bet ir vėsinimo problemos pas mus bus aktualios [2].

1. Darbo aktualumas

Ratifikuodama Kioto protokolą ir įgyvendindama ES efektyvaus energijos vartojimo veiksmų planą Europos Sąjunga įsipareigoja radikaliai sumažinti energijos vartojimą ir CO₂ emisiją. Vienas iš pagrindinių tikslų yra iki 2020 m. energijos vartojimą sumažinti 20 %. Norėdama pasiekti tokį energijos efektyvumą, Europa turės daugiau negu du kartus padidinti dabar pasiektus efektyvumo rodiklius [3]. Todėl Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje, ypatingas dėmesys skiriamas energetinių išteklių panaudojimui, nes didelė energetinio balanso dalis sunaudojama būtent pastatų mikroklimatui palaikyti. Todėl įvairios galimos energijos taupymo galimybės ir jų panaudojimas turėtų būti aktualus, ypač šiuolaikiniuose pastatuose, kurių architektūroje naudojama daug stiklo.

Įstiklintų paviršių įtaką energijos poreikiams nagrinėjo daug autorių. Buvo tiriamas optimalus įstiklinimo plotas, pastato formos, orientacijos ir kitų veiksnių įtaka energijos poreikiams [2, 4, 5]. Analizuoti veiksniai, kurie turi didžiausią įtaką šildymo ir vėsinimo poreikiams pastate, jų jautrumo indeksai [6], atliekamos šilumos suvartojimų pastatuose analizės [7].

2. Pasyviųjų energijos taupymo priemonių taikymo apžvalga

Pasyvios energiją taupančios priemonės gali žymiai sumažinti pastatų energijos sąnaudas. Viena iš tokių priemonių – išorinių žaliuzių įrengimas. Projektuodami pastatus Lietuvos architektai dažnai nuvertina jų sutaupomą energiją, o Vakarų pasaulyje apie jas žino ir sėkmingai taiko didžioji dalis vartotojų.

Pro stiklinius komercinių ar biurų pastatų fasadus bei didelius gyvenamųjų namų langus į patalpas patenka daug šilumos dėl saulės spinduliuotės pritekėjimų. Per didelis šviesos srautas dažnai vargina akis, vasarą patalpos oras per daug įkaista. Kartais negelbsti net galinga oro kondicionavimo įranga. Ištaisyti tokią padėtį galima gana paprastai: tereikia sumontuoti išorines žaliuzes. Tyrimais nustatyta, kad daug efektyviau įrengti žaliuzes ne patalpų viduje, o išorėje. Išorėje pakabintos žaliuzės sulaiko net 60 – 80 % pro langą patenkančios saulės energijos, kadangi neįkaista tarp žaliuzių ir lango cirkuliuojantis oras [8]. Šios universalios žaliuzės dieną

patalpose leidžia sukurti malonų pavėsį, vakare – įleisti saulės šviesos, vasarą saugo nuo kaitros, o žiemą padeda taupyti energiją.

Vidinės saulės valdymo sistemos gali būti dekoratyvesnės, apsaugoti nuo ultravioletinių spindulių ar akinimo, tačiau jos toli gražu taip gerai neapsaugo patalpų nuo perkaitimo, kaip išorinės. Saulės valdymo sistemų efektyvumas priklauso nuo galybės faktorių – stiklo ypatybių, fasado ar lango orientacijos, pastato geografinės padėties, ventiliacijos, metų laiko ir t.t. Tačiau tyrimais nustatyta, jog įrengti horizontalias žaliuzes tarp lango stiklų yra 3 – 4 kartus, o išorėje – net 7 kartus efektyviau nei viduje. Išorinė saulės valdymo sistema leidžia sulaikyti net 60 – 80 % pro langą patenkančios saulės energijos, nes tarp žaliuzių ir lango cirkuliuojantis oras neperkaista. Jas valdyti galima mechaniškai ar automatiškai, o specialios formos bėgeliai užtikrina ypač tylų sistemos veikimą. Dėl daugybės standartinių spalvų ir dar didesnės specialių spalvų paletės bei skirtingų dydžių (plotis gali siekti 5m) šias žaliuzes lengva pritaikyti prie bet kokio fasado architektūros.

Labai svarbu saulės valdymo sistemų įrengimo ypatumais pasidomėti, kol projektas dar nebaigtas. Tada paprasčiausia rasti patį efektyviausią, taupiausią ir net estetiškiausią sprendimą. Vis daugiau lietuvių žengia vakariečių pėdomis ir energijai imlią kondicionavimo įrangą keičia ar papildo ekologiškomis saulės šviesos ir energijos valdymo sistemomis, todėl prognozuojamas ne mažesnis populiarumas nei dabar Vakaruose. Juo labiau kad sveiką ir komfortišką darbo vietų atmosferą greitai reglamentuos griežtos Europos Sąjungos normos, o kylant pragyvenimo lygiui, bus prieinamesnis ir komfortas namuose [8].

Taip pat užsienyje daug dėmesio skiriama pastato architektūrai, dizainui, orientacijai, atsižvelgiant į saulės ir vėjo modelius, bei pastato statyboje naudojamoms medžiagoms [9]. Siekiama, kad energija būtų vartojama kuo efektyviau ir taupiau. „Intelligent Energy Europe“ [10] specialūs projektai, tokie kaip „CoolRegion“, kuris skirtas vėsinimui naudojamos energijos mažinimui. Remiantis specialistų sukauptomis žiniomis, atliekami bandomieji pastatų atnaujinimo ir naujų namų statybos projektai dalyvaujančiose programoje šalyse [11]. Propoguojama pasyvių namų statyba, kurie sunaudotų daug mažiau energijos nei standartiniai pastatai [12].

3. Įstiklintų paviršių charakteristikos

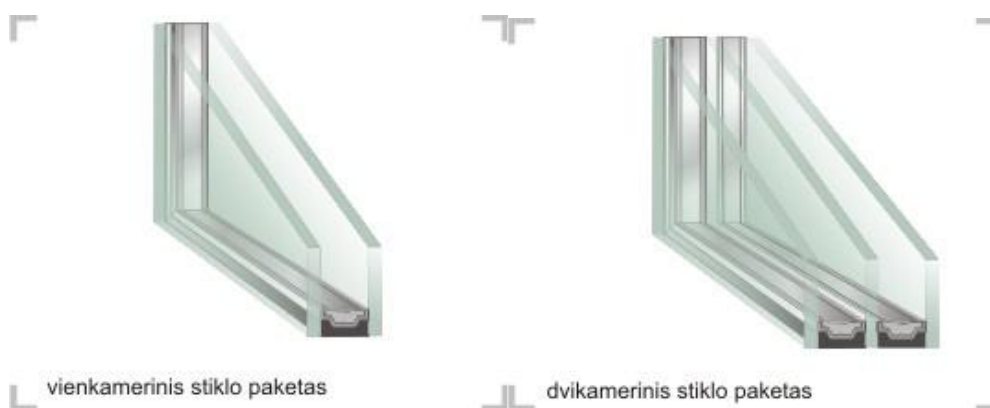
Šiuolaikinėje architektūroje naudojama labai daug stiklinių atitvarų, didėja langų plotai – projektuojami dideli vitrininiai langai. Jų pagrindinė funkcija – įleisti į patalpas dienos šviesą.

Tačiau dideli šilumos nuostoliai yra viena iš svarbiausių langų neigiamų savybių. Apsisaugojimas nuo šilumos pritekėjimų dėl saulės spinduliuotės aktualiausias vasarą. Infraraudonieji spinduliai, kurie kartu su kitais spinduliais beveik netrukdomai pereina stiklo paketo stiklus, išildo patalpoje esančius baldus, sienas, grindis, nuo išilusių daiktų išyla visa patalpa. Norint išlaikyti optimalią patalpų oro temperatūrą, tenka kondicionuoti patalpų orą.

Šaltuoju metų laikotarpiu šiluma per langą prarandama įvairiais būdais - per nesandarų rėmą, per paties rėmo medžiagą. Tačiau didžiausia šilumos dalis prarandama per stiklą. Stiklo paketas sumažina šilumos nuostolius per stiklą (sausas oras paketo viduje yra neblogas šilumos barjeras), tačiau šilumos spinduliai beveik netrukdomai išspinduliuojami į lauką. Siekiant aukštų termoizoliacijos ir mažesnių triukšmo rodiklių, tampa labai svarbu, koks stiklo paketas yra naudojamas [13].

Stiklo paketas – statybos produktas, susidedantis iš dviejų arba daugiau hermetiškai tam tikrais atstumais sujungtų stiklų, tarp kurių susidaro uždaros hermetiškos kameros. Stiklo paketai skirti langų, balkono ir lauko durų, vitrinų, žiemos sodų įstiklinimui gyvenamuosiuose namuose, viešosios paskirties ir pramonės pastatuose. Stiklo paketai priklausomai nuo konstrukcijos tipo gali būti:

- vienkameriniai (2 stiklų);
- dvikameriniai (3 stiklų).



1. pav. Stiklo paketų tipai

Šiuolaikinių pastatų stiklinimui keliama itin aukšti reikalavimai. Stiklo paketai turi atlikti daugelį funkcijų: apsaugos nuo aplinkos poveikio, šilumos izoliacijos, saulės kontrolės, saugumo, dekoratyvumo ir kt. Be to, stiklas tapo svarbiu modernios architektūros elementu, dėl jo pastatai įgauna kitokias, iki šiol dar nematytas išraiškas. Todėl siekiant optimalaus rezultato, kiekvienu atveju yra itin svarbu tinkamai pasirinkti, kur ir kokį sticlą naudoti.

Stiklo paketo sandaros elementai pateikti 2 pav.:



2 pav. Stiklo paketo sandara

Stiklas – vienas pagrindinių komponentų stiklo paketų gamyboje, nulemiantis daugelį stiklo paketų funkcinių savybių. Stiklo paketai gaminami naudojant 2 arba 3 stiklo lakštus. Stiklo paketų gamyboje naudojami šių pagrindinių rūšių stiklai:

- skaidrūs;
- tonuoti masėje;
- stiklai su dangomis (šilumą izoliuojančiomis bei saulės kontrolės);
- kieto padengimo (pirolitinėmis);
- minkšto padengimo;
- dekoratyviniai.

Skiriamasis rėmelis naudojamas stiklo lakštų atskyrimui pakete tam tikru atstumu bei adsorbento įterpimui. Stiklo paketų gamyboje gali būti naudojami šie rėmeliai:

- aliuminio;

- šilti „warm edge“ (plastikiniai, stiklo pluošto ar kitų medžiagų);
- nerūdijančio plieno.

Dažniausiai stiklo paketų gamyboje naudojami aliuminio rėmeliai. Šilti bei nerūdijančio plieno rėmeliai naudojami stiklo paketų šiluminių savybių pagerinimui.

Adsorbentas – tai medžiaga, skirta drėgmei sumažinti stiklo paketo viduje. Adsorbentas įterpiamas į distancinį rėmelį.

Pirminis sandariklis – butilas (poliizobutilenas) naudojamas jau užpildyto adsorbentu distancinio rėmelio šonų padengimui bei suklijavimui su stiklu. Tai medžiaga, užtikrinanti paketo hermetiškumą, apsauganti gaminį nuo drėgmės patekimo bei dujų nutekėjimo.

Antrinis sandariklis – išorinis sandariklis (polisulfidas) skirtas mechaniniam stiklo paketo sutvirtinimui bei hermetiškumo užtikrinimui.

Tarpas tarp stiklų gali būti užpildytas šiomis dujomis: oru, argonu, kriptonu, SF₆, dujų mišiniu.

3.1. Stiklo paketų rūšys

Stiklo paketo pagrindinės funkcijos - apsaugoti būstą nuo šalčio, triukšmo, dulkių, saulės spindulių. Pagal tai jie skirstomi į tokias rūšis:

- izoliuojantys šilumą;
- kontroliuojantys saulės poveikį;
- izoliuojantys garsą;

Stiklo paketai gali būti skirstomi ir pagal juose naudojamo stiklo rūšį:

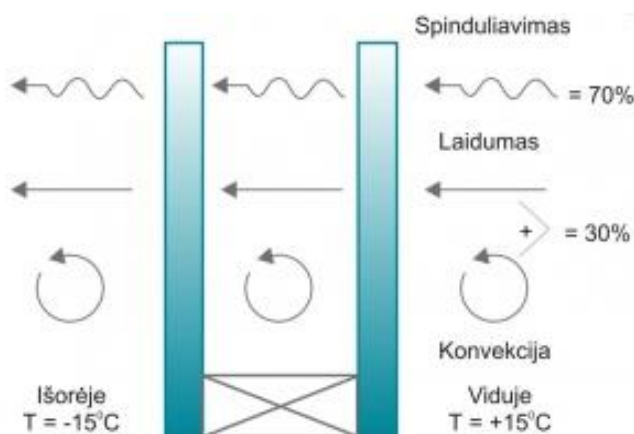
- paprastas stiklas (du stiklai yra sulydomi, o viduje įdedama 16 mm. aliuminio juosta);
- selektyvinis stiklas - tai stiklas, kuris yra padengtas akimi beveik nematomu metalų ir metalų oksidų sluoksniu [14].

3.2. Terminės stiklo paketų savybės

Vertinant įstiklinimą energijos taupymo požiūriu, lemiamą vaidmenį vaidina tai, koku būdu vyksta šilumos mainai per stiklo paketą.

Didžiausia dalis iš patalpos išeinančios šilumos patenka ant vidinio stiklo paketo stiklo paviršiaus, kuris ją absorbuoja. Absorbuota šiluma, šilumos laidumo dėka, patenka ant vidinio

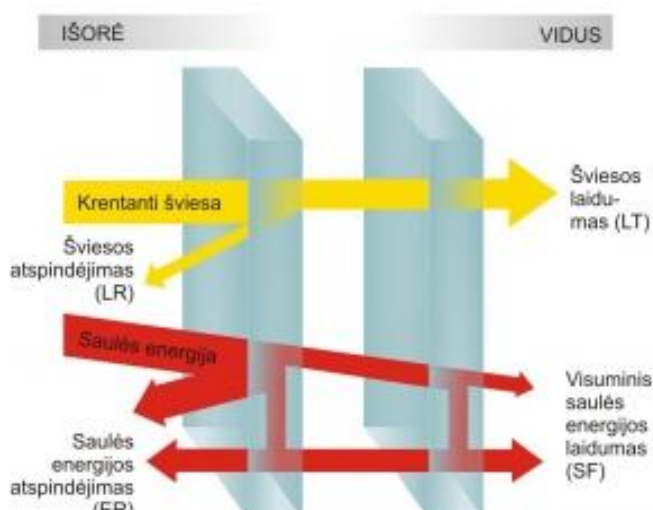
stiklo paviršiaus, besiribojančio su ertme tarp stiklų (sluoksnių). Iš ten šiluma sklinda spinduliavimu, laidumu ir konvekcija (3 pav.).



3 pav. Šilumos perdavimas per standartinį stiklo paketą

Stiklo pakete su paprastais stiklais (be dangos) šilumos perdavimas įvyksta dėl šilumos spinduliavimo ($\approx 70\%$) ir dėl šilumos laidumo bei konvekcijos (kartu paėmus $\approx 30\%$).

Didžiausia dalis išspinduliuojama į tarpą tarp stiklų ir patenka vėl ant išorinio stiklo. Kita dalis tarp stiklų esančių dujų molekulių ir atomų pagalba šilumos laidumo būdu transportuojama link išorinio stiklo. Likusioji dalis patenka nuo vidinio stiklo prie išorinio dėl dujų judėjimo tarp stiklų (konvekcijos). Šilumos perdavimas per stiklo paketo išorinį stiklą vyksta pagal tą pačią schemą, pateiktą šilumos perdavimui per vidinį stiklą (4 pav.).



4 pav. Šilumos perdavimas per vidinį stiklą.

Šviesos laidumo koeficientas (LT) – tai į patalpą patekusios šviesos santykis su krentančiu šviesos srautu. Šviesos atspindėjimo koeficientas (LR) – tai atspindėtos į išorę šviesos santykis su krentančiu šviesos srautu. Visuminis saulės energijos pralaidumas (SF) – tai visa saulės energijos dalis, patenkanti į patalpos vidų. Tai yra tiesiogiai perduotos ir absorbuotos bei atspindėtos į patalpų vidų saulės energijos suma.

Selektyvinės dangos sumažina šilumos nuostolius dėl spinduliavimo, o inertinės dujos - argonas, kriptonas ir kitos, įtakoja šilumos nuostolius dėl laidumo ir konvekcijos [14].

4. Pastatų energijos poreikiai ir pasyviojo saulės panaudojimo principai

Pastatuose energija naudojama siekiant palaikyti optimalų mikroklimatą ir gyvenimo ar darbo sąlygas. Lietuvoje tam reikalinga tiek šiluminė, tiek elektros energija. Priklausomai nuo pastato tipo, šiluminės energijos poreikiai labai skiriasi. Pastatų skirstymas pagal energijos sąnaudas atsirado kaip palaipsnio perėjimo prie labai efektyvių namų statybos proceso išraiška. Pagal metines energijos sąnaudas jie skirstomi į kelias grupes (4.1 lentelė). Mažai energijos naudojančių pastatų bendras metinis šilumos poreikis neviršija 85 kWh/m² [15].

4.1 lentelė. Pastatų šiluminės energijos poreikis ir šilumos nuostoliai per metus

Pastato tipas	Nuostoliai per atitvaras kWh/m²	Energijos poreikis vandeniui šildyti kWh/m²	Nuostoliai dėl vėdinimo kWh/m²	Bendras metinis šilumos poreikis kWh/m²	Energinio naudingumo klasė
Seni	160-300	15	50	225-365	D, E, F, G
Šiuolaikiniai	80	15	50	145	C
Mažai energijos naudojančys	35	15	35	85	A*, B
Pasyvieji	10	15	5	30	A*
Energiją gaminantys (EnergyPlus)	Energijos iš atsinaujinančių išteklių pastate pagaminama daugiau, nei suvartojama				A
*- kai naudojama atsinaujinančių išteklių energija					

Projektuojant, statant ir naudojant mažai energijos naudojančius pastatus svarbu:

1. Kompaktiška pastato forma (sumažinamas paviršių, per kuriuos netenkama šilumos plotas).
2. Gerai apšiltintos ir sandarios atitvaros.
3. Šiluminių tiltelių sumažinimas rūpestingai sudūrus konstrukcijas.
4. Pasyvusis (tiesioginis) saulės energijos naudojimas pro langus.
5. Laikinas langų apšiltinimas naktį naudojant langines, žaliuzes, storas užuolaidas.
6. Vėdinimo sistema su šilumogrąža.
7. Paprastai reguliuojama šildymo sistema.
8. Aktyvus saulės ir vėjo energijos naudojimas (vandens šildymas saulės kolektoriuose, saulės fotoelementai ar vėjo jėgainė elektros energijai, šilumai gaminti).
9. Taupus elektros energijos naudojimas (A ir aukštesnės klasės buitinė įranga, energiją taupančios lemputės, maksimalus natūralaus apšvietimo naudojimas, kt.).

Gerai apšiltinus pastatus, pasiekama dvejopa nauda: sumažėja šilumos poreikis, todėl tampa racionalu ir ekonomiškai padidinti saulės energijos dalį bendrajame energijos balanse. Saulės energijos naudojimas pastatuose ypatingas tuo, kad saulės energija - fiksuotos galios šaltinis, priklausantis nuo geografinės platumos, klimato sąlygų. Kai pastatui įšildyti reikia nedaug energijos, nes jis gerai apšiltintas ir neprarandama daug šilumos per atitvaras, patalpas šildo net nedidelis saulės spindulių srautas, procentinė saulės energijos panaudojimo dalis bendrajame šilumos balanse tampa didesnė nei tada, kai pastato šildymo poreikis didelis. Laikantis išvardintų principų, panašiomis į Lietuvos klimato sąlygomis galima sutaupyti 1/3–2/3 patalpoms šildyti reikalingos energijos. Pasaulinėje praktikoje yra pavyzdžių, kai pasyviuosiuose pagal saulės architektūros principus pastatytuose pastatuose visai nereikalinga šildymo sistema [13].

Lietuvoje šildymo sezonas prasideda spalio mėnesį ir baigiasi balandžio mėnesį, maksimalių energijos sąnaudų pareikalaudamas sausio ir vasario mėnesiais. Tuo metų laiku saulės spinduliavimo intensyvumas yra kaip tik pats mažiausias. Pasyviajam šildymui visai neaktualus saulės energijos naudojimas nešildymo sezono metu, bet aktualus maksimalus jos išnaudojimas tik šildymo sezono metu, t. y. mažiausio saulės spinduliavimo periodu.

Šiuo požiūriu analizuojant saulės spinduliavimo metinio kitimo kreives, išryškėja viena labai svarbi aplinkybė. Spalio, lapkričio, gruodžio, sausio ir vasario mėnesiais Saulės spinduliavimo intensyvumo kreivė į vertikalią plokštumą, orientuotą pietų kryptimi, praktiškai sutampa su kreive į plokštumą, orientuotą optimaliu kampu.

Tai labai svarbi savybė, kadangi vertikali plokštuma – pastato fasadinė siena tampa pagrindine pasyviojo šildymo sistemos dalimi. Kartu tampa nesvarbi šildymo objekto orientavimo erdvėje problema, reikalaujanti ne tik papildomų techninių sprendimų, bet ir nemažų ekonominių sąnaudų.

Spinduliavimo intensyvumas į vertikalių namo fasadą priklauso ir nuo jo orientavimo pasaulio šalių atžvilgiu. Kaip rodo matavimai, žiemą vertikali plokštuma, orientuota 30° kampu į rytus ar vakarus nuo pietų krypties, gauna daugiau energijos negu orientuota tiksliai į pietus. Labai svarbus veiksnys tas, kad siena, netgi atsukta į šiaurę gauna beveik 70% sienos energijos, atsuktos į pietus [16].

Bendrus pasyviojo saulės šildomo namo projektavimo principus galima suformuluoti taip:

- Gera šildomų patalpų šilumos izoliacija ir minimalūs oro nutekėjimai į išorę, kad būtų minimizuoti šilumos nuostoliai;
- Namas turi būti orientuotas fasadu į pietus ir turėti maksimalų fasado plotą;
- Namo įstiklinimas turi būti koncentruotas pietiniame fasade;
- Namas žiemą neturi patekti į kitų namų ar statinių šešėlius;
- Namo viduje turi būti maksimaliai panaudotos šilumą sugeriančios, ją išsaugančios ir patalpos temperatūros svyravimus išlyginančios masės [15].

Išsiaiškinus pagrindinius pasyviojo saulės panaudojimo principus, šiame baigiamajame darbe tolesniuose skaičiavimuose bus modeliuojami šilumos ir šalčio poreikių skaičiavimai, atsižvelgiant į pasyviojo saulės panaudojimo principus.

5. Darbo tikslas

Šio magistrinio darbo tikslas – išanalizuoti šilumos režimo formavimąsi pasirinktuose pastatuose su dideliais įstiklintais fasadais, įvertinti šildymo ir vėsinimo energijos sąnaudas priklausomai nuo fasado orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu, nuo skirtingų stiklo paketų optinių ir šiluminių savybių, išanalizuoti pasyvių energiją taupančių priemonių įtaką energijos poreikiams.

6. Nagrinėjamųjų objektų apibūdinimas

6.1. Automobilių salono pagrindinės charakteristikos

Pirmasis tyrimo objektas - Šiaulių automobilių salono pastato dalis su dideliu įstiklintųjų atitvarų plotu, kurio nuotrauka pateikia 5 pav. Bendras patalpų plotas - 1125,7 m², kurį sudaro ekspozicijų salė ir administracinės patalpos. Įstiklintųjų paviršių plotas - 450 m². Pagrindinis pastato fasadas orientuotas į rytus, o apsaugai nuo saulės naudojamos išorinės aliuminės žaliuzės. Stiklo paketų šilumos perdavimo koeficientas $U = 1.4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, o visuminės saulės energijos praleisties faktorius $g = 0.61$. Aliuminio profilių šilumos perdavimo koeficientas $1,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, langų ir profilio santykis 90 - 10 %. Kitų pastato elementų šilumos perdavimo koeficientai atitinka norminius, pateiktus standarte [17]. Patalpose nustatyta 20 °C temperatūra šildymo sezono metu ir 24 °C vėsinimo sezono metu. Nagrinėjamojo objekto planas pateiktas A.1. priede.



5 pav. Automobilių salonas Šiauliuose

Taip pat šiam objektui buvo atliktas energetinis sertifikavimas, naudojantis [18,19]. Pastato energinio naudingumo įvertinimas, kvalifikacinis rodiklis ir energinio naudingumo klasė pateikta 6 pav.

6 pav. Pastato energinio naudingumo įvertinimas

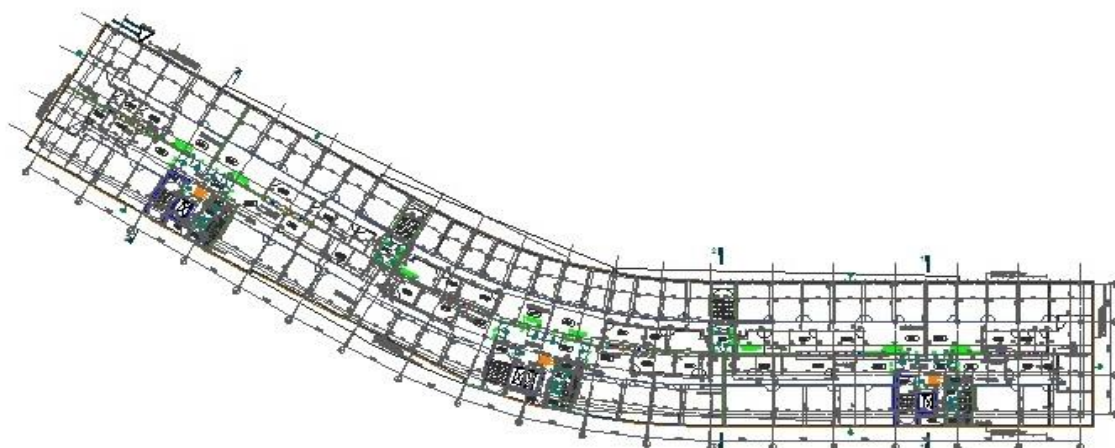
Skaičiavimo rezultatai				
Pastato energinio naudingumo įvertinimas				
Kvalifikacinis rodiklis C: 1.11 C				
Energinio naudingumo klasė:				
Eil. Nr.	Energijos sąnaudų apibūdinimas	Norminės energijos sąnaudos, kWh/(m²×metai)	Atskaitinės energijos sąnaudos, kWh/(m²×metai)	Skaičiuojamosios energijos sąnaudos, kWh/(m²×metai)
1	Šilumos nuostoliai per pastato sienas	9,25	19,38	8,15
2	Šilumos nuostoliai per pastato stogą	16,17	30,59	16,47
3	Šilumos nuostoliai per pastato perdangas, kurios ribojasi su išore	0,00	0,00	0,00
4	Šilumos nuostoliai per pastato perdangas virš nešildomų rūšių ir pogrindžių	0,00	0,00	0,00
5	Šilumos nuostoliai per atitvaras, kurios ribojasi su gruntu:	0,00	0,00	0,00
5.1	- per grindis ant grunto	0,00	0,00	0,00
5.2	- per horizontaliai pakraščiuose apšiltintas grindis ant grunto	16,82	28,58	16,52
5.3	- per vertikaliai pakraščiuose apšiltintas grindis ant grunto	0,00	0,00	0,00
5.4	- per vertikaliai ir horizontaliai pakraščiuose apšiltintas grindis ant grunto	0,00	0,00	0,00
5.5	- per šildomo rūšio atitvaras, kurios ribojasi su gruntu	0,00	0,00	0,00
6	Šilumos nuostoliai per pastato langus	83,94	102,42	64,28
7	Šilumos nuostoliai per pastato išorines įėjimo duris, neįskaitant nuostolių dėl dur...	4,05	4,64	2,97
8	Šilumos nuostoliai per pastato ilginis šiluminis tiltelius	8,95	16,49	2,80
9	Šilumos nuostoliai dėl išorinių įėjimo durų varstymo	0,00	0,00	0,71
10	Energijos sąnaudos pastato vėdinimui	24,04	24,04	30,55
11	Šilumos nuostoliai dėl viršnorminės išorės oro infiltracijos	0,00	111,29	64,36
12	Šilumos pritekėjimai į pastatą iš išorės	-38,65	-38,65	-38,65
13	Vidiniai šilumos išsiskyrimai pastate	-47,52	-47,52	-47,52
14	Elektros energijos suvartojimas pastate	0,00	0,00	24,00
15	Energijos sąnaudos karštam vandeniui ruošti	0,00	0,00	12,50
16	Pastato suminės energijos sąnaudos neįvertinus šildymo sistemos efektyvumo	114,24	288,45	157,14
17	Pastato suminės energijos sąnaudos įvertinus šildymo sistemos efektyvumą	147,56	329,47	167,46

Matome, kad skaičiuojamosios energijos sąnaudos sudaro 167,46 kWh/m², t.y. atitinka C energinio naudingumo klasę.

6.2 Administracinių patalpų pagrindinės charakteristikos

Antrasis nagrinėjamas objektas - administracinio pastato Vilniuje dalis - penktasis aukštas, kurio planas pateiktas 7 pav. Bendras patalpų plotas sudaro 2042 m², didžiausio įstiklintojo ploto fasadas orientuotas į rytus. Skaidrių atitvarų plotas sudaro 508 m². Apsaugai nuo saulės naudojamos patalpos viduje esančios žaliuzės. Sumontuoti stiklo paketai Sun Guard HP Silver 43, kurių šilumos perdavimo koeficientas $U = 1.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, o visuminės saulės energijos praleisties faktorius $g = 0.31$. Aliuminio profilių šilumos perdavimo koeficientas $1,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, langų ir profilio santykis 90 - 10 %. Kitų pastato elementų šilumos perdavimo koeficientai atitinka norminius, pateiktus standarte [17]. Patalpose nustatyta 20 °C temperatūra

šildymo sezono metu ir 24 °C vėsinimo sezono metu. Nagrinėjamojo objekto planas pateiktas A.2. priede.



7 pav. Administracinės patalpos Vilniuje

7. Energijos poreikių skaičiavimo metodikos

7.1. Šilumos poreikių skaičiavimas pagal STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui

Nagrinėjamųjų objektų projektiniai šilumos poreikiai šildymui buvo skaičiuojami pagal šiuo metu galiojantį STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui [20].

Patalpos projektiniai savitieji šilumos nuostoliai, H , W/K, nustatomi:

$$H = H_{en} + H_v; \quad (1)$$

čia:

H_{en} – patalpos projektiniai atitvarų savitieji šilumos nuostoliai W/K;

H_v – projektiniai savitieji vėdinimo šilumos nuostoliai W/K;

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

$$H_{en} = \Sigma H_{el} + \Sigma H_{\psi} + \Sigma H_g; \quad (2)$$

čia:

ΣH_{el} – atitvarų, išskyrus besiribojančių su gruntu, savitųjų šilumos nuostolių suma W/K;

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

ΣH_g – projektiniai savitieji atitvarų, besiribojančių su gruntu, šilumos nuostoliai W/K;

Patalpos projektiniai savitieji vėdinimo šilumos nuostoliai H_v , W/K, skaičiuojami:

$$H_v = \Sigma H_{ev} + \Sigma H_{in} + \Sigma H_{nv} + \Sigma H_{de}; \quad (3)$$

čia:

H_{ev} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl priverstinės vėdinimo sistemos veikimo W/K.

H_{in} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl išorės oro infiltracijos W/K.

H_{nv} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl natūralaus vėdinimo sistemos veikimo W/K.

H_{de} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl išorinių durų varstymo W/K.

Mėnesio projektinis šilumos poreikis patalpos šildymui Q_h , kWh, nustatomas:

$$Q_h = Q_{en} + Q_v - \eta_o \cdot Q_{hg}; \quad (4)$$

čia:

Q_{en} – mėnesio šilumos poreikis projektiniams šilumos nuostoliams per atitvaras padengti, kWh.

Q_v – mėnesio šilumos poreikis projektiniams šilumos nuostoliams dėl vėdinimo padengti, kWh.

Q_{hg} – mėnesio projektinis šilumos prietėkis į patalpą, kWh.

η_o – koeficientas, įvertinantis į patalpą patenkančios šilumos suvartojimo dalį.

Per mėnesį į patalpą per skaidrias atitvaras dėl saulės spinduliuotės patenkantis šilumos srautas Φ_{sg} , W, nustatomas:

$$\Phi_{sg} = \Sigma (q_{s,j} \cdot g \cdot A_{gl} \cdot a); \quad (5)$$

čia:

$q_{s,j}$ – atitinkamo metų mėnesio paros vidutinis suminis saulės spinduliuotės šilumos srauto tankis į atitinkamos orientacijos paviršių, W/m² ;

g – atitinkamos skaidrios atitvaros visuminės saulės spinduliuotės praleisties koeficientas ;

A_{gl} – atitinkamos skaidrios atitvaros plotas, m² (jei nėra žinoma – $A_{gl} = 0,8 \cdot A$; čia A – angos plotas, nustatomas pagal mažiausius angos matmenis);

a – pataisa dėl atitinkamos skaidrios atitvaros užtemdymo:

$$a = 0,9 \cdot F_H \cdot F_C ; \quad (6)$$

čia:

F_H – koeficientas, įvertinantis skaidrių atitvarų užtemdymą dėl šalia esančių pastatų ir medžių; jei nėra duomenų, $F_H = 0,8$;

F_C – koeficientas, įvertinantis apsaugos nuo saulės priemonių poveikį.

Per mėnesį į patalpą per skaidrias atitvaras patenkantis projektinis šilumos kiekis dėl saulės spinduliuotės Q_{sg} , kWh, nustatomas:

$$Q_{sg} = \Phi_{sg} \cdot t \cdot 24 \cdot 10^{-3}; \quad (7)$$

čia:

Φ_{sg} – mėnesio projektinis šilumos pritekėjimas į patalpą dėl saulės spinduliuotės, W,
 t – šildymo trukmė per mėnesį, paromis.

Per mėnesį į patalpą patenkantis projektinis šilumos srautas iš vidinių šilumos šaltinių Φ_{ig} , W, nustatomas:

$$\Phi_{ig} = A_p \cdot (q_{el} + q_p) + \Phi_{em} + \Phi_{eq} + \Phi_{hc}; \quad (8)$$

čia:

A_p – patalpos plotas, m²;

q_{el} – elektrinio apšvietimo sistemos ir buitinių elektros prietaisų skleidžiamos šilumos srauto tankis patalpos grindų ploto vienetui, W/m².

q_p – žmonių skleidžiamos šilumos srauto tankis patalpos grindų ploto vienetui, W/m².

Φ_{em} – elektros variklių skleidžiamas šilumos srautas, W.

Φ_{eq} – pramonės įmonių technologinių įrenginių skleidžiamas šilumos srautas, W.

Φ_{hc} – rankšluosčių džiovintuvų ir karšto vandens vamzdinių patalpoje skleidžiamas šilumos srautas, W.

Šilumos srauto tankiai q_{el} , q_p , W/m², apskaičiuojami pagal formules:

$$q_{el} = f_{el} \cdot q_{el,0} \quad (9)$$

$$q_p = f_p \cdot q_{p,0} \quad (10)$$

čia:

$q_{el, 0}$ – vidutinis elektrinio apšvietimo ir buitinių elektros prietaisų skleidžiamos šilumos srauto tankis, W/m^2 ;

$q_{p, 0}$ – žmonių skleidžiamos šilumos srauto tankis, W/m^2 ;

f_{el} ir f_p – atitinkamai pataisa dėl metų laiko, įvertinanti metų laiko įtaką.

Projektinis šilumos poreikis pastato šildymui per mėnesį Q_m , kWh, nustatomas:

$$Q_m = \sum \frac{Q_{hs}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4}; \quad (11)$$

čia:

Q_{hs} – projektinis šilumos poreikis patalpos šildymui per mėnesį, kWh.

η_1 – šildymo sistemos reguliavimo įtaisų naudingumo koeficientas;

η_2 – šilumos šaltinio naudingumo koeficientas;

η_3 – pastato šildymo sistemos magistralinių skirstomųjų vamzdinių termoizoliacijos naudingumo koeficientas;

η_4 – šildymo sistemos hidraulinio suderinimo įrangos naudingumo koeficientas.

Projektinis metinis šilumos poreikis pastato šildymui Q_a , kWh, nustatomas sudedant visų mėnesių projektinius šilumos poreikius šildymui:

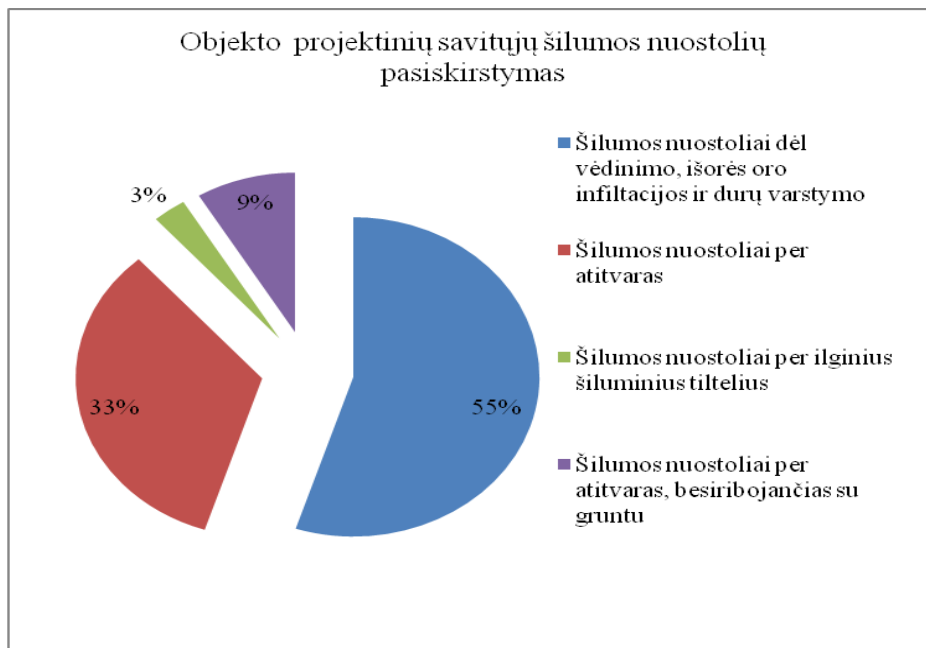
$$Q_a = \sum Q_m; \quad (12)$$

čia:

Q_m – mėnesio projektinis šilumos poreikis pastatui šildyti, kWh.

7.1.1. Automobilių salono šilumos nuostolių struktūra

Pateikiamas nagrinėjamojo objekto projektinių šilumos nuostolių pasiskirstymas. Objekto šilumos poreikių skaičiavimo apibendrinimas pateiktas B.1. priede.

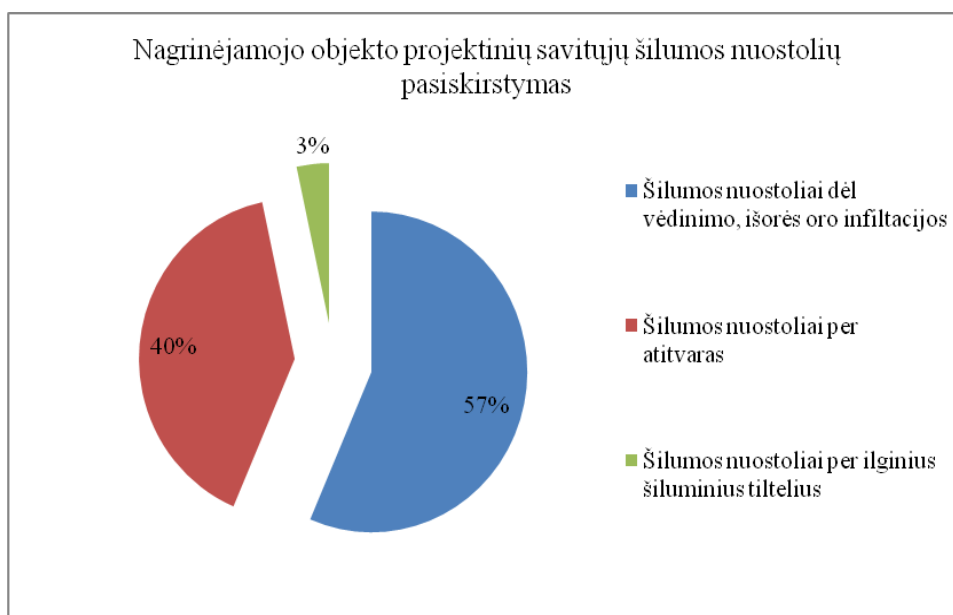


8 pav. Automobilių salono pastato dalies šilumos nuostolių struktūra

Iš 8 paveikslą matome, kad didžiausi šilumos nuostoliai susidaro dėl vėdinimo, išorės oro infiltracijos ir durų varstymo.

7.1.2. Administracinių patalpų šilumos nuostolių struktūra

Administracinių patalpų projektiniai šilumos nuostoliai pateikiami 9 pav.



9 pav. Administracinių patalpų šilumos nuostolių pasiskirstymas

Iš 9 pav. matome, kad didžiausieji šilumos nuostoliai kaip ir anksčiau nagrinėtame objekte, susidaro dėl vėdinimo ir išorės oro infiltracijos. Objekto šilumos poreikių skaičiavimo apibendrinimas pateiktas B.1. priede.

7.2. Vėsinimo poreikių skaičiavimo metodika

Nagrinėjamojo objekto vėsinimo galia nustatoma sudarant šilumos pritekėjimų balansą, o metiniai vėsinimo poreikiai analizuojami numčius tam tikras prielaidas. Automobilių salono darbo laikas nustatytas nuo 10 – 19 h šešias dienas per savaitę. Administracinių patalpų 9 - 18 h, penkias dienas per savaitę. Skaičiavimams pasitelkta LSPI programa [21].

Nustatant vėsinimo galią, sudaromas šilumos pritekėjimų balansas – įvertinami visi šilumos pritekėjimai į patalpas:

$$\Phi_{\text{šil}} = \Phi_{\text{vid}} + \Phi_{\text{rad}} + \Phi_{\text{ved}} \quad (13)$$

čia:

Φ_{vid} – į patalpą patekusi šiluma nuo dirbtinio apšvietimo, buitinių prietaisų ir žmonių metabolizmu išspinduliuotas šilumos srautas, kW;

Φ_{rad} – dėl saulės radiacijos į patalpą patekusi šiluma, kW; (skaičiavimuose naudojama maksimali šilumos srauto reikšmė kiekvienai orientacijai per vieną darbo pamainą);

Φ_{ved} – į patalpą patekusi šiluma su tiekiamu šviežiu oru, kW;

$$\Phi_{\text{ved}} = L \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \quad (14)$$

čia:

L – į patalpą tiekiamas oro kiekis, m³/h;

c – savitoji oro šiluma, Wh /m³ K;

ρ – oro tankis, kg/m³;

Δt – išorės ir vidaus oro temperatūrų skirtumas, °C;

Didžiausią šilumos balanso dalį sudaro šilumos pritekiai dėl saulės spinduliuotės per įstiklintuosius paviršius. Šiluma į patalpą pro langus patenka tiesiogiai saulei apšvietus ir kartu su išsklaidytais, Žemės bei pastatų atspindėtais spinduliais, taip pat, kaip ir pro masyvias atitvaras, dėl lauko ir vidinės temperatūros skirtumo [22].

Šilumos srautas, patekęs pro įstiklintus paviršius skaičiuojamas pagal šią formulę:

$$Q = (q_0' \cdot A_l' + q_0'' \cdot A_l'') \cdot a + \frac{(t_1 - t_v) \cdot A_l}{R_0} \quad (15)$$

čia:

a - koeficientas įvertinantis langų užtemdymo priemonės;

t_l – vidutinė lauko oro temperatūra Liepos mėnesį;

t_v – patalpos temperatūra ;

A_l', A_l'' – apšviesto ir neapšviesto lango plotas [m^2];

A_l – visas lango plotas [m^2]

q_0', q_0'' – šilumos srautas per apšviestą ir neapšviestą langą [W/m^2];

Tiesioginio ir išsklaidytojo Saulės spinduliavimo intensyvumas randamas atsižvelgus į atitvaros padėtį, geografinę platumą, paros ir metų laiką.

Šilumos srautas per apšviestą ir neapšviestą lango plotą skaičiuojama pagal formules:

$$q_0' = (q_{vt} + q_{vi}) \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (16)$$

$$q_0'' = q_{vi} \cdot k_1 \cdot k_2; \quad (17)$$

čia:

q_{vt} – šilumos srauto tankis tiesioginių saulės spindulių [$kcal/h$];

q_{vi} - šilumos srauto tankis išsklaidytų saulės spindulių [$kcal/h$];

k_1 – koeficientas visuminį saulės praleistį;

k_2 - koeficientas įvertinantis lango užterštumą.

Lietuvos klimato sąlygomis pro sienas patenkantis šilumos srautas yra nereikšmingas. Masyvių atitvarų šiluminė varža ir šiluminė inercija yra daug didesnė už langų. Dėl atitvarų šiluminės inercijos atitvarų sukaupta šiluma patenka į patalpą pavėluotai – šilumos srautas atsilieka nuo Saulės spinduliavimo srauto. Atliekant skaičiavimus pagal pateiktą metodiką, buvo

nevertinami šilumos pritekiai per sienas, tačiau, naudojantis LSPI programa, apskaičiuoti pritekiai per sutapdintą stogą, taip pat šilumos pritekiai nuo žmonių, apšvietimo ir techninių įrenginių. Buvo priimta, kad pirmajame objekte dirba 20 žmonių, antrajame 180 žmonių. Kadangi monitorius gali išspinduliuoti nuo 20 iki 110 W šilumos, kompiuterio procesorius nuo 60 iki 230W šilumos [23]. Žmonių metabolizmu išspinduliuotas šilumos kiekis lengvam darbui kompiuteriu 120W [24]. Todėl buvo priimta 220 W vienai darbo vietai. Į patalpą patekusi šiluma nuo dirbtinio apšvietimo – 40 W vienam šviestuvui. Detalūs vėsinimo poreikių skaičiavimai pateikti B.2. ir B.3. prieduose.

8. Nagrinėjamųjų objektų energijos poreikių analizė

Pastato šilumos poreikių skaičiavimų modeliavimo tikslas - nustatyti kaip įvairių faktorių – stiklo paketų šiluminių ir optinių savybių, skirtingos didžiausio įstiklintojo fasado orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu gali įtakoti energijos poreikių rezultatus.

Pasirinkti 5 šilumos ir šalčio poreikių analizės variantai:

1. Šilumos poreikių modeliavimas, esant skirtingoms apsaugos nuo saulės priemonėms;
2. Šilumos poreikių modeliavimas, keičiant didžiausio įstiklintojo fasado orientaciją;
3. Šilumos poreikių modeliavimas, keičiant stiklo paketų šilumines ir optines savybes.
4. Šilumos ir šalčio poreikių kitimo dėsningumas priklausomai nuo stiklo paketų šilumos perdavimo koeficiento;
5. Šilumos ir šalčio poreikių kitimo dėsningumas priklausomai nuo stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriaus.

8.1. Šilumos ir šalčio poreikių analizė, esant skirtingoms apsaugos nuo saulės priemonėms

Apsaugos nuo saulės vasarą problema – aktualiausia patalpose su dideliais langais ar įstiklintaisiais fasadais. Infraraudonieji spinduliai, kurie kartu su kitais spinduliais beveik netrukdomai pereina stiklo paketą - išildo visą patalpą. Norint išlaikyti optimalią patalpų oro temperatūrą, tenka patalpų orą vėsinti. Todėl analizuojamosios apsaugos nuo saulės priemonės nagrinėjamajame objekte aktualesnės ir naudingos tik šiltuoju sezonu, kai reikalingas patalpų vėsinimas.

Nagrinėjamajam objektui buvo sumodeliuoti 4 galimi variantai (8.1 lentelė):

- kai pastato išorėje sumontuotos žaliuzės;
- kai naudojami stogeliai, lodžijos, markizės;
- kai naudojamos kitos patalpos viduje arba tarp stiklų esančios priemonės;
- kai nenaudojamos apsaugos nuo saulės priemonės.

8.1 lentelė. Metiniai šildymo ir vėsinimo poreikiai, naudojant skirtingas apsaugos nuo saulės priemones

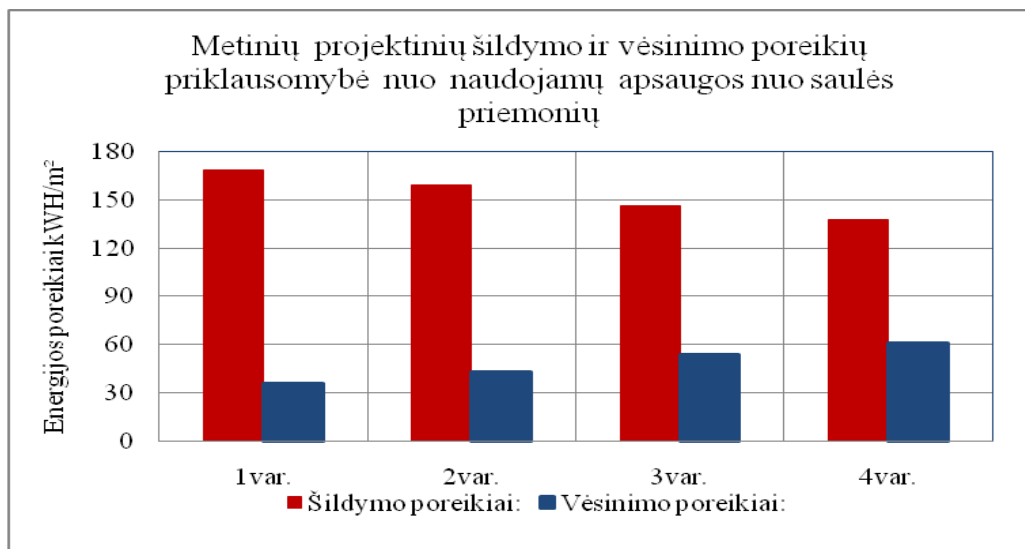
	Aprašymas	1-ojo objekto skaičiavimų rezultatai				2-ojo objekto skaičiavimų rezultatai			
		Q _{šild.} kWh/ m ²		Q _{ves.} kWh/ m ²		Q _{šild.} kWh/ m ²		Q _{ves.} kWh/ m ²	
1 var.	Pastato išorėje sumontuotos apsauginės žaliuzės	135	100 %	36	59 %	78	100 %	51	80 %
2 var.	Naudojami stogeliai, lodžijos, markizės	126	93 %	43	71 %	75	96 %	54	84 %
3 var.	Naudojamos patalpos viduje arba tarp stiklų esančios priemonės	113	84 %	54	89 %	71	91 %	60	94%
4 var.	Nėra jokių apsaugos nuo saulės priemonių	104	77 %	61	100 %	69	89 %	64	100 %

Atlikus modeliavimą nustatyta, kad efektyviausia apsaugos nuo saulės priemonė – išorinės žaliuzės, kurios leidžia sutaupyti iki 41 % vėsinimo poreikių, bet rezultatas bus atvirkščias šildymo poreikiams (8.1 lentelė) – išorinės žaliuzės sumažina saulės pritekį į patalpą žiemą ir iki 23 % padidina projektinius šilumos poreikius šildymui. Tačiau išorines žaliuzes galima automatizuoti ir per jas pagal poreikį reguliuoti į pastatą patenkančius šilumos pritekį. Sumontuotos lodžijos, stogeliai ir markizės iki 7 % padidina projektinius šildymo poreikius šildymui ir 29 % sumažina vėsos poreikius. Naudojant apsaugos nuo saulės priemones patalpos viduje ar tarp stiklų, šilumos poreikis padidėja iki 16 %, o vėsos poreikis sumažėja iki 11 %.

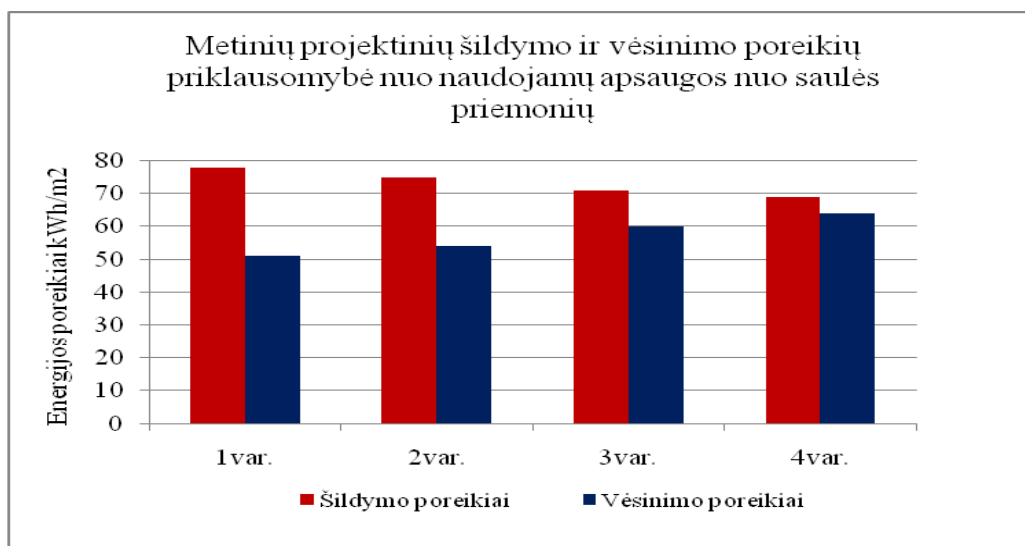
Iš pateiktų grafinių skaičiavimų išraiškų (10, 11 pav.) matyti, kad naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių efektyvumas yra didesnis automobilių salone. Pastarajame maksimalus vėsinimo poreikių sutaupymas yra iki 41%, tuo tarpu administracinėse patalpose tik iki 20%. To

priežastis yra skirtingi įstiklintų paviršių plotai, bei skirtingos objektuose sumontuotų stiklo paketų optinės savybės – automobilių salone visuminės saulės energijos pralaidumas (61%), administracinėse patalpose (31%). Taip pat skirtingos patalpų paskirtys – administracinėse patalpose didesniąją šilumos pritekių sudaro pritekėjimai nuo vidinių šilumos šaltinių, darbo vietų skaičiaus.

10 pav. Automobilių salono energijos poreikių priklausomybė nuo naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių



11 pav. Administracinių patalpų energijos poreikių priklausomybė nuo naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių



8.2. Šilumos ir šalčio poreikių analizė, keičiant didžiausio įstiklintojo fasado orientaciją

Optimali didžiausio įstiklintojo fasado orientacija pasaulio šalių atžvilgiu gali būti traktuojama kaip pasyvusis saulės energijos panaudojimas arba pasyvioji energijos taupymo priemonė. Modeliuojant 8 skirtingas didžiausio įstiklintojo fasado orientacijas pasaulio šalių atžvilgiu bei atsižvelgus į naudojamą apsaugos nuo saulės priemones, gautieji rezultatai rodo (8.2 lentelė), kad mažiausi šilumos poreikiai bus pasirinkus pietinę pagrindinio fasado orientaciją ir nenaudojant jokių apsaugos nuo saulės priemonių. Akivaizdu, kad šilumos poreikiai laipsniškai didėja, naudojant efektyvesnes apsaugos nuo saulės priemones.

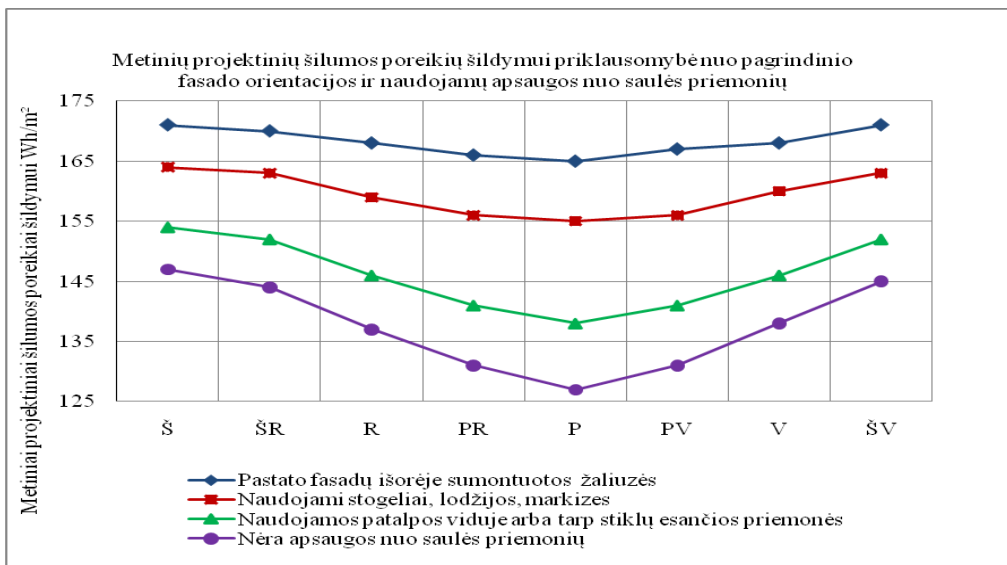
8.2 lentelė. Metinių projektinių šilumos poreikių šildymui priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių

Orientacija	Metiniai projektiniai šilumos poreikiai šildymui $Q_{\text{šild. kWh/ m}^2}$							
	1-ojo objekto skaičiavimų rezultatai				2-ojo objekto skaičiavimų rezultatai			
	<i>Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės</i>				<i>Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės</i>			
	<i>1var.</i>	<i>2var.</i>	<i>3var.</i>	<i>4var.</i>	<i>1var.</i>	<i>2var.</i>	<i>3var.</i>	<i>4var.</i>
Š	138	131	121	114	78	76	72	70
ŠR	137	129	118	111	78	76	72	70
R	135	126	113	104	78	75	71	69
PR	133	123	107	97	77	75	70	67
P	132	121	105	94	77	74	70	67
PV	133	123	108	98	78	75	71	68
V	135	126	113	104	78	75	72	69
ŠV	137	130	119	112	78	76	72	70

Lygindami apsaugos nuo saulės priemonių įtaką, matome, kad skirtumas tarp išorėje sumontuotų žaliuzių ir nenaudojimo jokių apsaugos nuo saulės priemonių nagrinėjamosioms orientacijoms sudaro 14–29 %. Maksimalus skirtumas būtų pietinėje

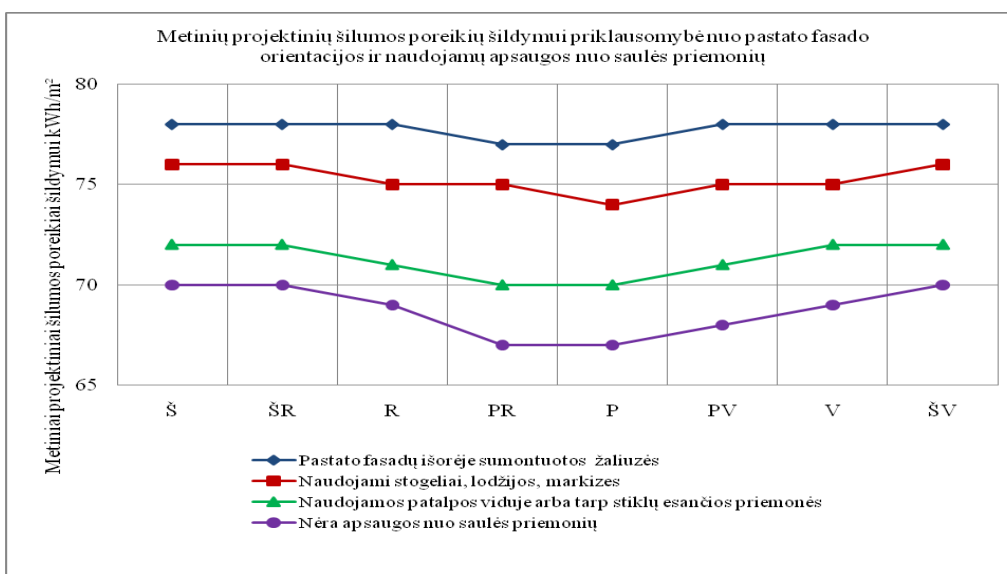
orientacijoje, minimalus – šiaurinėje. Žemiau pateikiama grafinė gautų rezultatų išraiška (12, 13 pav.).

12 pav. Automobilių salono projektinių šilumos poreikių šildymu priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių



Iš 12 pav. matome, kad kuo efektyvesnės apsaugos nuo saulės priemonės naudojamos, tuo mažesnė fasado orientacijos įtaka, nes vis mažesni šilumos pritekiai, kurių intensyvumas šaltuoju metų periodu ir taip nedidelis. Todėl jei fasado išorėje yra sumontuotos išorinės žaliuzės, keisdami fasado orientaciją sutaupytume 4 - 15 % šilumos energijos.

13 pav. Administracinių patalpų projektinių šilumos poreikių šildymu priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių



Iš 13 pav. matome, kad naudojant patalpos viduje arba tarp stiklų esančias priemones, keisdami fasado orientaciją, galėtume sutaupyti tik iki 3% šildymo poreikių administracinėse patalpose.

Naudojant pasirinktą vėsinimo poreikių skaičavimo metodiką, analizuojant saulės pritekį per skaidrias atitvaras, yra įvertinamas vienos paros maksimalus galimas šilumos srauto intensyvumas, per nagrinėjamojo objekto darbo pamainą. Todėl rezultatus gali pakoreguoti ir nagrinėjamųjų objektų darbo laikas. Žemiau pateiktoje lentelėje (8.3. lentelė), matome, kad maksimalus šilumos srautas yra vakarinėje ir rytinėse orientacijose. Tačiau rytinėje orientacijoje maksimali šilumos srauto valanda yra nuo 7 – 8 h ryto, o tai nepatenka į pirmojo nagrinėjamojo objekto darbo laiko intervalą.

8.3 lentelė. Maksimalus šilumos srautas ir jo intensyvumo valanda skirtingoms orientacijoms

Orientacija	Maksimalaus šilumos srauto valanda tikruoju (saulės laiku)	Maksimalus šilumos srautas W/m ²
Š	5-6h ir 18-19h	159
P	11-13h	479
V	16-17h	621
R	7-8h	621
ŠR	6-7h	460
PR	8-10h	551
PV	14-16h	551
ŠV	17-18h	460

Analizuodami objekto vėsinimo poreikius (8.4. lentelė), matome, kad keisdami didžiausio įstiklintojo fasado orientaciją pasaulio šalių atžvilgiu, galime sutaupyti iki 49 % autosalonui ir iki 29 % administracinėms patalpoms, atsižvelgus į tai, kokia naudojama apsaugos nuo saulės priemonė. Kai pastato išorėje sumontuotos išorinės žaliuzės, tada mažiausi yra ne tik vėsinimo poreikiai, bet ir mažiausia pastato fasado orientacijos įtaka (14,15 pav.).

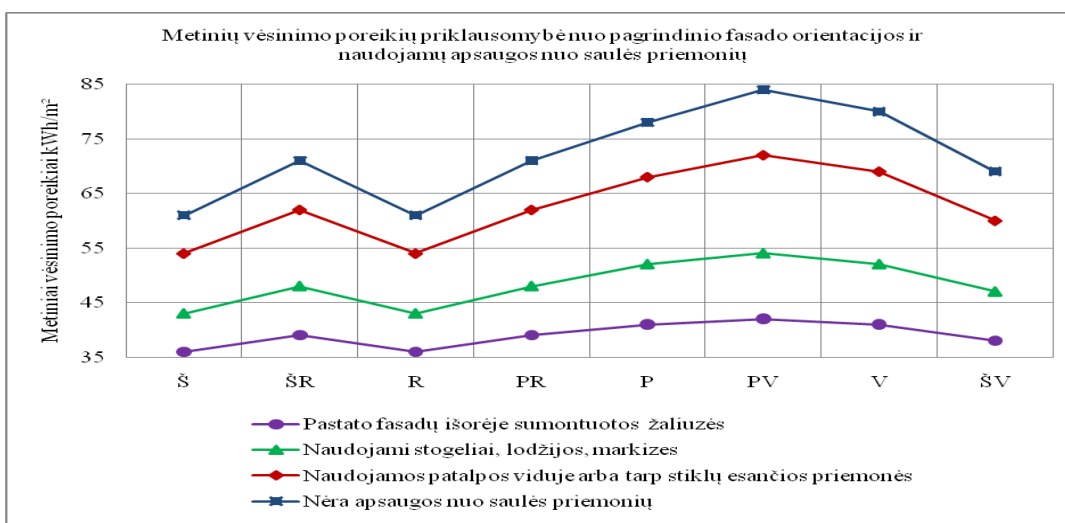
Pirmajam nagrinėjamajam objektui, kai pastato išorėje sumontuotos išorinės žaliuzės, galima teigti, kad, siekiant optimalių energijos sąnaudų tiek vasaros, tiek žiemos sezono metu, didžiausio įstiklintojo fasado orientacija turėtų būti nukreipta rytų kryptimi. Tuomet, projektiniai

šilumos poreikiai šildymui sumažėtų 2 %, o metiniai vėsinimo poreikiai – 14%, lyginant su kitomis orientacijomis, prie išorėje sumontuotų apsauginių žaliuzių

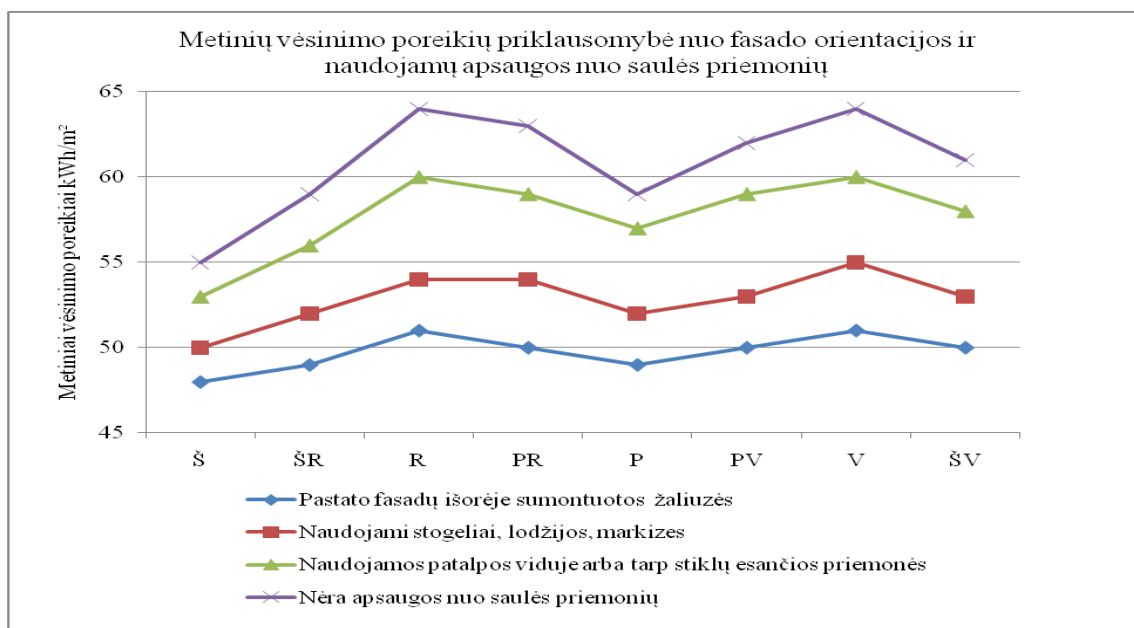
8.4 lentelė. Metinių vėsinimo poreikių priklausomybė nuo pastato didžiausio įstiklinto fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių

Orientacija	Metiniai vėsinimo poreikiai $Q_{vės. kWh/m^2}$							
	1-ojo objekto skaičiavimų rezultatai				2-ojo objekto skaičiavimų rezultatai			
	Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės				Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės			
	1var.	2var.	3var.	4var.	1var.	2var.	3var.	4var.
Š	36	43	54	61	48	50	53	55
ŠR	39	48	62	71	49	52	56	59
R	36	43	54	61	51	54	60	64
PR	39	48	62	71	50	54	59	63
P	41	52	68	78	49	52	57	59
PV	42	54	72	84	50	53	59	62
V	41	52	69	80	51	55	60	64
ŠV	38	47	60	69	50	53	58	61

14 pav. Automobilių salono metinių vėsinimo poreikių priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių



15 pav. Administracinių patalpų metinių vėsinimo poreikių priklausomybė nuo pastato pagrindinio fasado orientacijos ir naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių



Iš metinių vėsinimo poreikių kitimo (15 pav.) matyti, kad minimalus ekstremumas pasiekiamas šiaurinėje o maksimalus – rytinėje orientacijose. Galima teigti, kad, siekiant optimalių energijos sąnaudų šiame objekte tiek vasaros, tiek žiemos sezono metu, didžiausio įstiklintojo fasado orientacija turėtų būti nukreipta pietų kryptimi.

8.3. Šilumos ir šalčio poreikių analizė, keičiant stiklo paketų šilumines ir optines savybes

Skaidrūs fasadai yra svarbūs pastato atitvarų elementai, kadangi jie į pastatą praleidžia saulės šviesą ir šiluminę energiją. Pagrindiniai stiklo paketus apibūdinantys rodikliai yra šilumos perdavimo koeficientas U ir visuminės saulės energijos praleisties faktorius g . Todėl esant 4 skirtingiems apsaugos nuo saulės priemonių variantams, 4 skirtingiems stiklo paketams (8.5. lentelė) buvo atlikti energijos poreikių skaičiavimai, kurių rezultatai pateikti (8.6, 8.7 lent.).

8.5 lentelė. Nagrinėjamųjų stiklo paketų šiluminės - optinės savybės

	Stiklo paketai	Šilumos perdavimo koeficientas $U \text{ W/m}^2\text{K}$	Visuminės saulės energijos praleisties faktorius $g \%$
1.	IPLUS NEUTRAL A+Ar+Skaidrus+Ar+IPLUS NEUTRALS S	0.7	52
2.	IPASOL Blau 40/23+Ar+Skaidrus	1.1	52
3.	ANTELIO Green+Ar+IPLUS NEUTRAL S	1.1	28
4.	Sun Guard HP Silver 43	1.2	31
5.	Skaidrus +PLUS NEUTRAL S	1.4	61

Toliau pateikiami energijos poreikių skaičiavimų rezultatai šiems stiklo paketams, prie skirtingų apsaugos nuo saulės priemonių.

8.6 lentelė. Metiniai projektiniai šilumos poreikiai šildymui, nagrinėjamiesiems stiklo paketams, naudojant skirtingas apsaugos nuo saulės priemones

Stiklo paketai	Metiniai projektiniai šilumos poreikiai šildymui $Q_{\text{šild. kWh/ m}^2}$							
	1-ojo objekto skaičiavimų rezultatai				2-ojo objekto skaičiavimų rezultatai			
	<i>Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės</i>				<i>Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės</i>			
	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.
IPLUS NEUTRAL A+Ar+Skaidrus+Ar+IPLUS NEUTRALS S	108	100	89	81	61	57	50	46
IPASOL Blau 40/23+Ar+Skaidrus	124	116	105	98	72	68	61	57
ANTELIO Green+Ar+IPLUS NEUTRAL S	129	125	119	115	75	73	69	67
Sun Guard HP Silver 43	134	125	112	103	78	75	71	69
Skaidrus +PLUS NEUTRAL S	133	129	122	117	82	80	76	73

8.7 lentelė. Metiniai vėsinimo poreikiai, nagrinėjamiems stiklo paketams, naudojant skirtingas apsaugos nuo saulės priemones

Stiklo paketai	Metiniai vėsinimo poreikiai $Q_{vės}$ kWh/ m ²							
	1-ojo objekto skaičiavimų rezultatai				2-ojo objekto skaičiavimų rezultatai			
	<i>Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės</i>				<i>Naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės</i>			
	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.
1. IPLUS NEUTRAL A+Ar+Skaidrus+Ar+IPLUS NEUTRALS S	37	47	61	70	54	60	70	76
2. IPASOL Blau 40/23+Ar+Skaidrus	38	48	62	71	54	61	70	77
3. ANTELIO Green+Ar+IPLUS NEUTRAL S	32	37	44	49	50	53	58	62
4. Sun Guard HP Silver 43	33	38	47	52	51	54	60	64
5. Skaidrus +PLUS NEUTRAL S	41	52	69	80	56	64	75	82

Šiluminės stiklo paketų savybės šildymo sezono metu yra labai aktualios, nes per stiklą prarandama daugiausia šilumos. Atliktų skaičiavimų rezultatai (8.6, 8.7 lent.) rodo, kad lyginant du stiklo paketus, kurių visuminės saulės energijos praleisties faktorius $g = 0,52$, o šilumos perdavimo koeficientas lygus $0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ir $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, projektiniai šilumos poreikiai šildymui skiriasi 13 – 17 % autosalonui, ir 15 – 20 % administracinėms patalpoms. Tuo tarpu vėsinimo poreikiai tarpusavyje skiriasi tik iki 3 %, atsižvelgiant kokia naudojama apsaugos nuo saulės priemonė. Mažėjant šilumos perdavimo koeficientui, šilumos poreikiai šildymui mažėja, o vėsinimo poreikiai mažėja labai nežymiai.

Lyginant stiklo paketus, kurių šilumos perdavimo koeficientas yra $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, tačiau skirtingi visuminės saulės energijos praleisties faktoriai ($g = 0,52$ ir $g = 0,28$), vėsinimo poreikiai skiriasi 11 – 30 % autosalonui, ir 7 - 19 % administracinėms patalpoms, o projektiniai šilumos poreikiai šildymui skiriasi iki 15 %, atsižvelgiant į naudojamas apsaugos nuo saulės priemones. Mažėjant stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriui, šildymo poreikiai didėja, o vėsinimo poreikiai mažėja. Maksimalūs šildymo poreikių skirtumai yra tarp pirmojo ir penktojo analizuojamųjų stiklo paketų, šilumos perdavimo koeficientui didėjant nuo $0,7 - 1,4$

W/m² K. Maksimalūs vėsinimo poreikių skirtumai yra tarp trečiojo ir penktojo stiklo paketų, visuminės saulės energijos praleisties faktoriui didėjant nuo 31 – 62 %.

Todėl galima daryti išvadą, kad šildymo poreikius labiausiai sumažintų stiklo paketas su geriausiomis šiluminėmis savybėmis - IPLUS NEUTRAL A+Ar+Skaidrus+Ar+IPLUS NEUTRALS S, o vėsinimo poreikius labiausiai sumažintų stiklo paketas su mažiausiu visuminės saulės energijos praleisties faktoriumi ANTELIO Green+Ar+IPLUS NEUTRAL S.

8.4.Šilumos ir šaltčio poreikių kitimo dėsningumas priklausomai nuo stiklo paketų šilumos perdavimo koeficiento

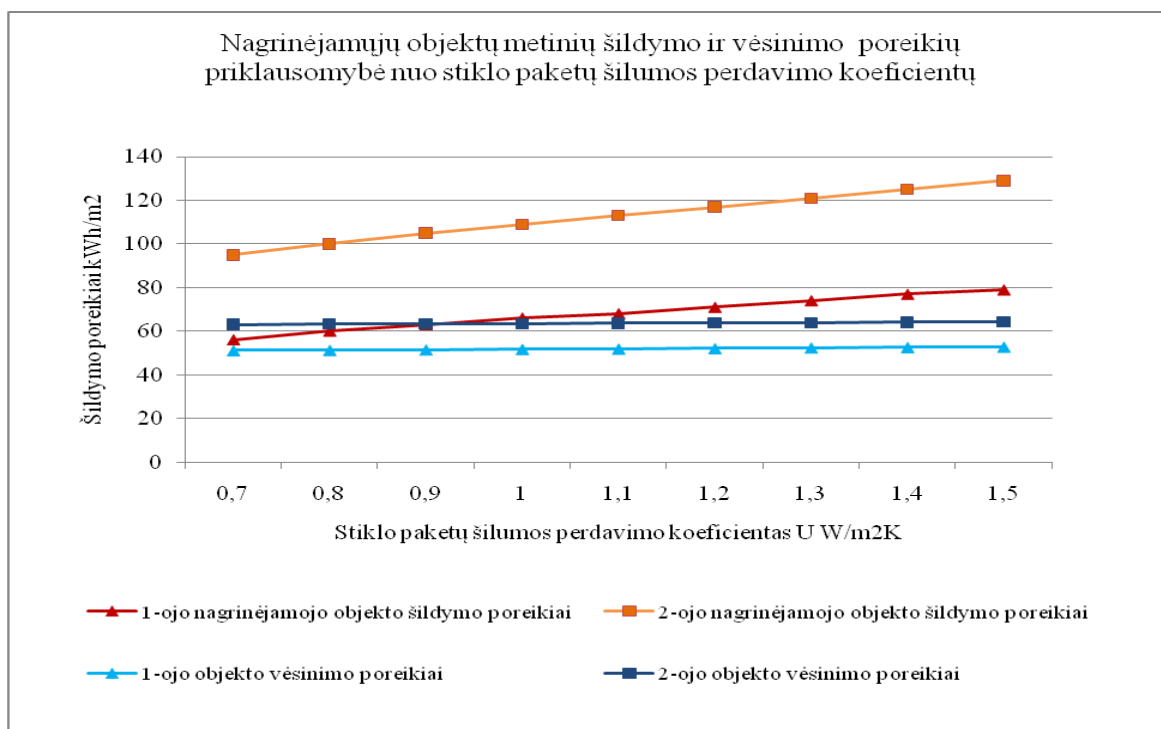
Taip pat atlikta analizė, kaip kinta šildymo ir vėsinimo poreikiai, didėjant stiklo paketų šilumos perdavimo koeficientui nuo 0,7 – 1,5 W/m²K, esant vienodam visuminės saulės energijos praleisties faktoriui $g = 31\%$, nenaudojant jokių apsaugos nuo saulės priemonių (8.8. lent.).

8.8 lentelė. Metinių šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų šilumos perdavimo koeficiento

Visuminės saulės en.pr.faktorius	Šil.perdavimo koeficientas	Šildymo poreikis kWh/m ²		Vėsinimo poreikiai kWh/m ²	
g%	U W/m ² K	1-ojo nagr.objekto	2-ojo nagr.objekto	1-ojo nagr.objekto	2-ojo nagr.objekto
31	0,7	95	56	51,2	63,1
31	0,8	100	60	51,4	63,3
31	0,9	105	63	51,6	63,4
31	1	109	66	51,8	63,5
31	1,1	113	68	52	63,7
31	1,2	117	71	52,2	63,8
31	1,3	121	74	52,5	63,9
31	1,4	125	77	52,7	64,1
31	1,5	129	79	52,9	64,2

Grafinė gautų rezultatų išraiška pateikta 16 pav.

16 pav. Nagrinėjamųjų objektų metinių šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų šilumos perdavimo koeficientų



Iš 16 pav. matyti, kad didėjant stiklo paketų šilumos perdavimo koeficientui, šildymo poreikiai laipsniškai didėja, tuo tarpu vėsinimo poreikiai kinta labai nežymiai.

8.5 Šilumos ir šalčio poreikių kitimo dėsningumas priklausomai nuo stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriaus

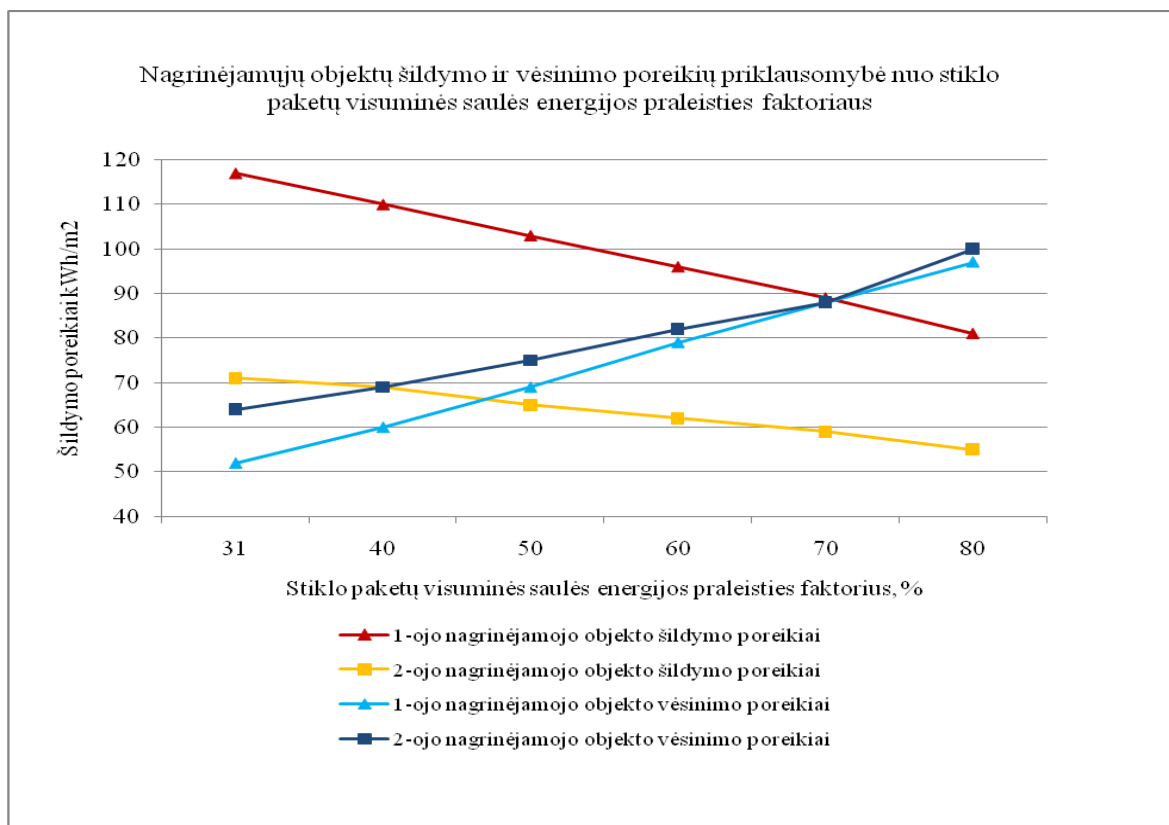
Taip pat atlikta analizė, kaip kinta šildymo ir vėsinimo poreikiai, didėjant stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriui g nuo 31 - 80 %, o stiklo paketų šilumos perdavimo koeficientui esant vienodui 1,2 W/m²K, nenaudojant jokių apsaugos nuo saulės priemonių (8.9. lentelė).

8.9.lentelė. Nagrinėjamųjų objektų šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriaus

Šil.perdavimo koeficientas	Visuminės saulės en.pr.faktorius	Šildymo poreikis kWh/m ²		Vėsinimo poreikiai kWh/m ²	
U W/m ² K	g%	1-ojo nagr.objekto	2-ojo nagr.objekto	1-ojo nagr.objekto	2-ojo nagr.objekto
1,2	31	117	71	52	64
1,2	40	110	69	60	69
1,2	50	103	65	69	75
1,2	60	96	62	79	82
1,2	70	89	59	88	88
1,2	80	81	55	97	100

Grafinė gautų rezultatų išraiška ir jų kitimas pateiktas 17 pav.

17 pav. Nagrinėjamųjų objektų metinių šildymo ir vėsinimo poreikių priklausomybė nuo stiklo paketų visuminės saulės energijos praleisties faktoriaus



Iš 17 pav. matyti, kad didėjant visuminės saulės energijos praleisties faktoriui, nagrinėjamųjų objektų šilumos poreikiai šildymui mažėja, o vėsinimo poreikiai sparčiai didėja.

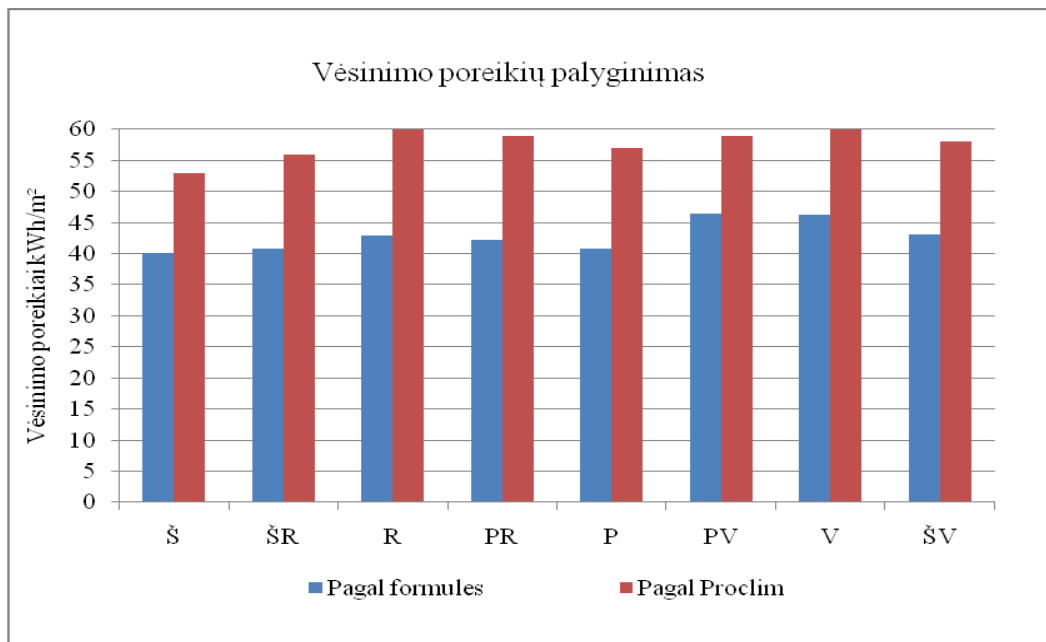
9. Vėsinimo poreikių skaičiavimų, atliktų kompiuterine programa ProClim rezultatų analizė

Kompiuterinė programa ProClim – tai švedų kompanijos Swegon sukurta programa patalpos vėsinimo galios skaičiavimui. Formuojant pirminį patalpos vaizdą ir duomenis, buvo pasirinkta objekto vietovė - Vilniaus miestas. Šioje programoje yra duomenų bibliotekos, todėl galima pasirinkti įvairių papildomų duomenų. Pagal pasirinktą vietovę programa parinko skaičiuojamąsias temperatūras. Taip pat galima modeliuoti objekto orientacijas pasaulio šalių atžvilgiu, formuoti stiklinių atitvarų plotus, stiklo paketų rūšis, jų šilumos perdavimo koeficientus ir visuminės saulės energijos praleistis faktorius. Taip pat galima įvesti duomenis, reikalingus vidinių šilumos pritekių skaičiavimui.

Norint patikrinti pasirinktos vėsinimo poreikių skaičiavimo metodikos rezultatus, buvo naudojama kompiuterinė programa ProClim [25]. Buvo sumodeliuotos prieš tai nagrinėtos administracinės patalpos, pastalpų viduje naudojamos apsaugos nuo saulės priemonės. Skaičiavimo rezultatai pateikti C priede.

Gautąją vėsinimo galią perskaičiavus į vėsinimo poreikius kWh/m², bei palyginus pagal skaičiavimo formules apskaičiuotais vėsinimo poreikiais, gauti rezultatai pateikti 18 pav.

18 pav. Vėsinimo poreikių skaičiavimų rezultatų palyginimas



Matome, kad rezultatai skiriasi nuo 21 iki 28 %, atsižvelgiant į skirtingas orientacijas pasaulio šalių atžvilgiu. Šis nesutapimas pastebimas dėl programos gebėjimo įvertinti šilumą arba vėsą, akumuluojamą patalpos vidinėse atitvarose, bei vėluojantį šilumos srautą per išorines atitvaras. Tą padaryti taikant formules būtų gana sudėtinga. Taip pat, pasirinkus skaičiavimo metodiką pagal formules, didelę įtaką skaičiavimo rezultatams turi priimančios prielaidos pvz. priimančios vidutinės vidinių pritekų reikšmės, sugebėjimas jas kuo tiksliau numatyti ir įvertinti. Tačiau, pastebimos vienodos skaičiavimo metodikų tendencijos: maksimalios energijos sąnaudos yra esant vakarinei ir pietvakarinei orientacijoms, minimalūs esant šiaurinei orientacijoms.

Galima daryti išvadą, kad skaičiuojant pagal dažniausiai taikomą metodiką [22] ir priimant panaudotas prielaidas, vėsinimo galia ir poreikiai yra maždaug penktadaliu padidinami, kadangi vėsinimo galia yra skaičiuojama pagal maksimalias galimas šilumos pritekėjimų reikšmes, neįvertinant vėluojančių srautų.

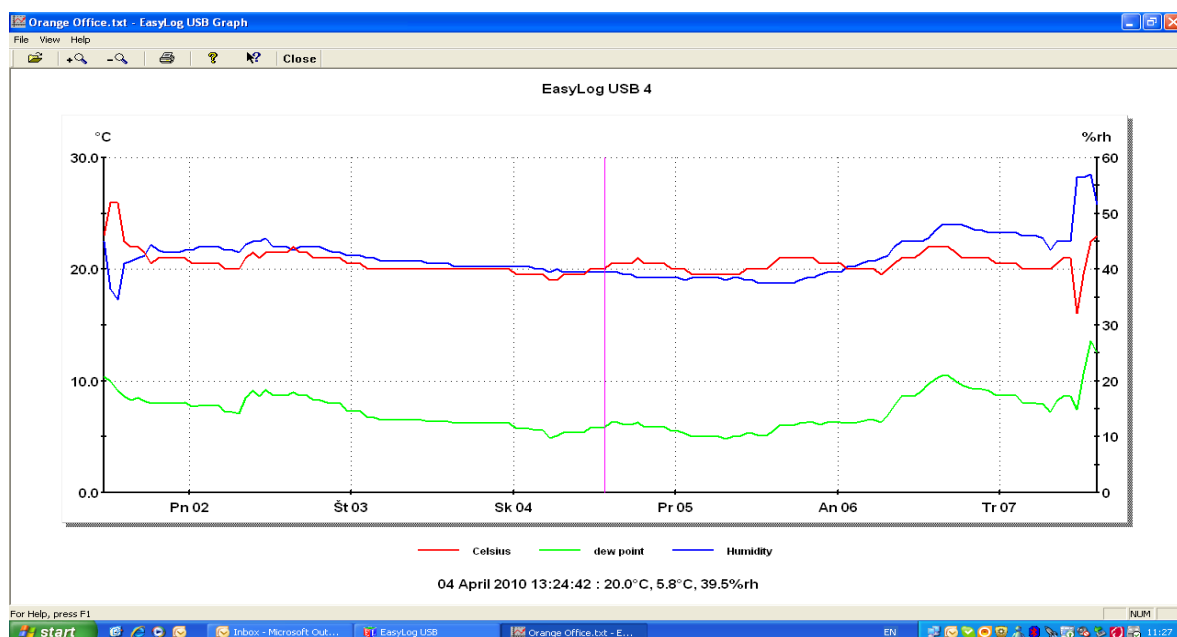
10. Administracinių patalpų mikroklimato parametrų kitimo analizė natūrinėmis sąlygomis

Patalpose, kuriose gyvena, dirba ir ilsisi žmonės, turi būti sudarytos komforto sąlygos, kad žmogus galėtų gerai jaustis.

Norint įvertinti patalpos mikroklimato sąlygų tenkinimą, buvo atlikti mikroklimato parametrų matavimas natūrinėmis sąlygomis. Kadangi nagrinėjamojo objekto paskirtis yra administracinės patalpos, darbų kategorija jame įvertinama kaip Ib. Atliekant darbą pagal fizinės įtampos kategorijas, šilumos mainai tarp žmogaus ir aplinkos oro priklauso nuo oro temperatūros: juo didesnė fizinė įtampa, tuo žemesnė iki tam tikros ribos turi būti patalpos oro temperatūra, kad žmogaus išskirtas šilumos perteklius neperkaitintų organizmo, ir atvirkščiai - juo nejudresnis darbas, tuo aplinkos temperatūra turi būti aukštesnė, kad žmogaus organizmas nevėstų.

2010 m. balandžio 2 -7 d. buvo matuojama pasirinktos patalpos temperatūros ir drėgmės kitimas, kuris pateiktas 19 pav.

19 pav. Patalpos temperatūros ir drėgmės kitimas



Matome, kad tyrimo eigoje patalpos temperatūra svyravo nuo 19 iki 21°C. Drėgmės kitimas buvo 38 – 48%.

Esant lengvam fiziniam Ib kategorijos darbui – kurį dirbant žmogaus energijos sąnaudos sudaro daugiau kaip 500 kJ/h, bet ne daugiau kaip 630 kJ/h (reikalauja nedidelės fizinės įtampos sėdint, stovint ar vaikstant), pakankamos patalpos šiluminės aplinkos oro temperatūros ir oro santykinio drėgnumo norminės vertės, pagal [26] pateikiamos (10.1. lent.).

10.1 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės

Metų laikotarpis	Darbų kategorija	Oro temperatūra, °C		Oro santykinis drėgnumas, %, ne daugiau kaip	Oro judėjimo greitis, m/s
		Nuolatiniuose darbo vietose	Nenuolatiniuose darbo vietose		
1	2	3	4	5	6
Šaltasis	Lengvas – Ia	21–25	18–26	75	ne daugiau kaip 0,1
	Lengvas – Ib	20–24	17–25	75	ne daugiau kaip 0,2
	Vidutinio sunkumo – IIa	17–23	15–24	75	ne daugiau kaip 0,3
	Vidutinio sunkumo – IIb	15–21	13–23	75	ne daugiau kaip 0,4
	Sunkus – III	13–19	12–20	75	ne daugiau kaip 0,5

Kadangi nagrinėjamoju laikotarpiu vis dar tęsėsi šildymo sezonas, norint patenkinti darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos parametrus, esant šaltajam laikotarpiui, lengvam Ib kategorijos darbui, patalpos temperatūra turėtų būti 20 – 24°C, oro santykinis drėgnumas neviršyti 75 %. Analizuojant gautus rezultatus ir lyginant juos su norminiais dydžiais galima teigti, kad patalpų temperatūra galėtų būti ir šiek tiek aukštesnė, tačiau patalpos oro santykinis drėgnumas neviršija nurodytos reikšmės.

Šiluminio komforto norminės reikšmės šiek tiek skiriasi nuo pakankamos šiluminės aplinkos parametrų (10.2. lent.).

10.2 lentelė. Darbo patalpų šiluminio komforto aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės

Metų laikotarpis	Darbų kategorija	Oro temperatūra, °C	Oro santykinis drėgnumas, %	Oro judėjimo greitis, m/s, ne daugiau kaip
1	2	3	4	5
Šaltasis	Lengvas – Ia	22–24	40–60	0,1
	Lengvas – Ib	21–23	40–60	0,1
	Vidutinio sunkumo – IIa	18–20	40–60	0,2
	Vidutinio sunkumo – IIb	17–19	40–60	0,2
	Sunkus – III	16–18	40–60	0,3

Pagal 10.2. lent. pateiktas reikšmės, patalpos temperatūra turi būti 21 - 23 °C, oro santykinis drėgnumas 40 - 60 %. Todėl nagrinėjamojoje patalpoje temperatūra kiek per žema 19 - 21 °C, o santykinis oro drėgnumas, tik retais atvejais buvo mažesnis už normuojamus.

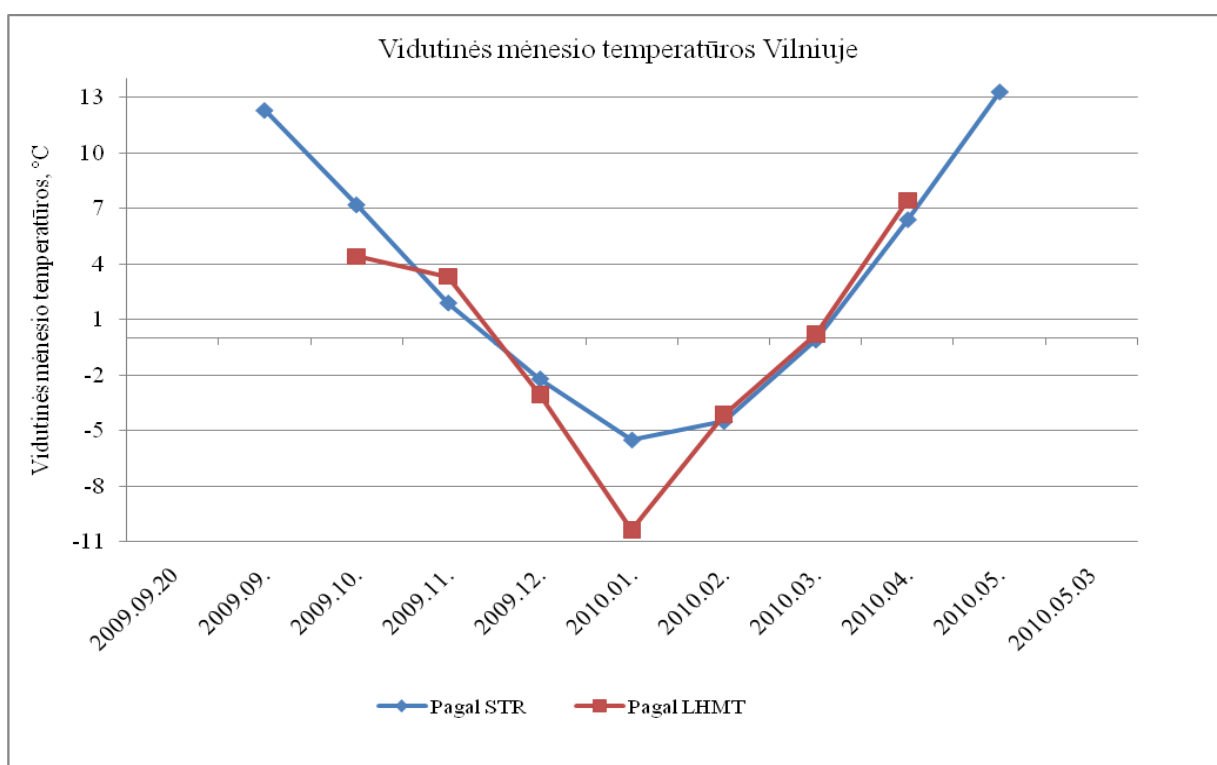
11. Administracinių patalpų faktinių šilumos sanaudų palyginimas su analitinio skaičiavimo rezultatais

Nagrinėjamajame objekte, projektiniai šilumos poreikiai šildymui buvo paskaičiuoti pagal STR 2.09.04:2008. Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui. [20]. Kadangi buvo gauti duomenys apie faktinius nagrinėjamojo objekto suvartojimus per 2009 – 2010 m. šildymo sezoną, todėl jie buvo perskaičiuoti į norminius ir atliktas rezultatų palyginimas. Nagrinėjamajame objekte kiekvienam biurui atskirai yra sumontuoti energijos apskaitos prietaisai. Jie yra sujungti į vietinį duomenų surinkimo tinklą, todėl mėnesio pabaigoje visų biurių skaitikliai yra nuskaitymi. Automatinė skaitiklių nuskaitymo sistema leidžia pigiau

tvarkyti apskaitą, paprastai ir greitai formuoti ataskaitas bei sąskaitas už suvartotą energiją biurų nuomininkams.

Vidutinių mėnesinių šildymo sezono temperatūrų analizė pateikiama 20 pav. Faktinės vidutinės mėnesinės temperatūros buvo gautos iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos Vilniuje. Jos pateiktos D priede. Pagal RSN 156-94 duomenis [27] šildymo sezonas trunka nuo rugsėjo 20 d. iki gegužės 3 d., realus šildymo sezonas truko nuo spalio 6 d. iki balandžio 16 d.

20 pav. 2009-2010 m. šildymo sezono Vilniuje vidutinės mėnesinės išorės oro temperatūros

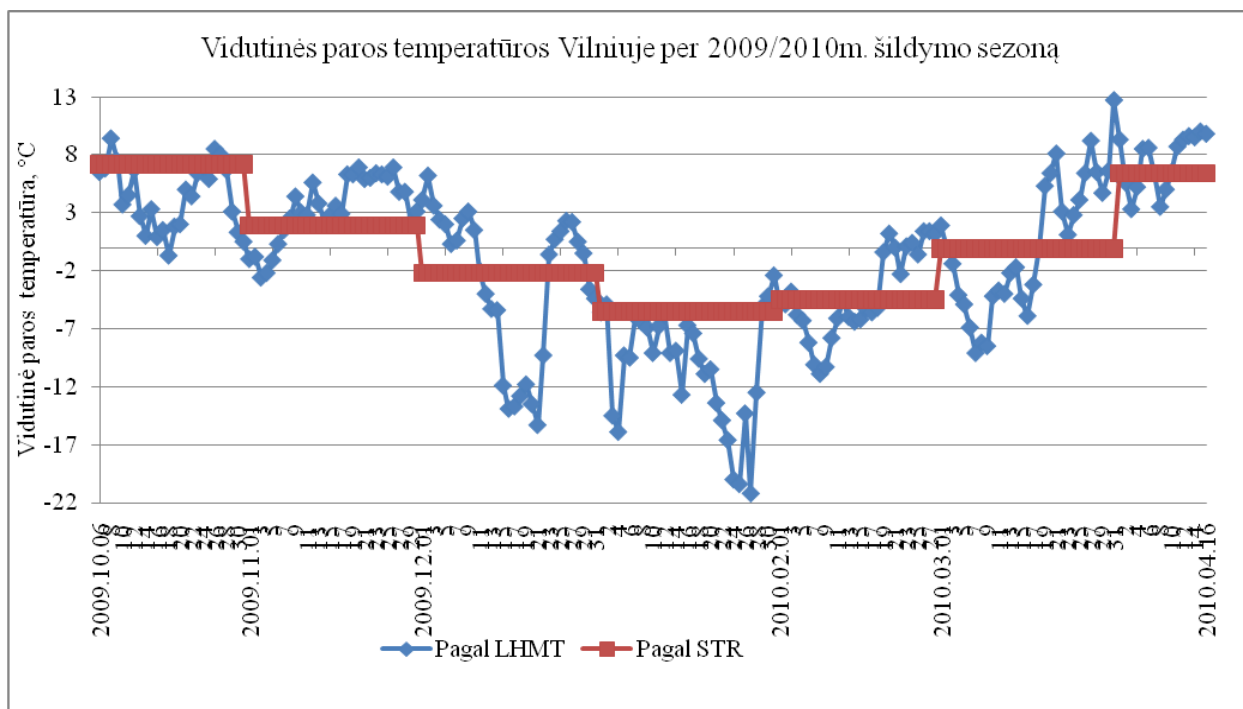


Matome, kad didžiausi temperatūrų neatitikimai pastebimi gruodžio – sausio mėnesiais – faktinė temperatūra buvo daug žemesnė už skaičiuojamąją. Lapkričio ir balandžio mėnesiais faktinės vidutinės temperatūros buvo kiek aukštesnės už skaičiuojamąsias. Matome, kad didžiausias minimalus ekstremumas, buvo pasiektas sausio mėnesį. Taip pat šildymo sezonas buvo trumpesnis už skaičiuojamąjį - truko 192 dienas.

Kadangi LHMT gauti duomenys apie kiekvienos šildymo sezono paros vidutinės temperatūros, pateikiamas jų palyginimas su skaičiuotinomis, kurios kinta tik kas mėnesį. 21 pav. pateikiami temperatūrų svyravimai kas dieną, laikotarpyje, per kurį truko nagrinėjamojo objekto šildymas sezonas.

Iš 21 pav. matome, kad didžiausi temperatūrų skirtumai buvo šalčiausią šildymo sezono mėnesį – sausį. Vidutinė mėnesio temperatūra buvo praktiškai dvigubai žemesnė, nei skaičiuojamoji vidutinė temperatūra.

21 pav. Vidutinių paros išorės temperatūros Vilniuje per 2009-2010m. šildymo sezoną



Pastatų šildymo ir vėdinimo sistemų suvartojamą šilumos kiekį smarkiai įtakoja klimatinės sąlygos. Aišku, kad kuo šiltesnis klimatas, tuo mažiau reikia sunaudoti energijos tam, kad būtų užtikrintas patalpų šiluminis komfortas. Skirtingais metais esant skirtingai šildymo sezono trukmei ir skirtingoms klimatinėms sąlygoms atsiranda poreikis perskaičiuoti sąnaudas šildymui taip, kad skirtingų metų sąnaudas būtų galima palyginti. Tai ypač svarbu kai norima įvertinti šilumos taupymo priemonių pasiekiamą naudą. Kaip vienas iš galimų metodų išspręsti šią problemą yra dienolaipsnių metodas [28]. Dienolaipsnių metodo esmė yra faktiškai suvartotos energijos perskaičiavimas į energijos kiekį, atitinkantį normines klimato sąlygas.

$$DL = z \cdot (t_v - t_{is}) \quad (14)$$

čia:

DL – dienolaipsnių skaičius šildymo sezone skaičiuojamoje vietovėje;

z – šildymo sezono trukmė (paros);

t_v – vidutinė skaičiuojamoji oro temperatūra pastate (°C);

$t_{iš}$ – skaičiuojamoji lauko oro temperatūra (°C).

Žinant konkretaus šildymo sezono šilumos sąnaudas ir dienolaipsnių skaičių, šilumos sąnaudos, perskaičiuotos į normines sąlygas, yra randamos iš lygties:

$$Q_n = Q_f \cdot \frac{DL_n}{DL_f} \quad (15)$$

čia:

Q_n – į normatyvinius metus perskaičiuotas metinis šilumos suvartojimas (kWh);

Q_f – metinis tam tikrų metų šilumos suvartojimas (kWh);

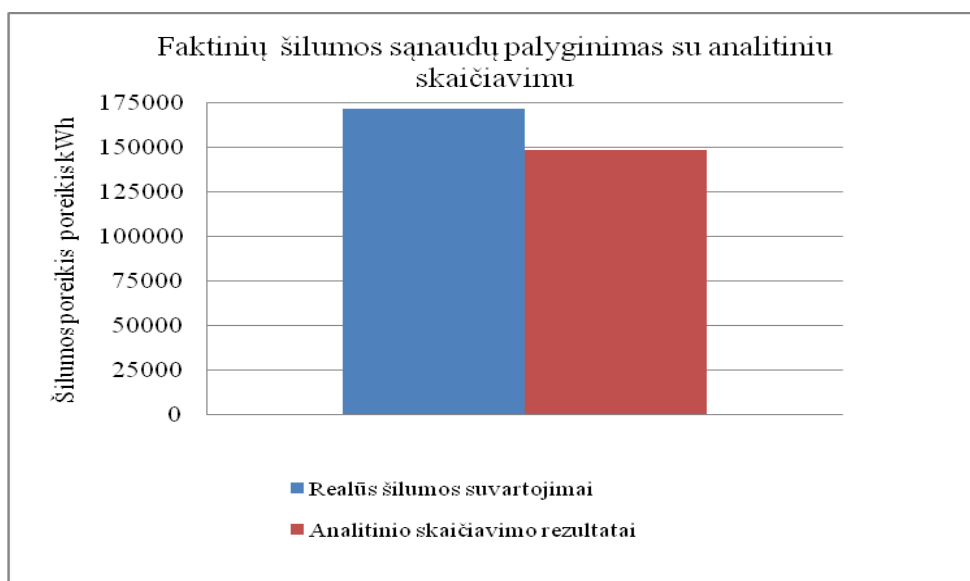
DL_n – normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius šildymo sezone skaičiuojamoje vietovėje;

DL_f – faktinis tam tikrų metų dienolaipsnių skaičius.

$$Q_n = 152204 \cdot \frac{4455}{3931} = 171990 \text{ kWh}$$

Kadangi pagal [19] paskaičiuotas projektinis šilumos poreikis šildymui sudaro 148883 kWh, tuomet skirtumas tarp faktinių ir projektinių šilumos poreikių 22 pav. sudaro 15% .

22 pav. Faktinių šilumos sąnaudų palyginimas su analitinio skaičiavimo rezultatais



Iš 22 pav. matome kad realūs šilumos suvartojimai buvo didesni nei analitinio skaičiavimo rezultatai. To priežastis gali būti skaičiuotinų ir realių atitvarų šiluminių charakteristikų neatitikimas, statybos darbų brokas.

12. Išvados

1. Nustatya, kad įvairių energiją taupančių priemonių įtaka pastato energijos poreikiams priklauso nuo naudojamų apsaugos nuo saulės priemonių ir kuo efektyvesnė naudojama apsaugos nuo saulės priemonė, tuo mažesnė pastato orientacijos ar naudojamų stiklo paketų šiluminių-optinių savybių įtaka.
2. Efektyviausia apsaugos nuo saulės priemonė yra išorėje sumontuotos žaliuzės, kurios iki 41 % sumažina vėsinimo poreikius, tačiau iki 23 % padidina šilumos poreikius šildymui. Išorines žaliuzes automatizavus, reguliuojami į patalpas patenkantys šilumos pritekliai ir sumažinami ne tik vėsinimo bet ir šildymo poreikiai.
3. Siekiant optimalių energijos sąnaudų tiek vasaros tiek žiemos sezono metu, autosalono didžiausio įstiklinto fasado orientacija turėtų būti nukreipta rytų kryptimi, administracinių patalpų – pietų kryptimi.
4. Mažėjant stiklo paketų šilumos perdavimo koeficientui nuo 1,5–0,7 W/m²K, šilumos poreikiai šildymui laipsniškai mažėja (iki 26 %), o vėsinimo poreikiai kinta nežymiai, tačiau taip pat mažėja. Didėjant stiklo paketų saulės energijos praleisties faktoriui nuo 31–80 %, šilumos poreikiai šildymui mažėja (iki 30 %), o vėsinimo poreikiai didėja (iki 46 %).
5. Šildymo poreikius nagrinėjamiems objektams labiausiai sumažina stiklo paketas su geriausiomis šiluminėmis savybėmis - IPLUS NEUTRAL A+Ar+Skaidrus+Ar+IPLUS NEUTRALS S, o vėsinimo poreikius labiausiai sumažina stiklo paketas su mažiausiu visuminės saulės energijos praleisties faktoriumi ANTELIO Green+Ar+IPLUS NEUTRAL S.
6. Lyginant analitinius administracinių patalpų vėsinimo poreikių skaičiavimo rezultatus su kompiuterines programos ProClim skaičiavimo rezultatais, gauta, kad vėsinimo poreikiai skyrėsi nuo 21 iki 29 %, atsižvelgiant į skirtingas orientacijas pasaulio šalių atžvilgiu. Šis nesutapimas pastebimas dėl programos gebėjimo įvertinti šilumą arba vėšą, akumuliuojamą patalpos vidinėse atitvaruose, bei vėluojantį šilumos srautą per išorines atitvaras. Pasirinkus skaičiavimo metodiką pagal formules, didelę įtaką skaičiavimo rezultatams turi priimamos prielaidos vidinių pritekių įvertinime, kurie sudaro didžiąją šilumos balanso dalį. Dėl šių priežasčių analitiniame skaičiavime gaunama maždaug penktadaliu didesnė vėsinimo galia.
7. Atlikta 2009 – 2010 m. šildymo sezono išorės oro temperatūrų analizė ir nustatyta, kad faktinė vidutinė šildymo sezono temperatūra buvo žemesnė už vidutinę skaičiuojamąją.

Palyginus skaičiuotinus ir realius administracinių patalpų šilumos energijos suvartojimus gauta, kad nagrinėjamojo objekto faktinės 2009 – 2010 m. šildymo sezono šilumos sąnaudos buvo 15 % didesnės nei skaičiuojamosios.

13. Literatūros sąrašas

1. R.Bliūdžius. Pastatų šiluminė renovacija. Kaunas: Technologija, 2006, 96p.
2. Eugenijus Perednis, Vladislovas Katinas, Algis Tumosa. 2007. Pastatų vėsinimo tyrimai. Energetika. 53(2): 57-60.
3. [Žiūrėta 2010-05-01] Prieiga per internetą: <[http://www.futurenergia.org/ww/lt/pub/futurenergia/energy world/ guide.htm](http://www.futurenergia.org/ww/lt/pub/futurenergia/energy%20world/guide.htm)>
4. Саснаускайте, Виолета ; Паулаускайте, Сабина ; Валанчюс Кястутис. Затраты энергии систем отопления и охлаждения в зависимости от характеристик остекления здания // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции, Под общей научной редакцией Прохорова В. И., Кувшинова Ю. Я., Махова Л. М.: Третья международная научно-техническая конференция 10-13 ноября 2009 г.
5. Šeža, G.2010. Skaidriųjų atitvarų užtemdymo įtaka vėsinimo sistemos galingumui. Magistro darbas.
6. Alfonso Capozzoli, Houcem Eddine Mechri , Vincenzo Corrado. Impacts of architectural design choices on building energy performance applications of uncertainty and sensitivity techniques. Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow, Scotland July 27-30, 2009 .
7. V.Stankevičius, J.Karbauskaitė, R.Bliūdžius. Šilumos suvartojimo pastatuose analizė.
8. [Žiūrėta 2009-05-29] Prieiga per internetą: < [http://www.dextera.lt/ lt/dextera.php?pg=straipsniai&straipsnis=1](http://www.dextera.lt/lt/dextera.php?pg=straipsniai&straipsnis=1)>
9. [Žiūrėta 2010-05-10] Prieiga per internetą:<[http://www.brightclub.com /environment/green-living/articles/21 671.aspx](http://www.brightclub.com/environment/green-living/articles/21671.aspx)>
10. [Žiūrėta 2010-01-10] Prieiga per internetą: <[http://ec.europa.eu/energy/ intelligent/index_en.html](http://ec.europa.eu/energy/intelligent/index_en.html)>
11. [Žiūrėta 2010-05-01] Prieiga per internetą: <[http://www.coolregion.info/page, 5256,0,0,30,0,en.htm](http://www.coolregion.info/page,5256,0,0,30,0,en.htm)>
12. [Žiūrėta 2010-05-01] Prieiga per internetą: < http://ec.europa.eu/energy/intelligent/library/doc/ienr_4_en.pdf
13. [Žiūrėta 2009-05-29] Prieiga per internetą: < <http://www.gamlana.lt/index.php?id=6>>
14. [Žiūrėta 2009-05-29] Prieiga per internetą: <<http://www.skp.lt/lt/produktai/stiklo-paketai/#optikosSavybes>>
15. [Žiūrėta 2009-06-01] E.Milutienė . Saulės energijos naudojimas. Saulės energetikų asociacija.

16. S. Kytra. Atsinaujinantys energijos šaltiniai. Technologija. Kaunas, 2006, 301 p.
17. STR 2.05.01:2005 Pastatų atitvarų šiluminė technika. Vilnius, LR AM, 2005
18. STR 2.01.09:2005 Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas. Vilnius, LR AM, 2005
19. Kompiuterinė programa NRG.
20. STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui
21. Lietuvos statybos ir projektavimo institutas. Vėsinimo galios skaičiuotė
22. Egidijus Juodis. Vėdinimas. Vadovėlis. Vilniaus technika 2009.
23. [Žiūrėta 2010-01-15] Prieiga per internetą:< http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/publications/07_icb-sk_duska.pdf>
24. [Žiūrėta 2010-01-15] Prieiga per internetą :< http://www.engineeringtoolbox.com/metabolic-heat-persons-d_706.html >
25. Swegon kompiuterinė programa vėsinimo galios skaičiavimui ProClim.
26. HN 69:2003. „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose“ Vilnius, LR SAM, 2004.
27. RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“ Vilnius, LR AM, 1995
28. [Žiūrėta 2010-04-25] Prieiga per internetą :<http://www.leka.lt/index.php?content=pages&lng=lt&page_id=31&news_id=77&PHPSESSID=1a05b0c1e5613ab21d7b82f5a0b15360>

PRIEDAI