



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

ŠILDYMO IR VĖDINIMO KATEDRA

Violeta Sosnovskaja

**„ENERGYPLUS“ PROGRAMOS PANAUDOJIMAS PASTATŲ ENERGETINIAM
MODELIAVIMUI**

BUILDING ENERGY SIMULATION WITH „ENERGYPLUS“ SOFTWARE

Baigiamojo magistro darbo priedai

Energetikos ir termoinžinerijos studijų programa

Termoinžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas habil. dr., prof. P. Vaitiekūnas

Vilnius, 2005

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Šildymo ir vėdinimo katedra

ISBN
ISSN
Egz. sk. 3
Data 2005 05 31

Magistrantūros baigiamasis darbas (tezės)

**„ENERGYPLUS“ PROGRAMOS PANAUDOJIMAS PASTATŲ ENERGETINIAM
MODELIAVIMUI**

Violeta Sosnovskaja

Kalba
☐ lietuvių
☐ užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos pastatų energijos vartojimo efektyvumo problemos. Ieškoma būdų, kaip galima būtų dar projektavimo arba renovacijos stadijoje sukurti energetiškai efektyvų pastatą naudojant naujoviškus metodus.

Darbe atlikta literatūros, susijusios su kompiuteriniu energetiniu modeliavimu, analizė, atliktas kelių populiariausių energetinio modeliavimo programų palyginimas ir tolesniems skaičiavimams pasirinkta geriausia dinaminio modeliavimo programa – EnergyPlus.

Buvo užsibrėžtas tikslas ištirti šios panaudojimo programos galimybes sprendžiant hipotetinio administracinės paskirties pastato modelį. Buvo užsibrėžti pagrindiniai uždaviniai – ištirti šio modelio šildymo/šaldymo galios priklausomybes per projektinę parą nuo įvairių faktorių.

Sukūrus duomenų rinkmeną, aprašančią pastatą, buvo atliktas modeliavimas įvairiems įstiklinimo plotams, įvairioms pastato orientacijoms ir įvairioms stiklo rūšims. Buvo nustatyta atskirai šių faktorių įtaka pastato šildymo/šaldymo galiai. Tam, kad būtų galima įvertinti potencialų energijos sąnaudų sumažėjimą, kuris gali būti pasiektas taikant modeliavimą, buvo išanalizuotos dvi skirtingos to paties pastato modifikacijos: blogiausias ir geriausias variantas. Skirtumas tarp jų buvo gautas didelis, ypatingai potencialios šalčio santaupos.

EnergyPlus apskaičiuota šildymo galia taip pat buvo palyginta su dviem kitomis paprastesnėmis skaičiavimo metodikomis. EnergyPlus paskaičiuota galia žymiai mažesnė, nei kitais dviem atvejais.

Taigi galiausiai padarytos išvados, kad EnergyPlus gali būti sėkmingai taikoma mūsų sąlygomis ir kad vien panaudojant šį dinaminio modeliavimo metodą galima sutaupyti labai daug energijos ir išvengti pastato neefektyvaus energetinio projektavimo. Turint pagalbines programas, pastato modeliavimas su EnergyPlus gali būti atliekamas pakankamai greitai.

Reikšminiai žodžiai:

administracinis pastatas, energijos sąnaudos, kompiuterinis modeliavimas, pritaikymas

Vilnius Gediminas Technical University
Environmental Engineering Faculty
Heating and Ventilation Department

ISBN ISSN
No. of copies. 3
Date 2005 05 31

Final paper of Master studies

BUILDING ENERGY SIMULATION WITH “ENERGYPLUS” SOFTWARE

Violeta Sosnovskaja

Language

☐

Lithuanian

☐

Foreign

Summary

In this final Master paper were analyzed problems, related with buildings energy consumption and energy efficiency. For further analysis were chosen innovative tools – energy simulation programs, which help to save energy before building is built or renovated.

After literature, related with building energy simulation, was analyzed, comparison of the most popular energy simulation programs was done. After this, EnergyPlus was chosen as the best dynamic energy simulation program.

The main purpose of this paper – to investigate adaptability of the program in our applications. For investigation was chosen model of hypothetical office building. The main tasks were to calculate, how different factors influence building heating/cooling loads during design days.

Main data file, describing building, was created and were made simulations for different cases of glazing, building orientations and glass types. After the influence of these factors was defined, for evaluating potential energy saving through energy simulation, was created the best and the worst case for the same building. Difference between cases was very big, especially in cooling loads.

EnergyPlus calculation results were also compared with results of two simpler, often used heating power calculation methods. Heating power, calculated with EnergyPlus, was much smaller, than in other two cases.

After all was made conclusion, that EergyPlus is adaptable in our appliances and, just through using dynamic energy simulation, can be saved lots of energy and inefficient designing of the building can be avoided. With special interfaces, user can make simulations with minimal time consumptions.

Keywords:

Office building, energy consumption, energy simulation, adaptability

Turinys

Paveikslų sąrašas.....	6
Lentelių sąrašas.....	7
Priedų sąrašas.....	7
Santrumpų ir terminų sąrašas.....	8
1. Įvadas	9
2. Objektas ir problema.....	12
3. Kas yra „pastato energetinis modeliavimas“?.....	16
3.1. Paprasti energetinio modeliavimo metodai.....	16
3.2. Dinaminiai energetinės analizės metodai.....	17
4. Energetinio modeliavimo srityje atliktų darbų apžvalga	18
5. Kompiuterinės pastato energetinio modeliavimo programos	24
5.1. Energy10 programa.....	24
5.2. TRNSYS programa.....	25
5.3. ASEAM programa	26
5.4. BDA programa.....	27
5.5. BLAST, DOE-2 ir EnergyPlus programos	27
6. Kompiuterinių modeliavimo programų palyginamoji analizė.....	29
7. EnergyPlus energetinio modeliavimo programos detalus aprašymas.....	31
7.1. EnergyPlus struktūra.....	32
7.2. Kaip EnergyPlus sudaromas šilumos ir masės balansas	33
7.3. EnergyPlus integruotas modeliavimo valdytojas.....	33
7.4. Pastato sistemų modeliavimo valdytojas	34
7.5. EnergyPlus koncepcija.....	35
7.6. Input (pradinių duomenų) / Output (rezultatų) rinkmenos.....	35
7.6.1. Pradinių duomenų žodynas (IDD Failai)	36
7.6.2. Leistinos reikšmių ribos ir standartinės reikšmės	37
7.6.3. Klimatiniai duomenys (Weather Data, *.epw failai)	37
7.6.4. Rezultatų duomenų formatas (Output Data Format).....	37
7.7. EnergyPlus instaliavimas ir naudojimas	38
7.7.1. EnergyPlus instaliavimas	38
7.7.2. Papildomi EnergyPlus programos įrankiai	40
7.7.3. Rezultatų peržiūra	42
8. Darbo tikslas	44
9. Principinė tyrimo schema	45
10. Tyrimo objekto aprašymas.....	46
11. Pradinių duomenų (IDF) rinkmenos kūrimo eiga.....	48
12. Įvairių įtakos faktorių skaičiavimas ir analizavimas.....	56
12.1. Įstiklinimo ploto įtaka šildymo/šaldymo galiai.....	56
12.1.1. Tiriamų atvejų aprašymas	56
12.1.2. Langų skaičiavimas EnergyPlus programoje.....	56
12.1.3. Įstiklinimo įtakos skaičiavimo rezultatai	63

12.3. Energijos pasiskirstymas pastato zonose	64
12.4. Orientacijos įtakos skaičiavimo rezultatai	66
12.5. Stiklo rūšies įtakos skaičiavimo rezultatai	68
13. Blogiausio ir geriausio pastato variantų parinkimas ir palyginimas	69
14. Panaudotos metodikos palyginimas su kitomis naudojamomis metodikomis.....	71
15. Išvados ir pasiūlymai	74
Literatūra.....	77

Paveikslų sąrašas

1 pav. Darbo struktūra.....	10
2 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo klimato.....	19
3 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo pastato orientacijos.....	19
4 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo įstiklinimo tipo ir ploto.....	20
5 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo gyventojų skaičiaus.....	20
6 pav. a) Pikinių galingumų pokytis, kai langai orientuoti į pietus; b) Pikinių galingumų pokytis, kai langai orientuoti į šiaurę.....	21
7 pav. Energijos sąnaudos, kambariui Florianopolyje (Brazilija), matmenų santykis 2:1, Šiaurinė orientacija.....	23
8 pav. Idealaus lango plotas, priklausomai nuo K , kambariui Florianopolyje (Brazilija), matmenų santykis 2:1.....	23
9 pav. Lyginamieji testavimo rezultatai. Lengvųjų konstrukcijų pastatas.....	31
10 pav. Principinė EnergyPlus ryšių tarp failų schema.....	36
11 pav. Fragmentas iš IDD failo.....	37
12 pav. DataSets katalogo duomenų rinkmenos.....	39
13 pav. Pavyzdžių katalogo duomenų rinkmenos.....	40
14 pav. EP-Launch standartinis langas.....	41
15a pav. EP-Launch pagrindinis meniu.....	42
15b pav. EP-Launch View meniu.....	42
16 pav. IDF- Editor langas.....	43
17 pav. Tyrimo schema.....	45
18 pav. Pastato aukšto schema.....	47
19 pav. EnergyPlus pateikiamas pastato grafinis vaizdas.....	48
20 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Location.....	49
21. pav. Paros ir metų oro temperatūros kaita (1993-2002 m.) [25].....	50
22. pav. Paros ir metų oro temperatūros kaita pagal ASHRAE ir RSN 156-94.....	50
23 pav. Fragmentas iš duomenų grupės DesignDay.....	51
24 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Zone.....	53
25 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Zone List.....	53
26 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Zone Group.....	53
27 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Surface:Heattransfer.....	54
28 pav. Įstiklinimo sistema su dvigubu stiklu.....	59

29 pav. Pastato šildymo galios kitimo grafikas žiemos projektinės paros bėgyje, priklausomai nuo įstiklinimo ploto.....	63
30 pav. Pastato šaldymo galios kitimo grafikas vasaros projektinės paros bėgyje, priklausomai nuo įstiklinimo ploto.....	64
31 pav. Atskirų zonų šilumos poreikis per projektinę parą.....	65
33 pav. Pastato šaldymo galios kitimas per projektinę parą esant įvairioms pastato orientacijoms.....	67
34 pav. Pikinės šaldymo galios esant įvairioms orientacijoms.....	67
35 pav. Šaldymo galios per projektinę parą priklausomai nuo stiklo rūšies.....	68
36 pav. Šilumos poreikio kitimas per projektinę parą geriausio ir blogiausio pastato varianto atveju.....	70
37 pav. Šalčio poreikio kitimas per projektinę parą geriausio ir blogiausio pastato varianto atveju.....	70
38 pav. Šilumos ir šalčio poreikis per projektinę parą geriausio ir blogiausio pastato varianto atveju.....	71

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Lietuvos prekybos ir aptarnavimo sektoriaus pastatų plotai.....	14
2 lentelė. Programų privalumai ir trūkumai.....	29
3 lentelė. Programinės įrangos galimybės.....	30
4 lentelė. Programos komponentų pasirinkimo meniu.....	38
5 lentelė. Pastato konstrukcijų charakteristikos.....	52
6 lentelė. Įstiklinimo atvejai.....	56
7 lentelė. Geriausias ir blogiausias modeliuojamo pastato variantas.....	69
8 lentelė. Atitvarų plotai.....	72

Priedų sąrašas

1 priedas. Publikuotas straipsnis.
2 priedas. Pradinių duomenų rinkmena.
3 priedas. EIO duomenų rinkmena – duomenys apie medžiagas ir konstrukcijas.
4 priedas. ESO duomenų rinkmena – rezultatai.
5 priedas. Skirtingų įstiklinimo atvejų skaičiavimo rezultatai.
6 priedas. Pastato zonų šildymo/šaldymo poreikių skaičiavimo rezultatai.
7 priedas. Skirtingų pastato orientacijos atvejų skaičiavimo rezultatai.
8 priedas. Skirtingų stiklo rūšių įtakos skaičiavimo rezultatai.

Santrumpų ir terminų sąrašas

ŠVOK – Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas

ES – Europos sąjunga.

BVP – bendras vidaus produktas.

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.

CERL – Construction Engineering Research Laboratories.

DOD – Department of Defense.

LBNL – Laurence Berkley National Laboratory.

OSU – Oklahoma State University.

TRNSYS – The Transient Energy System Simulation Tool.

BLAST – Building Load Analysis and System Thermodynamics.

DOE – Department of Energy.

ASEAM – A Simplified Energy Analysis Method.

BDA – Building Design Advisor.

CFD – Computational Fluid Dynamics.

IDD – Input Data Dictionary.

IDF – Input Data File.

Failas – duomenų rinkmena.

Interfeisas – pagalbinė programa, palengvinanti vartotojo darbą, dažniausiai tai grafinė programa.

1. Įvadas

Didėjant pirminės energijos naudojimo tempams, senkant pirminės energijos šaltiniams bei didėjant aplinkos užterštumui, pasaulyje susirūpinta pirminių energijos šaltinių išsaugojimu bei aplinkos užterštumo problemomis.

Viena didžiausių energiją vartojančių grupių bei, tuo pačiu, sąlygojančių aplinkos taršą yra pastatai, todėl svarbu efektyviai panaudoti šiai grupei tiekiamą energiją.

Palyginus neseniai tiek pasaulyje, tiek ir Lietuvoje buvo susirūpinta efektyvių, bei taršą mažinančių priemonių pastatų sektoriuje panaudojimu. Daugelis ekonomiškai išsivysčiusių pasaulio šalių jau pasiekė aukštą energijos vartojimo efektyvumo lygį, todėl Lietuvai tereikia pasinaudoti kitų šalių patirtimi.

Taigi darbe nagrinėjama pastatų energetinio efektyvumo didinimo problema.

Pasaulyje, ypač Š. Amerikos žemyno šalyse, šiuo metu pastebimas didelis susidomėjimas pastatų energetiniu modeliavimu. Pastatų energetinis modeliavimas gali būti atliekamas panaudojant kompiuterines modeliavimo programas. Europoje pastatų energetinis modeliavimas yra naujas reiškinys ir kelios pažangiausios šalys dar tik bando taikyti šį metodą, o Lietuvoje šis metodas yra visiškai naujovė ir niekur nenaudojamas. Europoje naudojamos apskirtinai modeliavimo programos, bet jos skirtos ne visam pastatui, o atskirų jo elementų skaičiavimui (langams, sienoms ir pan.).

Lietuvoje, deja, energetinis modeliavimas neplinta. To priežastys yra nežinojimas, kad tokios programos egzistuoja ir kokia nauda iš jų, o taip pat, kad ši programinė įranga yra pakankamai brangi ir ne visoms įmonėms prieinama. Dar viena priežastis yra ta, kad trūksta kompetentingų žmonių, kurie galėtų dirbti su tokiomis programomis.

Būtent dėl metodo naujumo ir buvo susidomėta kompiuteriniu energetiniu modeliavimu ir buvo užsibrėžtas tikslas išsiaiškinti, kiek realu yra pritaikyti energetinį modeliavimo Lietuvos sąlygomis.

Išanalizavus įvairias energetinio modeliavimo programas, remiantis išnagrinėta literatūra, tyrimo objektu buvo pasirinkta EnergyPlus energetinio modeliavimo programa. Ne mažiau svarbi priežastis, kodėl buvo pasirinkta ši programa yra ta, kad mokymosi tikslams skirta versija ir prieinama nemokamai internete.

EnergyPlus programos įvertinimui buvo pasirinkta išnagrinėti hipotetinį nesudėtingos geometrijos, 10 aukštų, administracinės paskirties pastatą esantį Vilniuje. Vadovaujantis užsibrėžtu pagrindiniu tikslu, buvo užsiduoti uždaviniai, kurių esmė buvo atlikti kelių faktorių, įtakančių energijos poreikius šildymui ir šaldymui įtaką šiam pastatui. Metodo įvertinimui tikslinga buvo įvertinti, kiek energijos galima sutaupyti panaudojant modeliavimą. Todėl kitas uždavinys buvo paskaičiuoti, koks skirtumas yra tarp pastato su blogiausiomis charakteristikomis ir pastato su geriausiomis charakteristikomis. O kadangi abstraktūs skaičiai apie energijos sąnaudas patys savaime nesuteikia pakankamai informacijos apie metodo tikslumą, tai taip pat buvo atliktas palyginimas su dviem kitomis metodikomis. Buvo lyginama tik šildymo galia nuostoliams per aitvaras kompensuoti.

Prieš pradėdant skaičiavimus, visų pirma reikėjo išmokti dirbti su EnergyPlus programa. Šis etapas buvo gan sudėtingas, nes Lietuvoje nėra galimybių pasikonsultuoti su kuo nors, išmanančiu šią programą. Todėl mokymosi etapas vyko naudojantis programos dokumentacija ir JAV universitetams paruošta paskaitų medžiaga. Šios medžiagos pagalba visgi buvo pasiektas užsibrėžtas tikslas ir įgyvendinti uždaviniai. Darbe pateikiamas programos aprašymas, jos veikimo principai ir kaip turi būti atliekamas modeliavimas, todėl šitas darbas gali būti naudojamas kaip programos EnergyPlus pradžiamokslis.

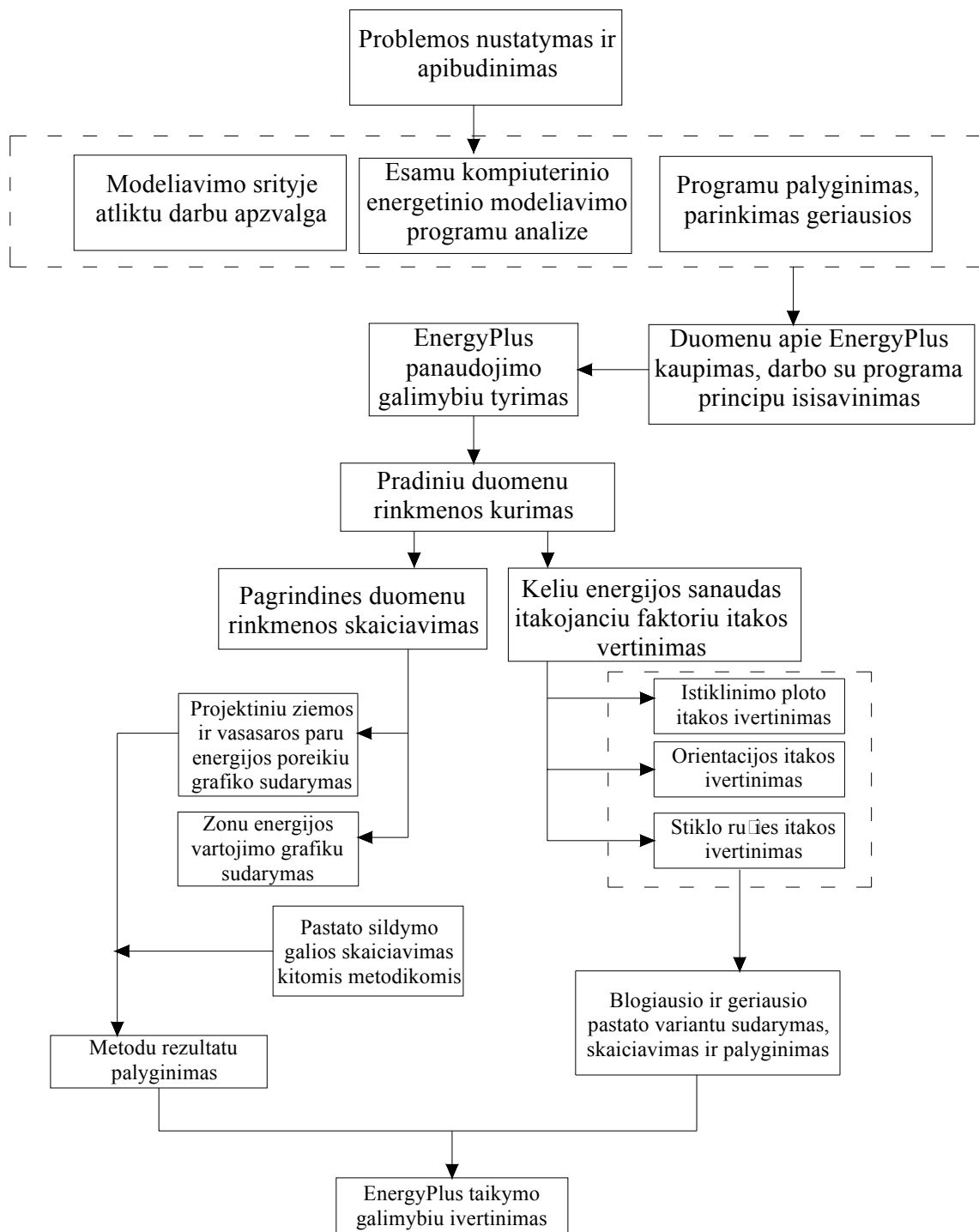
Darbe paskaičiuota įstiklinimo ploto, pastato orientacijos ir stiklo tipo įtaka pastato šildymo ir šaldymo galingumams per projektinę parą (rekomenduojama pagal ASHRAE). Taip pat nubraižyti energijos poreikio grafikai per projektines paras pastatui ir atskirai įvairioms zonoms.

Blogiausio ir geriausio pastato skaičiavimo rezultatai parodė, kad energijos sutaupymai tiek šildymui, tiek šaldymui galimi labai dideli. Tai leidžia teigti, kad modeliavimas yra naudingas ir padeda taupyti energiją dar pastato projektavimo stadijoje.

Atlikus šildymo galios paskaičiuotas su EnergyPlus palyginimą su dviem kitomis metodikomis (sustambinto skaičiavimo ir pagal galios normatyvus), buvo nustatytas pastato šildymo galios sumažėjimas, kuris siekė 28,6 %. Mažesnės apskaičiuotos galios lemia užsakovui santaupas perkant mažesnio galingumo įrangą. Tai dar viena priežastis, kodėl šis metodas turėtų būti taikomas.

Buvo prieita išvados, kad programa gali būti sėkmingai taikoma ir Lietuvoje. Tačiau komerciniams tikslams EnergyPlus programinė įranga yra mokama ir net ją įsigijus, reiktų specialiai apmokytų dirbti su šia programa žmonių. Dar vienas programos panaudojimą ribojantis veiksnys yra tas, kad projektiniai klimatiniai duomenys pateikiami tik Kauno, Vilniaus ir Klaipėdos miestams.

Žemiau pateikiama viso darbo struktūra ir atlikimo eiga.



1 pav. Darbo struktūra

2. Objektas ir problema

Mažėjant pirminės energijos ištekliais ir didėjant aplinkos užterštumui, imtasi griežtų priemonių siekiant sumažinti aplinkos užterštumą bei efektyviai panaudoti likusius energijos išteklius. Kyoto protokolas (1997 12 11), Europos Sąjungos strategija dėl atsinaujinančių šaltinių yra tik keli iš daugelio tą patvirtinančių dokumentų.

Lietuvai, kaip Europos Sąjungos (ES) narei, neišvengiamai reikės paklusti ES šalims keliamiems reikalavimams. Vienas iš pavyzdžių, atspindinčių Lietuvos siekį prilygti ES reikalavimams, yra Lietuvos Nacionalinė energetikos strategija, kurioje pabrėžiamas energijos vartojimo efektyvumo gerinimas bei atsinaujinančių energijos išteklių svarba.

Viena iš silpnųjų Lietuvos energetikos ūkio pusių yra ta, kad šalies ūkyje dar daug kur energija vartojama neracionaliai. Iki 1990 metų pastatytų gyvenamųjų namų ir kitų pastatų centrinio šildymo sistemos nepritaikytos racionaliai naudoti energiją, o joms modernizuoti reikia labai didelių investicijų. Tačiau, jei geriau panaudojus energijos taupymo galimybes galima sumažinti energijos poreikį bei energiją generuojančių galių augimo tempus ir kartu palengvinti aplinkosaugos problemų sprendimą, sumažinti investicijų poreikį [1].

Nustatant pagrindinius Nacionalinės energetikos strategijos tikslus, buvo atsižvelgta į Europos asociacijos sutarties, Energetikos chartijos sutarties, kitų tarptautinių sutarčių ir Europos Sąjungos direktyvų esminius reikalavimus bei nuostatas energetikos srityje, taip pat į Europos Sąjungos bei atskirų jos šalių narių energetikos politikos formavimo principus ir nuostatas [1].

Lietuvos ateities energetika – modernios visuomenės pažangios ekonomikos sudėtinė dalis, ekonomiškai pagrįstomis, atsižvelgiant į realias sąnaudas ir veiklos efektyvumą, kainomis, patikimai ir saugiai aprūpinanti energija visas ūkio šakas, nekelianti grėsmės aplinkai, sudaranti palankias sąlygas tolesnei šalies pažangai, integruota į Vakarų ir Rytų energetikos sistemas ir sugebanti konkuruoti atviroje tarptautinėje energijos rinkoje. Tai gerai subalansuoti energetikos sektoriai, sudarantys prielaidas tolesnei visuomenės raidai ir ekonomikos augimui [1].

Tikslinant ir atnaujinant Nacionalinę energijos vartojimo efektyvumo didinimo programą nustatyta, kad kai kuriuose Lietuvos Respublikos ūkio objektuose galima sutaupyti nuo 20 % iki 50 % dabar suvartojamo energijos išteklių kiekio. Didžiausia galutinės energijos dalis (apie 45 %) suvartojama namų ūkiuose, taip pat prekybos ir paslaugų sektoriuje (2000 metais suvartota 1,84 mln. tne). Čia yra daug galimybių taupyti energijos išteklius [1].

Daugiausia energijos išteklių suvartojama pastatams šildyti ir kondicionuoti. Lietuvos Respublikos reglamentai reikalauja priimti energetiniu požiūriu efektyvius sprendimus naujai statomuose pastatuose. Esamiems pastatams, suvartojantiems ir dar ilgai vartosiantiems didžiausią energijos išteklių ir energijos dalį, tokius reikalavimus taikyti ekonominiu požiūriu nepriimtina [2].

Vienas iš valstybės siekų taupant energiją yra skatinti esamų pastatų energetikos ūkio modernizavimą ir šių pastatų šiltinimą bei tam tikslui panaudoti daugiau lėšų iš ES struktūrinių ir kitų paramos fondų, skirtų energijos išteklių vartojimo efektyvumo didinimo projektams įgyvendinti [1].

Šiuo metu Lietuvoje ir kitose Baltijos šalyse, bei Lenkijoje, Čekijoje ir kitose ES šalyse sparčiai auga statybos apimtys. Statybų apimtis sukuria gana reikšmingą BVP dalį. Lietuvoje statybos sudaro 6 % BVP, o Europoje šis rodiklis siekia 10-13 % [3].

Sparčiai didėjant statybos mastams, ypatingai išaugo administracinės paskirties (ir ne tik) pastatų iš stiklo konstrukcijų statyba. Šiuo atveju statybos procesas žymiai sutrumpėja ir supaprastėja, tačiau tokio tipo atitvaros pasižymi mažu inertiškumu, o tai reiškia, kad tokie pastatai yra energetiškai neefektyvūs. Stikliniams pastatams, norint užtikrinti geras mikroklimato darbo vietose sąlygas, reikia suvartoti daug energijos vėsinimui vasarą ir šildymui žiemą.

Iš 1 lentelės matyti, kad administracinės paskirties pastatai pagal plotą yra antri po bendrojo lavinimo mokyklų, tačiau reikia atsižvelgti į tai, kad šie duomenys yra 1996 metų. Taigi situacija šiuo metu keičiasi: mokyklų jau nebestato, o administracinių pastatų statyba, kaip jau minėta, sparčiai išaugo. Nors neturima tikslių duomenų, bet galima teigti, kad šiuo metu administracinių pastatų plotas viršija mokyklų plotą [2].

1 lentelė. Lietuvos prekybos ir aptarnavimo sektoriaus pastatų plotai*

Eil. Nr.	Prekybos ir aptarnavimo sektoriaus pastatai	Plotas mln. m²
1	Ikimokyklinės įstaigos	0,9
2	Bendrojo lavinimo mokyklos	3,8
3	Spec. Vidurinės ir aukštosios mokyklos	1,4
4	Poliklinikos ir ligoninės	2,6
5	Administraciniai pastatai	3,1
6	Kiti pastatai	1,12

*NEVED-96 duomenys

Pagal dabar Lietuvoje galiojančias normas STR 2.01.01(6):1999 yra pateikti esminiai reikalavimai pastatui, tarp kurių yra toks reikalavimas: „kad naudojant pastatus būtų kuo mažesnės energijos sąnaudos, atsižvelgiant į vietovės klimatinės sąlygas ir pastato naudotojų reikmes“. Tose pačiose normatyvuose sakoma, kad: „Energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo reikalavimai turi būti užtikrinami statinio projektavimo, statybos ir naudojimo metu“.

Šis reikalavimas yra sunkiai įgyvendinamas, nes architektai, konstruktoriai, inžinerinių komunikacijų inžinieriai, ekonomistai ir kiti specialistai, rengdami bendrą projektą, dažnai kiekvienas atlieka projektą vertindamas tik iš savo specialybės pozicijų ir dažnai tarpusavyje nesuderina savo veiksmų kitais projektavimo proceso dalyviais [4].

Bendrų projektų įgyvendinimo metu vykdytojai turi tarpusavyje derinti veiksmus ir bendradarbiauti įvairiais klausimais, keistis reikalinga informacija. Tokioje situacijoje vienas iš racionaliausių būdų projektų efektyvumui didinti yra naujausių informacinių technologijų (IT) diegimas statyboje. Tačiau yra daugybė priežasčių, dėl kurių tos informacinės technologijos ne taip sparčiai, kaip norėtųsi, skverbiasi į statybą [4]:

- Pastato gyvavimo procese dalyvaujant daugeliui skirtingų organizacijų, gana sunku įdiegti bendrus informacinės technologijos naudojimo standartus, normas ir taisykles. Šių standartų, normų ir taisyklių nebuvimas dažnai yra pagrindinė priežastis, stabdanti informacinės technologijos naudojimą statyboje.
- Informacinės technologijos diegimas atskiroje organizacijoje ar atskiram darbui nėra toks efektyvus, palyginti su jos kompleksiniu diegimu platesniu mastu.

- Visavertiškai naudoti informacinę technologiją statybvietėje sudėtinga, kadangi yra gana sunku palaikyti ryšį su personalu, nuolat judančiu statybos teritorijoje. Be to, ne visose statybvietėse yra kompiuteriai ir ryšiai su jais.

- Statyboje dirba įvairaus išsilavinimo, skirtingos kvalifikacijos ir darbo kultūros žmonės. Tai taip pat stabdo informacinės technologijos naudojimą.

- Kai informaciją bendrai naudoja daug suinteresuotų grupių, atsiranda intelektualinės nuosavybės įstatyminės apsaugos problemos.

- Kaip juridinę galią turintys dokumentai gali būti perduodami elektronine forma, o ne ant popieriaus? Šioje srityje elektroninis parašas sudaro pagrindinę kliūtį.

Taigi reikia ieškoti neefektyvios energetinius požiūriu statybos problemos sprendimo būdų ir ypatingai didelį dėmesį skirti administraciniam pastatams, nes jų statoma daugiausia.

Dėl anksčiau minėtų priežasčių, tyrimų objektas buvo pasirinkti administraciniai pastatai, jų energijos sąnaudos.

Pagrindinis darbo tikslas buvo rasti metodą, padėsiantį dar projektavimo stadijoje arba renovacijos stadijoje atlikti detalią pastato energijos sąnaudų šildymui, vėdinimui ir kondicionavimui analizę, kuri padėtų rasti energetiškai optimalų variantą ir išspręsti neefektyvių energetiniu požiūriu pastatų statybos problemą. Tuo pačiu būtų vykdoma ES energijos vartojimo efektyvumo didinimo politika.

Kadangi greičiausiai ir tiksliausiai atlikti pastato energijos sąnaudų įvertinimą yra pasinaudojant kompiuterinėmis skaičiavimo programomis, tai buvo pasirinkta ieškoti geriausios kompiuterinės programos, kurią naudojant ateityje galima būtų atlikti kelių realiai egzistuojančių administracinių pastatų energijos sąnaudų analizę ir jas palyginti su normatyvuose nurodomomis reikšmėmis ir vėliau pakoreguoti tas reikšmes.

Šiame darbe apsiribojama tik geriausios iš esamų kompiuterinio modeliavimo programų paieška, jos analize ir įsisavinimu, vėliau - hipotetinio administracinės paskirties pastato šildymo ir šaldymo galingumų analize.

3. Kas yra „pastato energetinis modeliavimas“?

Pastato energetinis modeliavimas – tai mokslas apie pastate vykstančius procesus, kurie susiję su energijos vartojimu. Šis mokslas apima ne tik tiesiogiai pastate suvartojamos energijos, tokios kaip elektra apšvietimui ar dujos šildymui, analizę, bet ir energijos apykaitos, atsirandančios dėl infiltracijos ar žmonių išskiriamos šilumos analizę. Modeliavimas turi įvertinti minėtus faktorius, plius dar įvairius kitus, kurie turi įtakos pastato šildymo, šaldymo galiai. Taip pat modeliavimas padeda parinkti ŠVOK sistemų įrangą, apskaičiuoti jos galingumą. Šis būdas padeda įvertinti įrangos eksploatavimo išlaidas [5].

Pastatų energetinis modeliavimas naudojamas kaip pastatų projektavimo priemonė, padedanti nustatyti atitinkamumą standartams ir atlikti ekonominį pastato elementų optimizavimą. Modeliavimas gali būti naudojamas bet kokio dydžio pastatams, nuo vienos zonos gyvenamojo namo iki daug zonų turinčio didelio komercinio pastato, kuriame būna daug žmonių (mokykla, ofisas, ligoninė, supermarketas it pan.) [5].

Egzistuoja keli skirtingi pastato energetinės analizės metodai, kurie skiriasi sudėtingumu, tačiau visi metodai turi tris pagrindinius elementus: patalpų šildymo ir šaldymo galingumų skaičiavimą; antrinės įrangos galingumų skaičiavimą; pirminės įrangos galingumų skaičiavimą. Antrinė įranga yra ta, kuri paskirsto šildymo, šaldymo ar vėdinimo šilumnešį į kondicionuojamas patalpas, o pirminė yra centrinė įranga, kuri paverčia kurą ar elektrą į šilumą ar šaltį. Apskritai galima teigti, kad kuo metodas sudėtingesnis, tuo jis tikslesnis. Taip pat skaičiavimų tikslumas priklauso nuo to, kiek jam skiriama laiko (kuo daugiau – tuo geresnis rezultatas) [5].

3.1. Paprasti energetinio modeliavimo metodai

Paprasčiausias pastato energetinio modeliavimo metodas yra dienolaipsnių metodas. Šis metodas yra paprastas metinių energijos sąnaudų įvertinimas pasinaudojant atitinkamos vietovės klimatiniuose duomenyse nurodytais dienolaipsniais. Šis metodas gali būti sėkmingai naudojamas tik tiems pastatams, kuriuose pastato apkrovimas, ŠVOK įrangos efektyvumas, vidaus temperatūra ir vidiniai šilumos pritekėjimai yra santykinai pastovūs [5]. Dienolaipsnių metodas taip pat taikomas Lietuvoje.

Ten, kur ŠVOK įrangos efektyvumas arba naudojimo sąlygos kinta priklausomai nuo lauko temperatūros, energijos sąnaudos gali būti paskaičiuojamos esant skirtingoms lauko temperatūros reikšmėms ir padaugintos iš valandų, per kurias vyravo atitinkama temperatūra, skaičiaus. Šis metodas vadinamas dėžės metodu ir dažnai naudojamas ten, kur vėdinimo ar vidinių šilumos šaltinių galingumai kinta per parą arba, kur įrangos, tokios kaip šilumos siurbliai, efektyvumas yra funkcija nuo lauko temperatūros [5].

3.2. Dinaminiai energetinės analizės metodai

Kaip bebūtų, ankščiau minėti metodai neduoda tikslaus komercinių ir mokomosios paskirties pastatų įvertinimo. Dideli pastatai (t.y. didesni, nei vienos zonos gyvenamas namas) turi daugybę nuolat besikeičiančių vidinių ir išorinių faktorių, kurie sąlygoja šildymo ir šaldymo galias. Šie faktoriai turi būti įvertinti santykinai mažu laiko žingsniu, tokiu kaip valanda, tam, kad būtų gauti tikslūs skaičiavimai. Tokie skaičiavimai geriausia yra atliekami kompiuteriu pasinaudojant viena iš daugelio siūlomų programų. Dauguma tokio skaičiavimo programų yra paremtos ASHRAE šaldymo ir šildymo galių skaičiavimo algoritmais. Valandinis modeliavimas, kai skaičiavimai atliekami kiekvienai valandai per metus. Naudojant tokio pobūdžio kompiuterines programas galima atlikti dinaminį pastato modeliavimą [5].

„Valanda po valandos“ energetinio modeliavimo programos yra geros tiek, kiek kompetentingas jas vartojantis žmogus ir kiek teisinga jo pateikta informacija. Tai yra pagrindinis programų trūkumas. Išmokti dirbti su programa, įvesti duomenis iš pastato plano ir suvesti režimų duomenis užtrunka gan ilgai. Kiti trūkumai, bendri visiems energetinės analizės metodams, yra ŠVOK sistemų kontrolės idealizavimas; programos linkusios pateikti vidutinius pastato poreikius, o ne pikines galias. Dėl paskutiniosios priežasties programos dažnai neteisingai parenkamas įrangos galingumas. Kalbant apie modeliavimo programų privalumus, reikia paminėti, kad jos sudėtingas sistemas leidžia tiksliai modeliuoti ir įvertinti daug įvairių sistemų tipų, taip pat jos siūlo standartizuotą ir kartotinį skaičiavimo metodą, nes jomis galima lanksčiai optimizuoti sistemas, remiantis energijos suvartojimu ir skiriamomis energijai išlaidomis [5].

4. Energetinio modeliavimo srityje atliktų darbų apžvalga

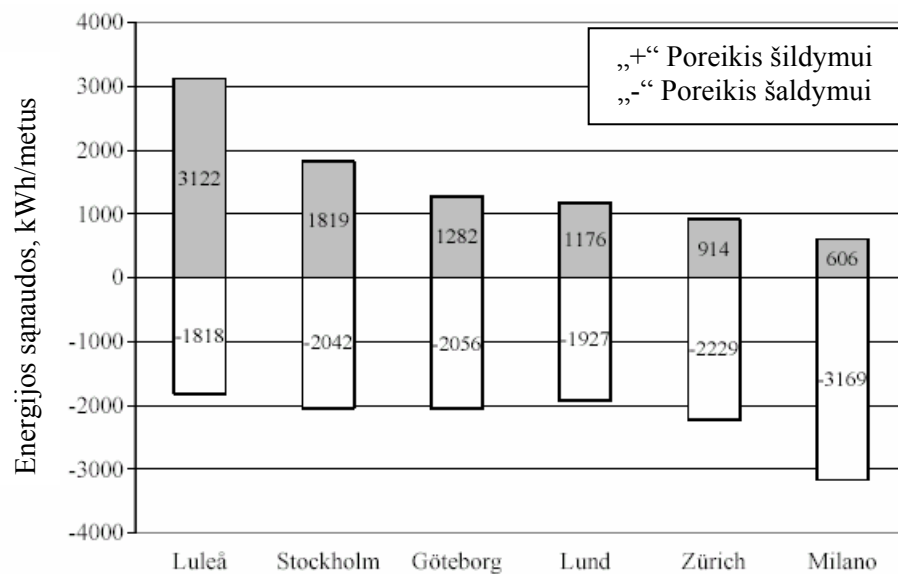
Kaip jau minėta prieš tai, energijos sąnaudų mažinimas yra aktualus tiek Lietuvos mastu, tiek Europos, tiek pasauliniu mastu. Visos išsivysčiusios šalys vykdo energijos vartojimo efektyvumo didinimo politiką.

Energijos vartojimas pastatuose yra vienas iš pagrindinių energetikos politikos objektų, todėl šia linkme yra nemažai dirbama, atliekami tyrimai ir analizės. Daugiausia šioje srityje yra pažengusios JAV. Būtent ten daugiausia sukuriami ir daugiausia paplitę pastatų energetinio kompiuterinio modeliavimo metodai. Europoje šie metodai dar tik žengia pirmuosius žingsnius. Žinoma, šių metodų pritaikymas visų pirma pradėtas analizuoti Vokietijoje, Austrijoje ir Švedijoje, Danijoje, Olandijoje ir kitose šalyse, kurių energetikos sektorius yra labai efektyvus, lyginant su kitomis Europos šalimis.

Tačiau tiek Europos šalyse, tiek JAV daugiausia dėmesio skiriama langų modeliavimo metodams. Tai nieko nuostabaus, nes langas yra vienas iš pagrindinių pastato elementų, darančių labai didelę įtaką pastato energijos sąnaudoms.

Švedijoje, pavyzdžiui, buvo atlikta 20 gyvenamųjų pastatų energijos sąnaudų mažinimo analizė, kai naudojami energetiškai efektyvūs langai. Modeliavimui buvo naudojama DEROB kompiuterinė programa ir analizė buvo atlikta ne tik Švedijos klimatui, bet palyginimui buvo atlikti skaičiavimai Milanui ir Ciurichui. Kadangi analizė buvo palyginamojo pobūdžio, tai buvo nagrinėjama įstiklinimo ploto įtaka, kai rėmo plotas buvo priimtas pastovus (rėmai geros kokybės, todėl daro labai mažą įtaką), lango tipo įtaka, orientacijos įtaka, namo gyventojų įtaka, nebuvo vertinama vėdinimo sistemos ir infiltracijos įtaka. Taip pat nebuvo vertinamas natūralus apšvietimas [6].

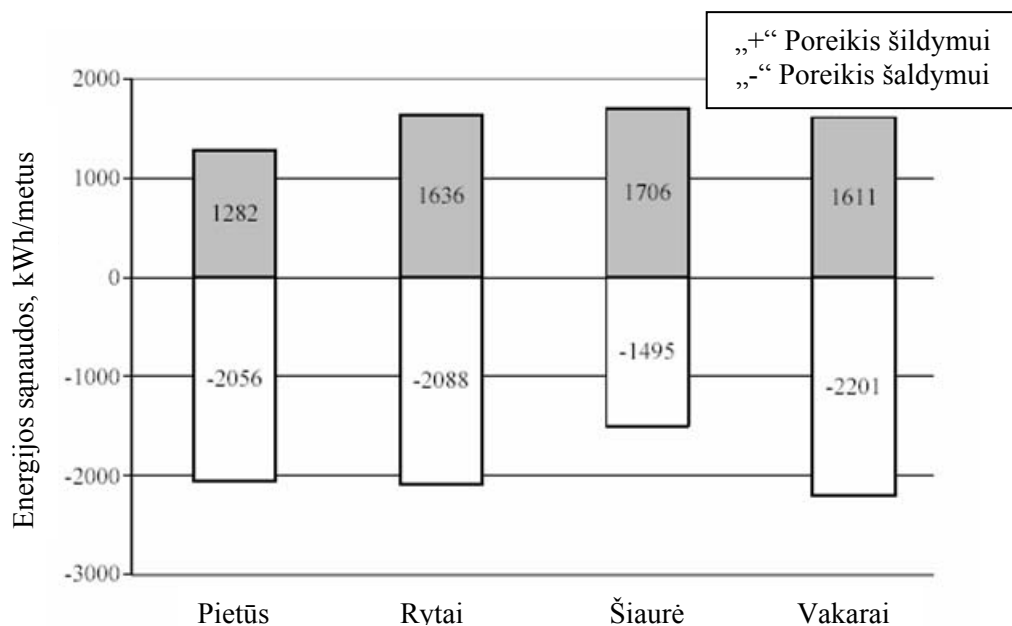
Atlikus šią analizę buvo gautos įvairios priklausomybės. 2 paveiksle parodyta, kaip priklauso energijos sąnaudos nuo klimato [6].



2 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo klimato.

Iš paveikslą matosi, kad šaldymo poreikis Švedijos pietuose (Lunde) yra beveik toks pat kaip ir Švedijos šiaurinėje dalyje (Luleå). Tai gali būti paaiškinama tuo, kad poliarinė diena trunka 24 val. [6].

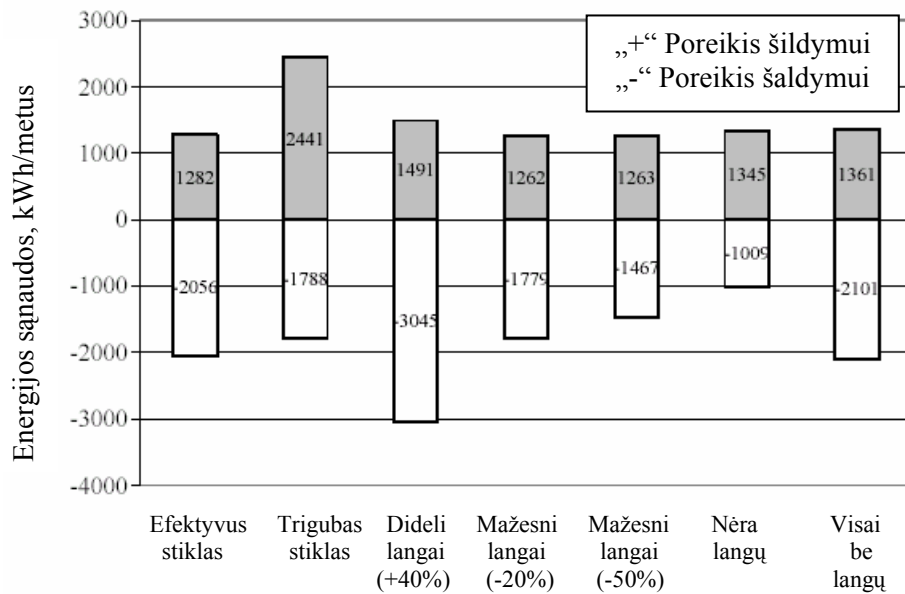
Paveikslas parodo, kaip priklauso gyvenamojo pastato energijos sąnaudos nuo jo orientacijos.



3 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo pastato orientacijos

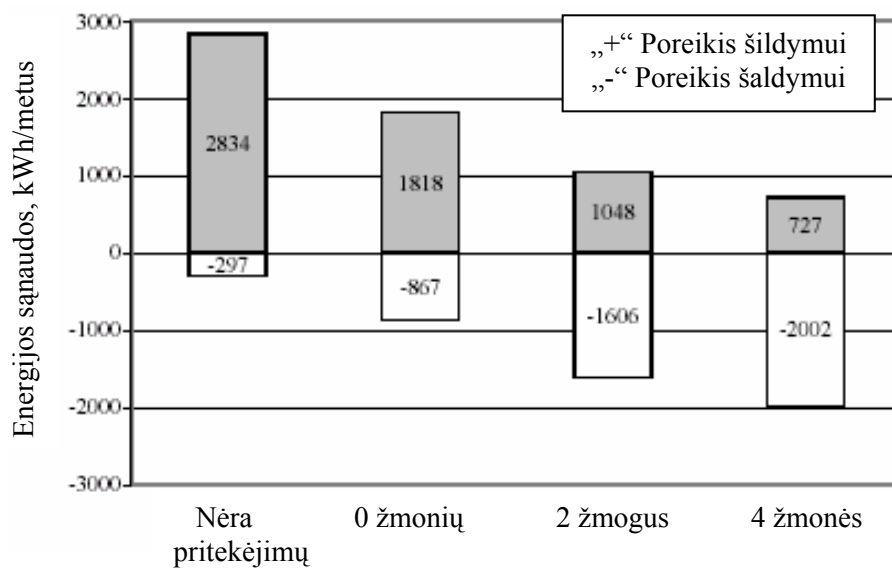
Kaip parodyta 3 paveiksle, mažiau energijos šildymui reikia tada, kai pastatas su dideliais langais orientuotas į pietūs. Langų orientavimas į rytus ar vakarus neįtakoja energijos balanso. Geriausia būtų padidinti šiaurinių langų plotą ir sumažinti pietinių [6].

Taip pat buvo ištirtas atvejis, kai naudojamas trigubas įstiklinimas, energetiškai efektyvus stiklas, kai įstiklinimo plotas didelis, kai jis mažas ir kai visai nėra lango. Analizės rezultatai pavaizduoti 4 paveiksle [6].



4 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo įstiklinimo tipo ir ploto

Remiantis aukščiau parodytu paveikslu, galima daryti išvadas, kad lango ploto mažinimas energetiniu požiūriu turėtų būti tarp 20 – 50 % [6].

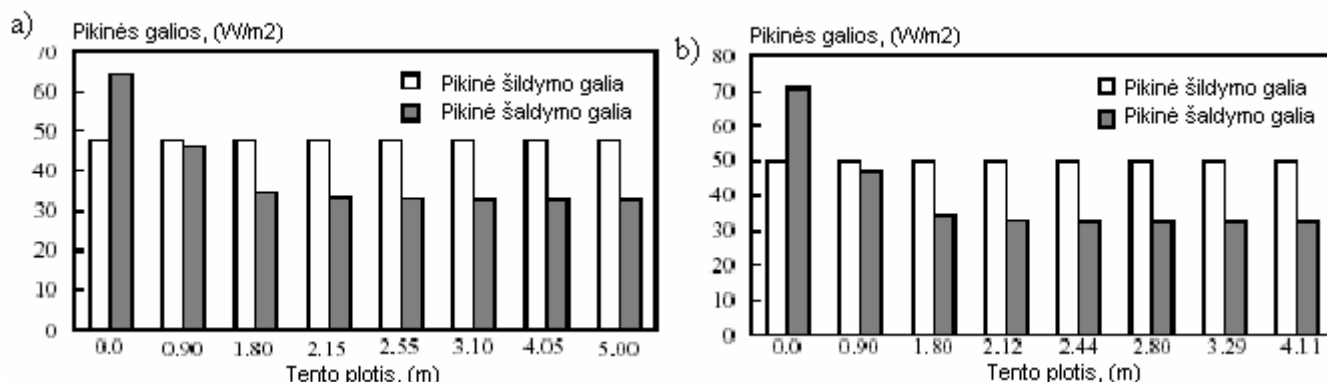


5 pav. Energijos sąnaudų priklausomybė nuo gyventojų skaičiaus

Kaip matosi iš 5 paveikslo, jei yra mažiau gyventojų, padidėja šilumos sąnaudos, o sąnaudos šaldymui sumažėja. Galima matyti, kiek reiktų pastatui energijos, jei jame visiškai niekas negyventų ir, kad maždaug 75 % šilumos gali būti gaunama iš namo gyventojų, kai jame gyvena 4 žmonės.

Taip pat Švedijoje buvo atliekama kita analizė naudojant modeliavimo programą DEROB-LTH. Buvo tiriama, kokio pločio reikia parinkti tentą, apsaugantį nuo saulės pritekėjimų per langus. Buvo

gautos energijos sąnaudų ir galingumų priklausomybės nuo tento pločio. Galingumų priklausomybės atvaizduotos 6 a, b paveiksluose [7].



6 pav. a) Pikinių galingumų pokytis, kai langai orientuoti į pietus; b) Pikinių galingumų pokytis, kai langai orientuoti į šiaurę.

Taigi naudojantis šiomis priklausomybėmis galima parinkti tento plotį. Nustatyta, kad sąlyginai siauri tentai (~2 m) gali būti efektyvūs ir šiauriniams ir pietiniams langams. Šios analizės autorė išvadose rekomenduoja naudoti taip pat ir vidines šešėliavimo priemones [7].

JAV buvo atlikta kitokio pobūdžio analizė, kurios tikslas buvo palyginti monitoringo duomenis su modeliavimo duomenimis. Čia modeliavimui buvo naudojama programa EnergyGauge USA, o monitoringo duomenys iš trijų gyvenamųjų namų, esančių Apopkoje, Floridoje. Rezultatai parodė, kad nuokrypis yra labai mažas, o kitimo tendencijos tos pačios [8].

Ten pat (JAV) buvo atlikta ir analizė administraciniams pastatams, kurie yra šiaurės Amerikoje, Los Andžele ir kitose vietose. Buvo naudojama DOE-2.1 modeliavimo programa. Buvo analizuojama, kokią įtaką šaldymo galingumui turi stogo spalva ir izoliacija. Priklausomai nuo vietovės, sutaupymai, kai stogas buvo baltos spalvos gavosi nuo 14 – 58 % [9].

Europai yra sukurta WIS kompiuterinė langų modeliavimo programa, kuri gan plačiai naudojama. Ji laikoma europine programa, nes sukurta pagal ISO ir EN standartus. Ši programa skirta ne tik langų, bet ir šešėliavimo elementų modeliavimui [10].

Labai daug analizių panaudojant modeliavimą buvo atlikta tiek Europoje, tiek JAV [11].

Taip pat yra atlikta saulės pritekėjimų per sieną analizė, panaudojant HELIOS modeliavimo programą. Šiame darbe buvo pristatytas naujas būdas, kaip paskaičiuoti pritekėjimus per sieną ir atlikta analizė su programa, abiem atvejais rezultatai skyrėsi nelabai daug [12].

Labai įdomi analizė buvo atlikta ieškant idealaus lango ploto. Buvo ieškomas optimalus variantas atsižvelgiant į energijos sąnaudas, natūralų apšvietimą ir dirbtinį apšvietimą. Buvo nagrinėjami kambariai su 10 skirtingų matmenų ir 5 kambario matmenų proporcijomis. Ši analizė buvo atlikta naudojant VisualDOE programą [13].

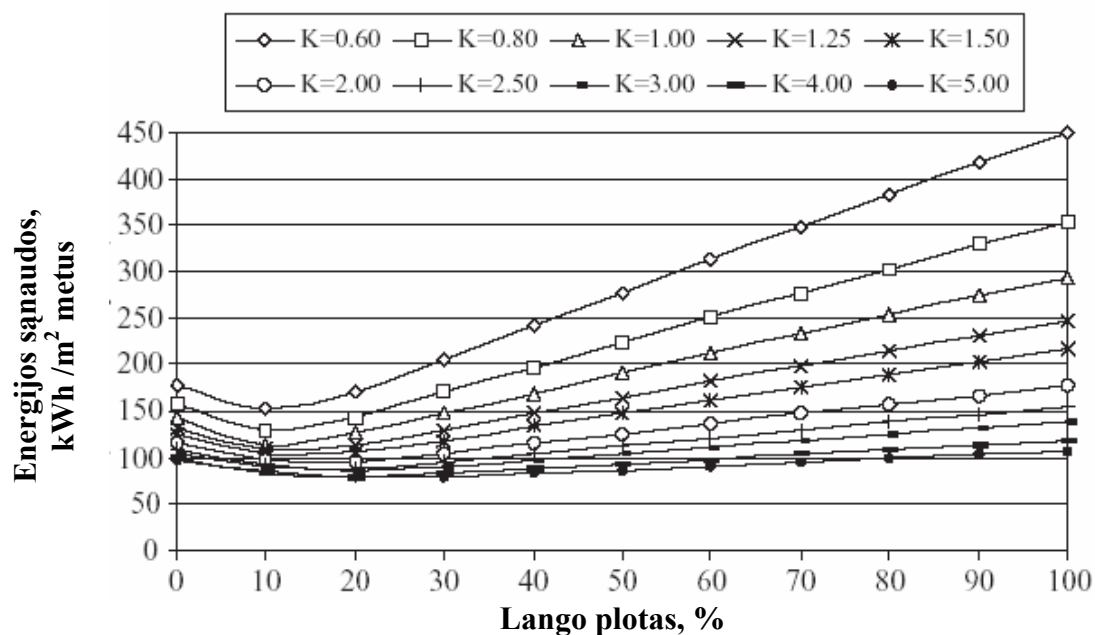
Čia buvo pasiūlytas metodas, kurio pagrindinis rodiklis yra kambario indeksas K . K yra bedimensinis dydis, kuris išreiškia santykį tarp ploto, perimetro ir montažinio aukščio tarp grindų ir darbinių paviršių. Taigi K apskaičiuojamas pagal formulę [13]:

$$K = \frac{WD}{(W + D)h'}, \quad (1)$$

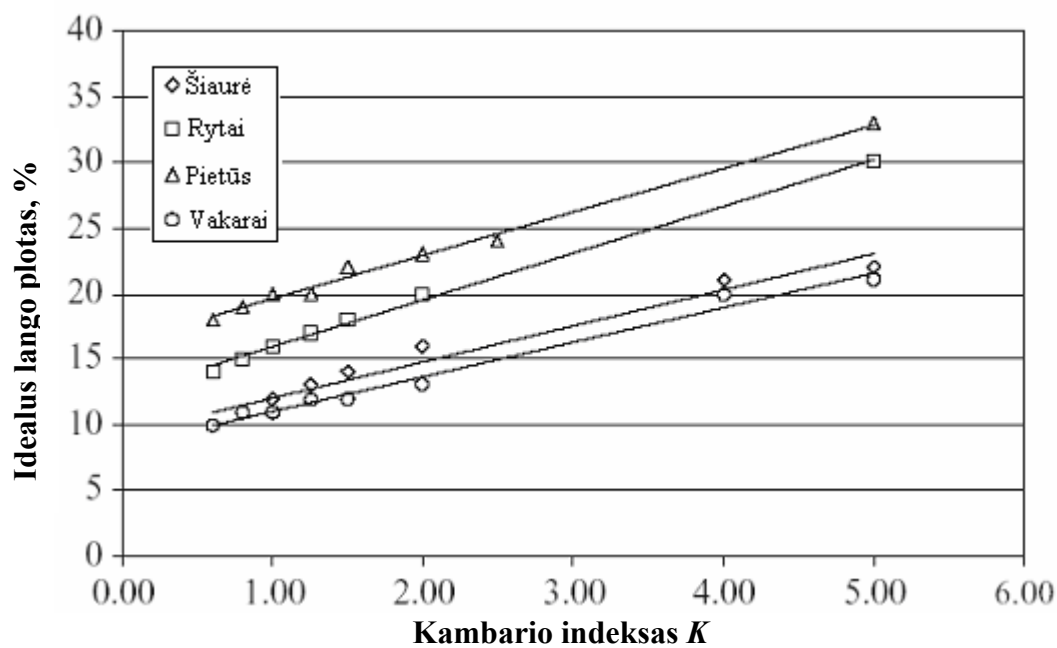
kur: W - kambario plotis (m), D - kambario gylis (m), h' – montažinis aukštis tarp lubų ir darbinių paviršių (m).

Idealiu lango plotu laikomas toks, kai energijos suvartojimas yra mažiausias. Šios analizės rezultatai pavaizduoti grafiškai 7 ir 8 paveiksluose.

Taip pat buvo padaryta išvada, kad mažesnės patalpos, o taip pat platesnės patalpos turi didesnę energijos taupymo dėl apšvietimo potencialą. Didesnis įstiklinimas galimas langams orientuotiems į tas pasaulio šalis, kur saulės šilumos pritekėjimai mažesni. Kuo kambarys siauresnis ir ilgesnis, tuo didesnis idealus lango plotas ir kuo didesnis kambarys, tuo mažesnės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui grindų [13].



7 pav. Energijos sąnaudos, kambariui Florianopolyje (Brazilija), matmenų santykis 2:1, Šiaurinė orientacija



8 pav. Idealus lango plotas, priklausomai nuo K , kambariui Florianopolyje (Brazilija), matmenų santykis 2:1

Šioje analizėje pristatyta metodologija, kuri gali būti taikoma bet kokioms patalpoms, bet kokioje vietovėje [13].

Apibendrinant galima pasakyti, kad kompiuterinis modeliavimas yra gan gerai žinomas ir yra atlikta įvairaus pobūdžio analizių, kurių visų net trumpai apibūdinti neįmanoma. Kiekviena analizė yra savaip įdomi ir reikalinga, nes net atliekant tokia pačią analizę kitam pastatui, gausite visada kitokius rezultatus, todėl reikia kiekvieną pastatą nagrinėti atskirai.

5. Kompiuterinės pastato energetinio modeliavimo programos

Pasaulyje yra sukurta nemažai įvairių kompiuterinio modeliavimo programų, kurias taikant yra modeliuojami pastatai ir jų ŠVOK sistemos. Galima paminėti tokias populiariausias programas, kaip BLAST, DOE-2, EnergyPlus, Energy10, C-2000, DAE, TRNSYS, HAP 4.0, Trace ir daugybę kitų. Kiekviena iš šių programų turi savo privalumų ir trūkumų, todėl svarbiausia išsirinkti atliekančią tiksliausius skaičiavimus ir turinčią daugiausia funkcijų.

5.1. Energy10 programa

Energy10 ypatinga visų pirma tuo, kad ji turi funkciją AutoBuild, kuri supaprastina ir pagreitina pastato aprašymą. Pastatas gali būti aprašytas dar prieš projektavimą, todėl reikia žinoti vietovę, bendrą statinio plotą ir paskirtį. Taip pat gerai būtų žinoti, kokio jis bus aukštingumo ir kokio tipo bus ŠVOK sistemos. Žinant šiuos duomenis galima aprašyti paprastą stačiakampį pastatą [14].

Kitas išskirtinis Energy10 bruožas yra tas, kad ši programa turi funkciją, kuri leidžia automatiškai pritaikyti kelias energijos vartojimo strategijas, bet jos nėra privalomos. Programa taip pat skaičiuoja ŠVOK galingumus [14].

Kai jau prasideda projektavimo procesas, projektuotojas turi patikslinti pastato aprašymą. Energy10 pagrįsta principu, kad viskas yra standartizuota, tačiau viskas gali būti keičiama [14].

Energy10 gali pateikti daugybę grafinių rezultatų, tai palengvina jų įvertinimą, nes vertinti milijardus atliktų skaičiavimų būtų be galo sudėtinga. Programos pateikiami grafikai vaizduoja tipinius modeliavimo rezultatus. Modeliavimo privalumas yra tas, kad juo dėka pateikiamas realus vaizdas, kuris rodo, kaip pastatas funkcionuos, priklausomai nuo nurodytų specifikacijų ir darbinių nustatymų, tokių kaip termostato nustatymai, HVAC kontrolės nustatymai ir vidiniai pritekėjimai. Grafikai leidžia ne tik greitai įvertinti skaitinius rezultatus, bet ir suprasti priežastis, kodėl gauti būtent tokie rezultatai. Šios žinios suteikia galimybę išvystyti geriausią projekto strategiją [14].

Energy10 skaičiuojamas šilumos perdavimas iš taško į tašką visame pastate per modeliuojamus metus. Visi klimatiniai duomenys yra sudaryti remiantis daugybės metų vidutinėmis reikšmėmis [14].

Modeliuodama Energy10 detaliai įvertina saulės pritekėjimus per langus, įeinančius ir išeinančius šilumos srautus per sienas, pastatų šiluminę inerciją ir ŠVOK sistemų veikimą. Modeliavimas atliekamas ištisiems metams, sumuojant valandines energijos sąnaudas per mėnesį, o susumavus mėnesines – gaunama metinė suma. Paskaičiuojamos mėnesinės išlaidos, po to ir metinės. Tai tarsi pastato stebėseną prieš jį pastatant [14].

Šiluminė analizė atliekama naudojant šiluminio tinklelio matematinio modeliavimo būdą. ŠVOK analizė remiasi pusiau stacionarios būsenos principu [14].

Viso pasaulyje yra apie 1600 Energy10 vartotojų [15].

5.2. TRNSYS programa

TRNSYS (The Transient Energy System Simulation Tool) naudojama jau 30 metų. Iš viso pasaulyje yra 2000 šios programos vartotojų [2]. TRNSYS yra sukurta modeliuoti kintamą šiluminių sistemų veikseną laiko požiūriu. TRNSYS naudojama Fortan programavimo kalba. Nurodant laike nekintančius ir kintančius įrangos parametrus, programa gali paskaičiuoti nuo laiko priklausančius parametrus. Programoje yra aprašomi atskiri jos komponentai ir jų grafiniai vaizdai jungiami į sistemą. Tada TRNSYS variklis, remdamasis įvestais duomenimis, atlieka iteracijas pagal kiekvieną laiko žingsnį, kol neišsprendžia sistemos lygčių [16].

Skirtingai nei daugumos modeliavimo įrankių, TRNSYS leidžia vartotojui išsamiai aprašyti ir stebėti visus ryšius tarp sistemos komponentų. Modeliavimas gali būti atliekamas vartotojo nurodytu žingsniu, kuris gali būti nuo kelių valandų iki kelių sekundžių (priklauso nuo analizuojamo proceso). Programa leidžia vartotojui kurti modulių konfigūracijas iš tiek siurblių, šaldymo mašinų, saulės kolektorių ir pan., kiek jam reikia [16].

Kadangi TRNSYS naudojama Fortan programavimo kalba, vartotojas gali laisvai kurti naujas TRNSYS technologijas, kurios neįtrauktos į programos standartinę duomenų bazę. Programoje yra 72

standartiniai komponentai, skirti ŠVOK sistemų, zonų kontrolės, saulės kolektorių ir vėjo turbinų projektavimui. Taip pat įtraukti naudingi modeliavimui komponentai, kurie skirti pradinių duomenų failui reikalingi klimatiniai duomenys ir svarbios funkcijos bei rezultatų failų sistema [16].

TRNSYS taip pat yra viena iš nedaugelio programų pasaulyje, kurioje pastato modelis veikia „temperatūros kontrolės lygyje“. Tai leidžia nustatyti tikrą pastato dinaminę reakciją [16].

Viena iš nuolatinių kompleksinio energetinių sistemų modeliavimo problemų yra tyrimo rezultatų perdavimas. Paprastai modeliuotojas užrašo rezultatus į ataskaitą ir pateikia klientui. Jei klientas nori kažką pakeisti, jis yra priverstas eiti atgal pas modeliuotoją, kad jis perskaičiuotų tiriamą atvejį. Be abejonės, galingiausias TRNSYS bruožas yra metodas, vadinamas TRNSED, kuri leidžia TRNSYS vartotojams pasidalinti darbą su žmonėmis, kurie nenaudoja šios programos ir net nėra technikos specialistai. TRNSYS programuotojui standartinė duomenų rinkmena (failas) yra santykinai lengvai skaitoma ir koreguojama, tačiau tiems, kas nedirba su šia programa, tai gali būti gan sudėtinga. Naudojant TRNSED galima peržiūrėti ir redaguoti rinkmenas panaudojant ir kitas pagalbines grafines programas (interfeisus) [16].

5.3. ASEAM programa

ASEAM (A Simplified Energy Analysis Method) yra metodas, skirtas energijos sąnaudų skaičiavimui gyvenamuose pastatuose ir nesudėtinguose administracinės paskirties pastatuose. ASEAM remiasi ASHRAE duomenų baze, ji pritaiko tarifus ir reikalavimus, kurie būdingi artimiausiai esančiai vietai, ir pagal šiuos duomenis apskaičiuoja metines ir mėnesines energijos išlaidas. Kaip ir kitos modeliavimo programos, siekiant sutaupyti energijos, ji leidžia keisti pastato charakteristikas ir taikyti efektyvesnę įrangą. Turint šias paskaičiuotas išlaidas ir panaudojant BLCC (Building Life Cycle Cost) gyvavimo ciklo kaštų įvertinimui, gali būti įvertintas galutinis sutaupymų dydis [17].

Tikimasi, kad ateityje šios programos naujos versijos sugebės atlikti dinaminių procesų skaičiavimus. Ši programa yra nemokama ir atnaujinama kas keleri metai [17].

5.4. BDA programa

BDA (Building Design Advisor) yra kompiuterinio modeliavimo programa, integruojanti daugybę modeliavimo įrankių ir duomenų bazių, kurie padeda sukurti vieną bendrą pastato komponentų ir sistemų vaizdą. BDA atlieka duomenų tvarkytojo ir kontrolieriaus vaidmenį ir leidžia pastato projektuotojams atlikti visapusišką pastato analizę ir rasti naudingiausią variantą dar projektavimo stadijoje. BDA veikia Windows aplinkoje ir yra susieta su schematišku grafiniu redaktoriumi (Schematic Graphic Editor) ir dviem supaprastintais modeliavimo įrankiais, kurių vienas skirtas natūralaus apšvietimo, o kitas energetinei analizei (DOE-2). BDA turi mechanizmą, kuris parenka standartines parametrų reikšmės, kurių nenurodė vartotojas [18,19].

BDA galima išsaugoti įvairias analizės alternatyvas ir jas peržiūrėti kaip dvimačius, trimačius vaizdus, taip pat vaizdo ir garso formatais [19].

5.5. BLAST, DOE-2 ir EnergyPlus programos

Kadangi EnergyPlus buvo sukurta, sujungus dvi seniai egzistuojančias energetinio modeliavimo programas BLAST (Building Load Analysis and System Thermodynamics) ir DOE - (Department of Energy 2) ir jas patobulinus, tai tikslinga aptarti jas visas kartu.

Kadangi BLAST ir DOE-2 sukurtos pirmos kartos kompiuteriams, tai jų galimybių praplėtimas bėgant laikui tapo gana sudėtingas, užimantis daug laiko ir brangus. Prieš 20 metų buvo labai didelis galingumų analizės ir skaičiavimo metodų poreikis, todėl šios programos buvo plačiai pritaikytos [20].

1996 m. JAV federalinė agentūra pradėjo EnergyPlus - naujos pastato energijos modeliavimo programos vystymą. EnergyPlus, lyginant su BLAST ir DOE-2, apima daugybę naujų modeliavimo galimybių, tokių kaip kintamas laiko žingsnis; vartotojo konfigūruojamos modulinės sistemos, kurios yra integruotos su šilumos ir masės balansu pagrįstu zonų modeliavimu; pradinių duomenų ir rezultatų rinkmenų struktūra yra tokia, kuri palengvina vartotojo naudojimąsi programa. Kitos numatytos

modeliavimo galimybės apima tarpzoninio oro srauto, elektrinio galingumo ir saulės pritekėjimų modeliavimą [20].

Pagrindinis skirtumas tarp programų yra galingumų skaičiavimo metodas – DOE-2 naudoja kambario svorio faktoriaus metodą, o BLAST naudoja šilumos balanso metodą. Abi šios programos yra plačiai naudojamos visame pasaulyje [20].

Kiekviena programa apima šimtus papildomų skaičiavimo būdų derinių pastato energijos ir masės srautų modeliavimui. Kai kuriais atvejais papildomi skaičiavimo būdai DOE-2 buvo tikslesni. Kitais atvejais jie buvo tikslesni BLAST. Tačiau abiem atvejais modeliavimo metodai yra tiek sudėtingi, kad juos sunku būna sekti, nes visgi jie buvo plėtojami dešimtmečius ir daugelio autorių. Kadangi programoje duomenys įvedami „spageti kodais“, todėl, norint suprasti, kaip veikia programa, reikia turėti ne vienerių metų darbo su šio tipo kodais praktiką [20].

Bėgant laikui DOE-2 ir BLAST priežiūra, keitimas ir tobulinimas tapo brangus dėl daugiau nei 20 metų senumo kodų ir senos Fortrano programavimo kalbos. Kai 1995m. DOD nustojo remti BLAST, buvo pasinaudota proga sujungti BLAST ir DOE-2 išteklius, komandas, geriausias galimybes ir bruožus. Paskutinė BLAST versija buvo išleista 1998 m. pavasarį, DOE-2 paskutinė versija taip pat buvo išleista 1998 m. pavasarį. Iš pradžių kūrėjai manė, kad iš šitų dviejų programų sukurs vieną „geriausią“, bet po to paaiškėjo, kad bus greičiau, pigiau ir paprasčiau perrašyti šią programą naudojant naujus kodus. Todėl EnergyPlus buvo sukurta kaip visiškai nauja programa, nors ir paremta DOE-2 ir BLAST galimybėmis ir savybėmis. EnergyPlus turi visai naujus kodus, parašytus Fortran 90. Visų pirma tai yra modeliavimo variklis - nėra grafinė programa (interfeisas). Pradiniai duomenys ir skaičiavimo rezultatai yra atskiriami kableliu, daug lengviau įvedami duomenys, nei DOE-2 ir BLAST [20].

EnergyPlus programoje naudojama integruota sprendimo technika, todėl didžiausi BLAST ir DOE-2 modeliavimo trūkumai gali būti pašalinti. Vienas iš pagrindinių trūkumų, kurio neturi EnergyPlus - netikslus temperatūros nustatymas dėl to, kad nėra atgalinio ryšio iš ŠVOK modulio. Tikslus patalpos temperatūros nustatymas yra lemiamas veiksnys nustatant energetinį efektyvumą, nes nuo patalpos temperatūros priklauso sistemos dydis, įrangos dydis, žmonių komfortas ir sveikata [20].

Integruotas modeliavimas taip pat leidžia vartotojui įvertinti daugybę procesų, kurių nei BLAST, nei DOE-2 negali tiksliai įvertinti. Kai kurie iš svarbesnių procesų, kuriuos įvertina EnergyPlus [20]:

- Reali sistemos kontrolė;
- Pastato atitvarų drėgmės adsorbcija ir desorbcija;
- Spindulinės šildymo ir šaldymo sistemos;
- Oro judėjimas tarp zonų.

EnergyPlus pasaulyje naudoja apie 7000 žmonių, o DOE-2 – apie 2500 [15].

6. Kompiuterinių modeliavimo programų palyginamoji analizė

Šiame skyriuje pateikiamas programų palyginimas, kuris nurodomas įvairiuose šaltiniuose ir įvairiais aspektais. Šaltinyje [19] pateikiamas kelių minėtų programų privalumų ir trūkumų palyginimas:

2 lentelė. Programų privalumai ir trūkumai

Privalumai	Trūkumai
EnergyPlus	
• Tikslus, detalus, kompleksinis modeliavimas. • Labai detalus objekto aprašymas. • Sėkmingai galima naudoti kartu su grafinių CADD programų sąsajomis (interfaces), programa atpažįsta pastato geometriją. • Klimatiniai duomenys yra surinkti iš daugiau nei 550 vietovių iš viso pasaulio.	• Sudėtinga naudoti be papildomų grafinių programų sąsajų (interfeisų).
BLAST	
• Naudoja detalų šilumos balanso algoritmą, kuris leidžia atlikti šiluminio komforto analizę ir analizuoti kitus faktorius, kurie negali būti analizuojami su kitomis, mažesnio tikslumo programomis.	• Reikalingas aukštas vartotojo žinių apie programą ir kompiuterius lygis.
DOE-2	
• Detalus, valandinis viso pastato energetinis zonų kompleksinis modeliavimas. • Atpažįstama daugelio kitų programų ir jose naudojama.	• Reikalingas tam tikras vartotojo žinių apie programą ir kompiuterius lygis.
BDA	
• Atpažįsta grafinius pastato vaizdus ir nereikia atskirai aprašinėti pastato geometrijos. • Nereikia turėti daug žinių, kad būtų galima naudotis šia programa.	• Ribota pastato savybių ir sistemų duomenų bazė.

2 lentelės tęsinys

Privalumai	Trūkumai
Energy10	
• Valandinis modeliavimas. • Viskas gali būti redaguojama. • Puiki mokomoji priemonė. • Gyvavimo ciklo kaštų analizė. • Klimatinė specifika.	• Ne visos strategijos yra aktyvios.

Šaltinyje [15] pateiktas kelių svarbesnių programų palyginimas pagal konkrečius kriterijus.

3 lentelė. Programinės įrangos galimybės

	<i>Energy10</i>	<i>DOE-2</i>	<i>EnergyPlus</i>	<i>TRNSYS</i>
Supaprastintas duomenų įvedimas	●	○		
Sąsaja su CAD programomis		○	●	●
Sąveikaujantis su kitomis programomis			●	○
Apšvietimo modeliavimas		○	○	
Natūralaus apšvietimo modeliavimas	●	●	●	
Stiklo įtakos detalus skaičiavimas	○	●	●	○
Ventiliuojamas fasadas				
Išoriniai šešėliuojantys įrenginiai	○	●	●	○
„Šalti“ stogai	○	●	●	●
Drėgmės adsorbcija			●	○
Pasyvi saulės šiluma	○	●	●	●
Garinančios saulės sienos				
Fotoelementai			●	●
Šiluminis komfortas		○	●	●
Radiacinis šildymas /šaldymas			○	●
Vietinis vėdinimas				
Nusausinimas		●	●	●
Vamzdžių nuotėkis	●	●		●
Šilumos atgavimo sistemos		●	●	

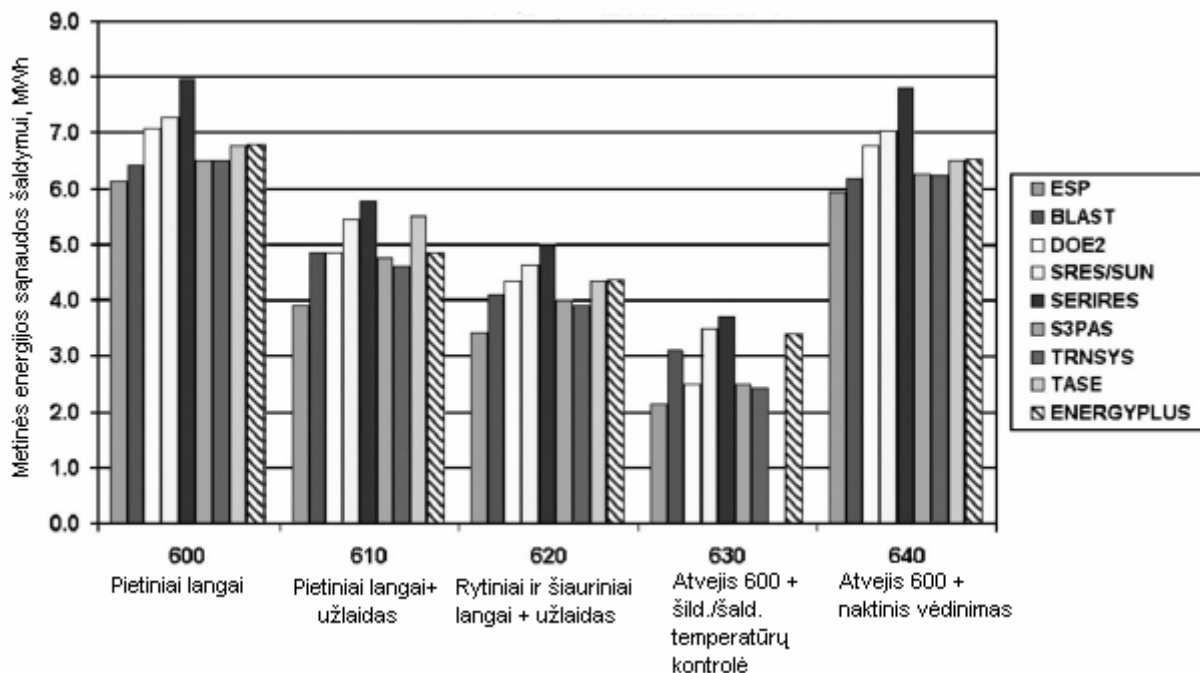
Žymėjimai, parodantys, kaip išvystytos programos galimybės:

- – gerai išvystytos galimybės,
- – silpnai išvystytos galimybės.

Iš 2 ir 3 lentelės galima daryti išvadas, kad EnergyPlus visgi turi daugiausia galimybių, lyginant su kitomis minėtomis programomis.

Kuriant EnergyPlus buvo atliekamas lyginamasis analitinis testavimas. Testuojant buvo vadovaujama ASHARE standartu 140-2001 (ASHRAE 2001), t.y. jame nurodytais įvairiais testavimo būdais, skirtais stiklo lengvųjų konstrukcijų ir mūro konstrukcijų pastatų analizei. Paveiksle xx parodyta

įvairių programų skaičiavimo rezultatai. Kaip matosi iš grafiko, EnergyPlus rezultatai panašūs į daugumos kitų programų. Tai reiškia, kad reikšmingų klaidų programoje negali būti [21].



9 pav. Lyginamieji testavimo rezultatai. Lengvųjų konstrukcijų pastatas

Taigi šiuo metu kaip geriausia visgi yra pripažinta EnergyPlus programa.

7. EnergyPlus energetinio modeliavimo programos detalus aprašymas

Kadangi ankščiau buvo įrodyta, kad EnergyPlus yra kol kas geriausia energetinio modeliavimo programa, tai ji ir buvo toliau detaliau nagrinėjama.

EnergyPlus kūrimo komandoje dalyvauja JAV kariuomenės inžinerinių konstrukcijų tyrimų laboratorija (CERL), Ilinojaus universitetas, Lawrence Berkeley nacionalinė laboratorija (LBNL), Oklahoma valstijos universitetas (OSU), GARD analitikai ir DOE [20].

Šios programos Beta versijos testavimas buvo pabaigoje, o pirmoji versija buvo išleista 2001. Ši programa naudojama JAV ir Kanadoje. Bercley universitete yra šios programos dėstymo kursas, kuris trunka 3 semestrus. Tai reiškia, kad programa nėra taip lengvai suvokiama, nes ji susideda iš kelių programinių rinkmenų (failų) ir ji turi labai plačias energetinio modeliavimo galimybes.

EnergyPlus buvo gauta kaip visiškai nauja programa, nors ir paremta DOE-2 ir BLAST galimybėmis ir savybėmis. EnergyPlus turi visai naujus kodus, parašytus Fortran 90. Visų pirma tai yra modeliavimo variklis, ji neturi grafinės pagalbinės programos (interfeiso) [20].

Vienas iš pagrindinių tikslų kuriant EnergyPlus buvo sukurti gerai organizuotą modulinę struktūrą sukuriant ryšius su kitomis programomis panaudojant jų bruožus.

7.1. EnergyPlus struktūra

Periodinis modeliavimas reikalauja, kad būtų sukurta programa, kai įvertinamas dizainas, aplinka, ekonomika, komfortas ir saugumas. Projektuotojams reikia įrankių, kurie padėtų atsakyti į specifinius klausimus, atsiradusius projektavimo metu. Jie nori tokių įrankių, kurie siūlo aukščiausio tikslumo modeliavimą. Vienas iš aukščiausių prioritetų yra teikiamas galimybei kuo tiksliau sumodeliuoti temperatūros ir komforto prognozes [20].

Atsižvelgiant į šiuos pageidavimus, programos kūrėjai nusprendė, kad integruota modeliavimo programa turi būti esminė EnergyPlus koncepcija. Galingumai skaičiuojami (pagal šilumos balanso variklį) pagal vartotojo nustatytą laiko žingsnį (pagal nutylėjimą 15 min.), jie pereina į pastato sistemų modulio modeliavimą tokiu pačiu laiko žingsniu. Pastato sistemų modeliavimo modulis su kintamu laiko žingsniu (net iki sekundžių) apskaičiuoja šildymo ir šaldymo sistemų įrangos galingumus [20].

EnergyPlus programa turi trys pagrindinius komponentus – modeliavimo valdytoją, šilumos ir masės balanso modeliavimo modulį ir pastato sistemų modeliavimo modulį. Modeliavimo valdytojas kontroliuoja visą modeliavimo procesą. Pastato sistemų modeliavimo valdytojas atsako už ryšius tarp šilumos balanso mechanizmo ir įvairius ŠVOK modulius ir įrangą, tokią kaip šilumokaičiai, katilai, vandens šaldymo mašinos, siurbiai, ventiliatoriai ir kitą įrangą / komponentus. Pastato sistemų modeliavimo valdytojas taip pat kontroliuoja sąveiką ir duomenų apsikeitimą tarp EnergyPlus ir SPARK, TRNSYS programų. EnergyPlus yra galimybė keisti standartinių šildymo ar šaldymo sistemų komponentus. Tai leidžia vartotojui daug laisviau pasirinkti ir palyginti įvairiausius sistemų variantus. Pastato sistemų modeliavimo modulis valdo duomenų sąveiką tarp ŠVOK modulių, pradinių duomenų ir rezultatų duomenų struktūros [20].

7.2. Kaip EnerguPlus sudaromas šilumos ir masės balansas

Pagrindinė šilumos balanso modelių prielaida yra ta, kad oras kiekvienoje šiluminėje zonoje gali būti modeliuojamas, įvertinamas jo maišymasis, kai temperatūra visoje zonoje yra pastovi. Nors tai ir nelabai atitinka realybę, vienintelė alternatyva yra skaičiuojamoji fluidų dinamika (Computational Fluid Dynamics (CFD)) – kompleksinis skaičiuojamasis intensyvus skysčio (šiuo atveju oro) judėjimo modeliavimas. Šiuo metu CFD yra naudingiausia atliekant tyrimus. Kita esminė prielaida, kuri daroma sudarant šilumos balansą yra, kad kambario paviršiai (sienos, langai, lubos ir grindys) turi pastovias temperatūras, spinduliuoja vienodo ilgio trumpąsias ir ilgąsias bangas, spinduliavimo paviršiai išsklaidyti ir vyksta vienmatis laidumas [20].

7.3. EnergyPlus integruotas modeliavimo valdytojas

EnergyPlus atlieka pilnai integruotą galių, sistemų ir įrangos modeliavimą. Integruotas modeliavimas leidžia sumodeliuoti našumus daug realiau, jis glaudžiau susieja sistemos ir įrangos oro ir vandens kontūrus [20].

Šis valdytojas valdo paviršių ir oro šilumos balanso modulius ir atlieka pagalbinės grafinės programos (interfeiso) tarp šilumos balanso ir pastato sistemų modeliavimo valdytojo vaidmenį. Paviršių šilumos balanso modulis modeliuoja paviršiaus šilumos balanso viduje ir išorėje; vidiniai ryšiai tarp šilumos balanso ir kraštinių sąlygų; ir konvekcijos, laidumo, spinduliavimo ir masės pernešimo efektų. Oro masės balanso modulis sprendžia įvairias masės sroves, tokias kaip vėdinimo oras, ištraukiamas oras ir infiltracija. Jis atsako už zonos oro šiluminę masę ir įvertina tiesioginius konvencinius šilumos pritekėjimus. Per šį modulį yra jungiamasi prie COMIS, kurio pagalba atliekami multi zonų, infiltracijos, patalpų teršalų ir vėdinimo skaičiavimai [20].

Kaip priedai prie šilumos balanso modulio dar yra sukurti trys nauji moduliai: natūralus apšvietimas; WINDOWS 4 pagrįstas langų ir kitų angų išdėstymas pastate ir anizotropinis dangus. Natūralaus apšvietimo modulis apskaičiuoja natūralaus apšvietimo langų išdėstymą, ryškios šviesos kontrolę ir elektrinio apšvietimo kontrolę. Taip pat apskaičiuoja elektrinio apšvietimo sumažėjimą

šilumos balanso modulyje. Langų ir kitų angų išdėstymo pastate modulis apima WINDOWS 5 galimybes – tiksliai įvertina kampinę perdavimo priklausomybę ir adsorbciją saulės ir matomo spinduliavimo atveju, taip pat įvertina U priklausomybę nuo temperatūros. Vartotojas gali įvesti sluoksnis po sluoksnio lango aprašymą arba pasirinkti langus iš bibliotekos. Saulės patekimo kontrolei, yra galimybė įvertinti lango užuolaidas ar žaliuzes, taip pat elektrochrominį stiklo padengimą. WINDOW 5 algoritmai taip pat įvertina stiklo dangas ir rėmo lango elementus. Dangaus modelis – tai įvertinimas neizotropinio spinduliavimo ir skaistumo pasiskirstymo pagal empirinį modelį, kaip funkciją nuo saulės pozicijos ir debesuotumo. Šis nepastovus saulės spindulių sklidimas yra svarbus skaičiuojant sienas ir plokščius stogus [20].

7.4. Pastato sistemų modeliavimo valdytojas

Po to, kai šilumos balanso valdytojas (Heat Balance Simulation Manager) užbaigia modeliavimą laiko žingsniui, jis kreipiasi į pastato sistemų simuliacijos valdytoją (Building Systems Simulation Manager), kuris kontroliuoja ŠVOK, elektrines sistemas, įrangą, komponentus ir atnaujiną zonos oro sąlygas. EnergyPlus nenaudoja modeliavimo „iš eilės“ tvarkos (pirma apskaičiuojami pastato nuostoliai, tada oro paskirstymo sistemos, o tada parenkama įranga) metodo. Vietoj to EnergyPlus yra sukurtas pastato sistemų modeliavimo valdytojas, turintis omeny kelis tikslus [20]:

- pilnai integruotas nuostolių, sistemų ir įrangos skaičiavimas;
- modulinė struktūra;
- testinumas.

Modulinė struktūra palengvina naujų komponentų pridėjimą ir suteikia daugiau lankstumo sistemų konfigūracijoms ir, sistemos lygyje, įranga ir sistemos yra aiškiai susijusios su zonos modeliais šilumos balanso valdymo modulyje.

Taigi trumpai EnergyPlus galima apibūdinti kaip [22]:

- Pilnai integruotą pastatų ir ŠVOK simuliacijos programą;
- Pagrįsta geriausiais BLAST ir DOE-2 bruožais plus naujos galimybės;
- Veikia Windows 95/98/NT/200/XP aplinkose, o taip pat ir Linux aplinkoje;
- Tik simuliacijos variklis;

- Interfeisai galimi iš privačių programinės įrangos kūrėjų.

7.5. EnergyPlus koncepcija

EnergyPlus atlieka skaičiavimus kai laidumas priklauso nuo laiko. Laidumas per pastato paviršius skaičiuojamas su laidumo perdavimo funkcijomis. Yra įvertinamas šiluminis inertiškumas ir laiko vėlavimas [22].

EnergyPlus įvertina migravimą tarp zonų. Tai atliekama aproksimuojant oro apykaitą ir panaudojant mazginį modelį [22].

Modeliavimas vykdomas tik modeliams, kurie yra tiksliai aprašyti. EnergyPlus atlieka tokius skaičiavimus [22]:

1. Šilumos balanso galingumų skaičiavimas (vienu arba dviem ASHRAE rekomenduojamais būdais);
2. Drėgmės balanso skaičiavimas;
3. Vienu metu sprendžiamas pastatas ir jo sistemos;
4. Naudojamas valandinis laiko žingsnis;
5. Modulinis ŠVOK sistemų modeliavimas;
6. Naudojama WINDOW 5 metodologija;

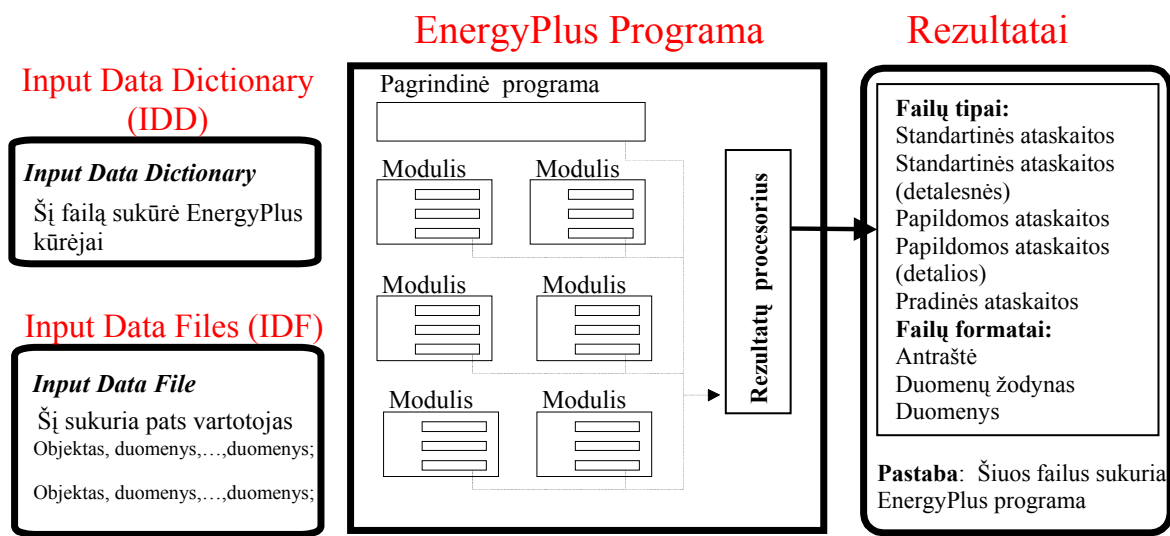
7.6. Input (pradinių duomenų) / Output (rezultatų) rinkmenos

EnergyPlus nėra paviršiaus, zonos ar sistemos apribojimų. Programa turi sąsajų su kitomis programomis, tokiomis kaip COMIS - vėjo sukulto oro judėjimo modeliavimo programa ir TRNSYS - fotogalvaninio modeliavimo programa [22].

EnergyPlus pradinių duomenų ir rezultatų failai sukurti taip, kad būtų lengva naudotis ir plėsti. Jie priima duomenys iš kitų šaltinių, tokių kaip CADD programų (AutoCAD, ArchiCAD, Visio), o preprocesoriai panašūs į tuos, kurie buvo sukurti BLAST ir DOE-2. EnergyPlus pradinių duomenų rinkmenos nėra sukurtos būti pagrindiniu interfeisu tipiniams galiniams vartotojams. Dauguma vartotojų naudos EnergyPlus per papildomą vaizdavimo programą (interfeisą) iš trečios šalies gamintojų. Tokie

duomenys kaip medžiagos ir konstrukcijos, priedai, pastatų paviršiai yra imami iš BLAST ir DOE-2 programų Input failų ir paverčiami į EnergyPlus Input failus [5].

Input/Output/Weather duomenys yra paprasti, laisvo formato tekstiniai failai, juose naudojami tik SI sistemos vienetai, dešimtainėse trupmenose naudojami kableliai, jie archyvuojasi patys, tačiau jie yra „vartotojui nedraugiški“ (padeda interfeisai) ir jie gali tapti dideli [22].



10 pav. Principinė EnergyPlus ryšių tarp duomenų rinkmenų (failų) schema

7.6.1. Pradinių duomenų žodynas (IDD Failai)

Šie EnergyPlus failai turi plėtinį idd, jie yra EnergyPlus kataloge. Šie failai yra konceptualiai paprasti : A (tekstas) arba N (skaičiai). Juose įvardijamas kiekvienas galimas Input (pradinių duomenų) failo objektas, jei kažkokio objekto nerandate IDD (Input Data Dictionary), tai reiškia, kad jo panaudojimas yra negalimas. Yra tokia sąlyga, kad IDD versija turi atitikti *.exe versiją. IDD yra tiksliausia informacija (net jei kitoje dokumentacijoje rašoma kitaip) [22].

Po ženklo “\” yra duodamos specifikacijos, tokios kaip: lauko aprašymas, vienetai, ribinės reikšmės (minimumas, maksimumas), standartinės reikšmės, automatinis dydžių parinkimas.

Kai reikia informacijos, patartina susipažinti su IDD failu, jei reikia tikslesnės informacijos apie pradinius duomenis, žiūrėkite Input/Output Reference .

```

BASEBOARD HEATER:Water:Convective,
  A1 , \field Baseboard Name
        \required-field
  A2 , \field Available Schedule
        \required-field
        \type object-list
        \object-list ScheduleNames
. . .
  N1 , \field UA
        \required-field
        \autosizable
        \units W/delK
. . .

```

11 pav. Fragmentas iš IDD duomenų rinkmenos

7.6.2. Leistinos reikšmių ribos ir standartinės reikšmės

Yra parametrai, kuriems EnergyPlus programoje yra nustatytos ribinės reikšmės. Kai kurios maks. / min. reikšmės yra nurodytos IDD duomenų rinkmenoje. Jei įvedant duomenis peržengiamos reikšmės ribos, tai laikoma grubi klaida. Kai kurios iš šių reikšmių yra paslėptos šaltinio kode, tokiu atveju programa gali panaikinti reikšmę ir išmesti įspėjimą, kad yra klaida [22].

EnergyPlus taip pat yra nustatytos kai kurių reikšmių standartinės reikšmės. Vienos iš jų yra aprašytos IDD duomenų rinkmenoje, o kitos paslėptos šaltinio kode [22].

Yra parametrai, kuriems nėra standartinės reikšmės. Tada tekstas tampa blankus, o skaičiai pavirsta nuliais [22].

7.6.3. Klimatiniai duomenys (Weather Data, *.epw failai)

EnergyPlus yra galimybė įvesti kiekvienos valandos klimatinis duomenis arba duomenis mažesniu nei valandos intervalu, nes statistiniai klimatiniai valandiniai duomenys yra interpoliuojami linijiniu būdu. Duomenys apima temperatūrą, drėgnumą, saulėtumą, vėjuotumą it t.t.. Kai kurie klimatiniai duomenis yra įtraukti standartinėje instaliacinėje versijoje. [22].

7.6.4. Rezultatų duomenų formatas (Output Data Format)

Rezultatų duomenų rinkmenos yra tekstiniam pavidale. EnergyPlus gali atlikti tam tikrus rezultatų duomenų rinkmenų (failų) apdorojimus, kad jų dydis sumažėtų. Vartotojas gali nusistatyti, kokio lygio ataskaitos jis nori [22].

Rezultatų duomenų rinkmenos pasižymi lankstumu : vartotojas gali pasirinkti kintamuosius, kuriuos jis nori matyti ataskaitoje. Taip pat vartotojas gali nurodyti rezultatus pagal laiko žingsnį, valandą, dieną, mėnesį. Vartotojas gali gauti visus ataskaitų tipus vienu metu. Galima pasirinkti įvairius matavimus pagal šaltinį ir galinį vartotoją [22].

7.7. EnergyPlus instaliavimas ir naudojimas

Šiame skyriuje aprašyta, kaip susiinstaliuoti EnergyPlus, kaip ja naudotis ir bus aprašytos papildomos programos ir dokumentacija skirtos šiai programai.

7.7.1. EnergyPlus instaliavimas

Programą mokomaisiais tikslais galima atsisiųsti iš EnergyPlus puslapio (www.eere.energy.gov), nemokamai yra prieinama Beta versija, kuri yra skirta naudoti programą nekomerciniais tikslais.

EnergyPlus susideda iš kelių elementų, kuriuos galima pasirinkti instaliuojant programą. Žemiau pateiktoje lentelėje yra nurodyta, kokius komponentus galima pasirinkti instaliavimo metu [22].

4 lentelė. Programos komponentų pasirinkimo meniu

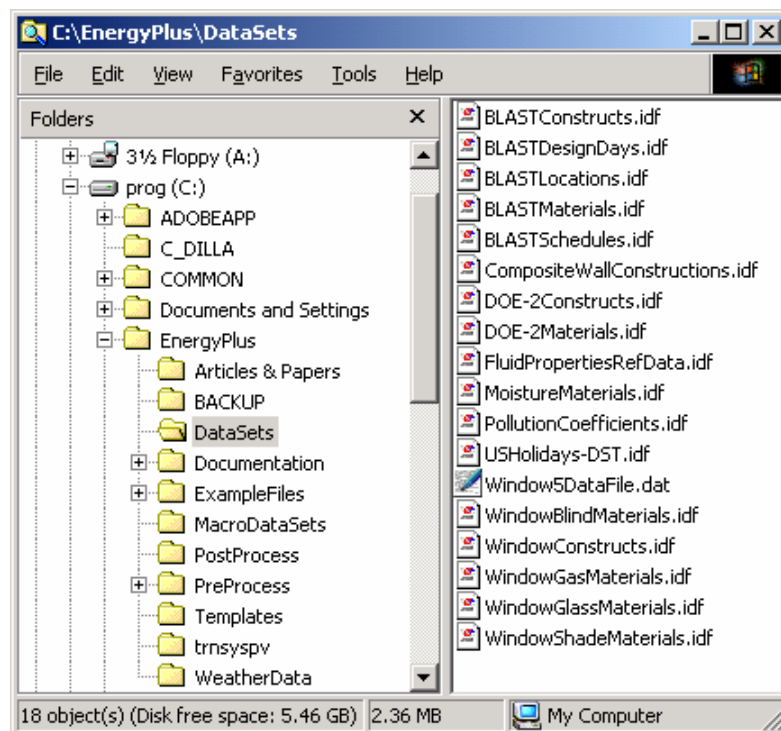
✓	Documentation	12759k
✓	EP-Launch	1819k
✓	IDFEditor	415k
✓	SampleFiles	29065k
✓	WeatherConvertor	2428k
✓	BLASTTranslator	4978k
✓	DOETranslator	663k
	GroundHeatTransferPreProcessor	770k
	IFCtoIDF	2910k

✓ Įtraukiamos standartiniame instaliavime

Po to, kai bus atliktas instaliavimas, EnergyPlus kataloge bus tokie katalogai (tuo atveju, jei pasirenkami standartiniai komponentai) [22]: BACKUP (atsarginės duomenų rinkmenos), DataSets (duomenų bazė), Documentation (dokumentacija), Example Files (pavyzdžių duomenų rinkmenos), PostProcess (poprocesorius), PreProcess (priešprocesorius), Templates (šablonai), Trnsyspv (failai iš TRNSYS), WeatherData (klimatinių duomenų rinkmenos).

Be minėtų katalogų dar bus suinstaliuota ir atskiros duomenų rinkmenos, tokios kaip: Batch files; Executables; Readme ir kt..

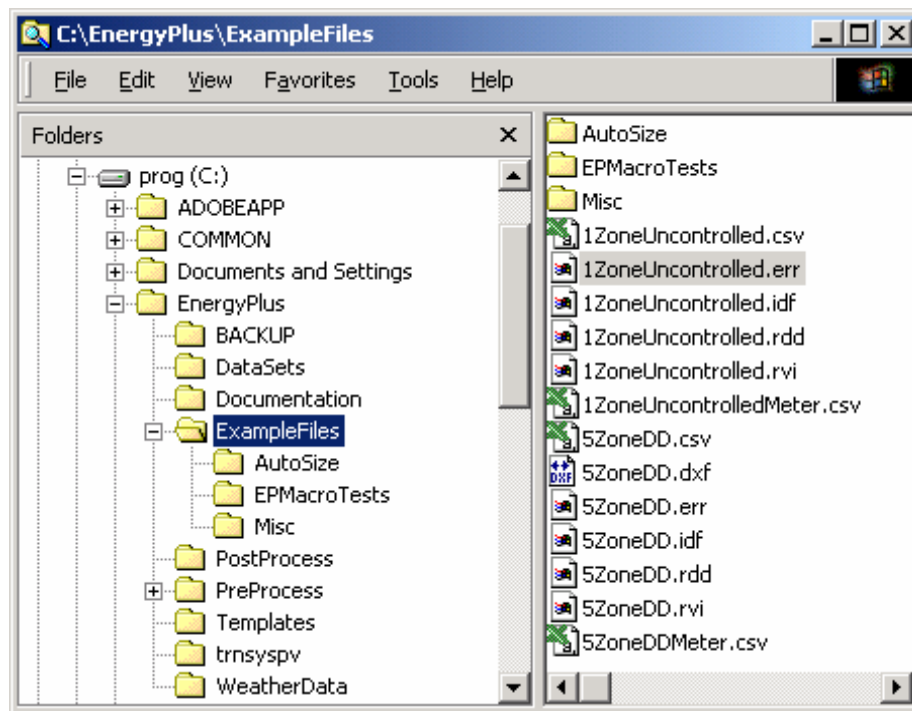
DataSets kataloge yra saugomi duomenys apie vietas, projektines dienas, medžiagas, konstrukcijas, apie režimus ir kt..



12 pav. DataSets katalogo duomenų rinkmenos (failai)

Documentation kataloge bus *.pdf formato vartotojo ir gamintojo dokumentacija.

Pavyzdžių kataloge (ExampleFiles) tuzinai pavyzdinių pradinių duomenų pavadintų pagal raktinius žodžius, pavyzdžiui : CVBbRh.idf. Programos veikimą geriausia yra išsiaiškinti naudojantis pavyzdžiais [22].



13 pav. Pavyzdžių katalogo failai

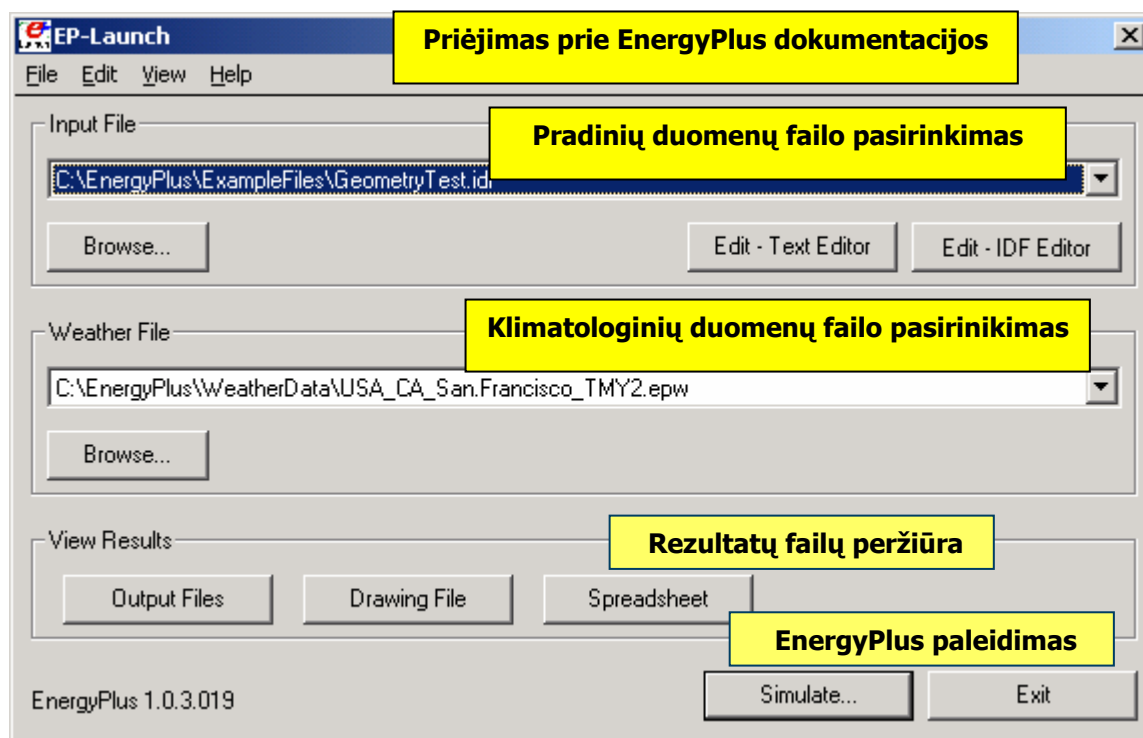
Klimatinių duomenų (WeatherData) duomenų rinkmenoje yra klimatiniai duomenys pagal vietas, tai matosi iš rinkmenų pavadinimų. Jei reikia kažkokios kitos vietovės duomenų, juos galima atsisiųsti iš interneto ir patalpinti šiame kataloge. Įvairių pasaulio vietovių klimatinis duomenis galima surasti EnergyPlus internetiniame puslapyje (www.energyplus.gov), pasirinkus meniu WeatherData. Klimatiniai duomenis yra surinkti per 30 paskutinių metų ir nurodoma jų trukmė per metus -0,4 %, 1,0 %, 2,0 % ir t.t. Šiame puslapyje Lietuvai yra pateikti tik Kauno miesto klimatiniai duomenys [22], tačiau pačios programos duomenų bazėje yra tekstinio formato failai, kur duomenys taip pat nurodyti Vilniui ir Klaipėdai.

7.7.2. Papildomi EnergyPlus programos įrankiai

- Modeliavimo paleidimui (procesorius) - **EP-Launch**;
- Duomenų įvedimui, pradinių duomenų rinkmenos sukūrimui (preprocesorius) – **IDF Editor, WinEPDraw**.

EP- Launch yra pagalbinis komponentas (paprogramė) EnergyPlus modeliavimui paleisti. Ji sukurta vartotojui, kuris nori paprasto būdo pasirinkti EnergyPlus duomenų rinkmenas. Procesorius nuskaito EPL-Run.bat duomenų rinkmenas, sukuria RunEP.bat rinkmeną ir kai vykdomas skaičiavimas

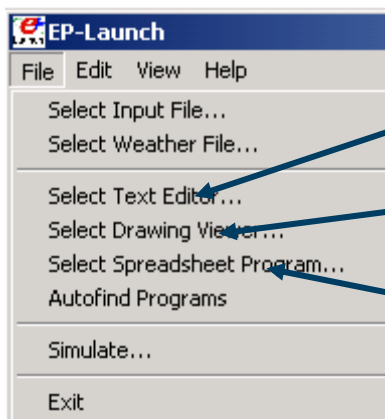
rodo skaičiavimo eigą (eplusout.end), joje galima peržiūrėti visus Input ir Output rinkmenų (failų) duomenys. Dar galimi keli vartotojo pasirenkami nustatymai [22].



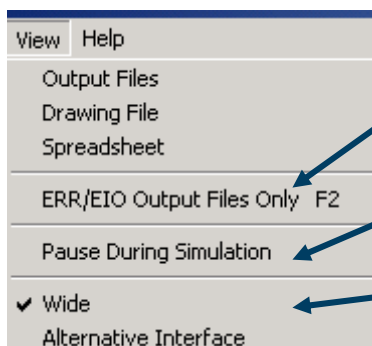
14 pav. EP-Launch standartinis langas

Taigi atsidarius šį langą pasirenkamas pradinių duomenų failas, tada pasirenkamas klimatinų duomenų failas, paspaudžiamas mygtukas Simulate ir vyksta skaičiavimas. Skaičiavimo eiga visada rodoma atskirame atsiradusiame DOS lange. Modeliavimas baigtas, kai juodas DOS langas užsidaro. DOS lange rodomą vykstančią skaičiavimo eigą galima bet kada sustabdyti, jei įdomi kažkokia skaičiavimo eigos vieta. Tai atliekama paspaudus „Control + S“, o paleisti skaičiavimą toliau – bet kokio mygtuko paspaudimas. Arba yra kitas būdas sustabdyti modeliavimą - iš View meniu pasirinkti komandą „Pause During Simulation“, pratęsti skaičiavimą- bet kokio klavišo paspaudimas [23].

Po to, kai atliktas skaičiavimas, atsiranda žinutė, kurioje yra parašoma, kiek klaidų atsirado skaičiavimo metu arba, kad klaidų nebuvo. Kai modeliavimas baigtas, tada galima peržiūrėti rezultatus iš View Results. Kad galima būtų pažiūrėti grafinius rezultatus, reikia turėti suinstaliuotą papildomą grafinę programą (interfeisą).



15a pav. EP-Launch pagrindinis meniu



15b pav. EP-Launch View meniu

7.7.3. Rezultatų peržiūra

Peržiūrėti rezultatus galima naudojantis vienu iš trijų mygtukų („Output Files“, „Drawing File“, „Spreadsheets“) lango View Results dalyje.

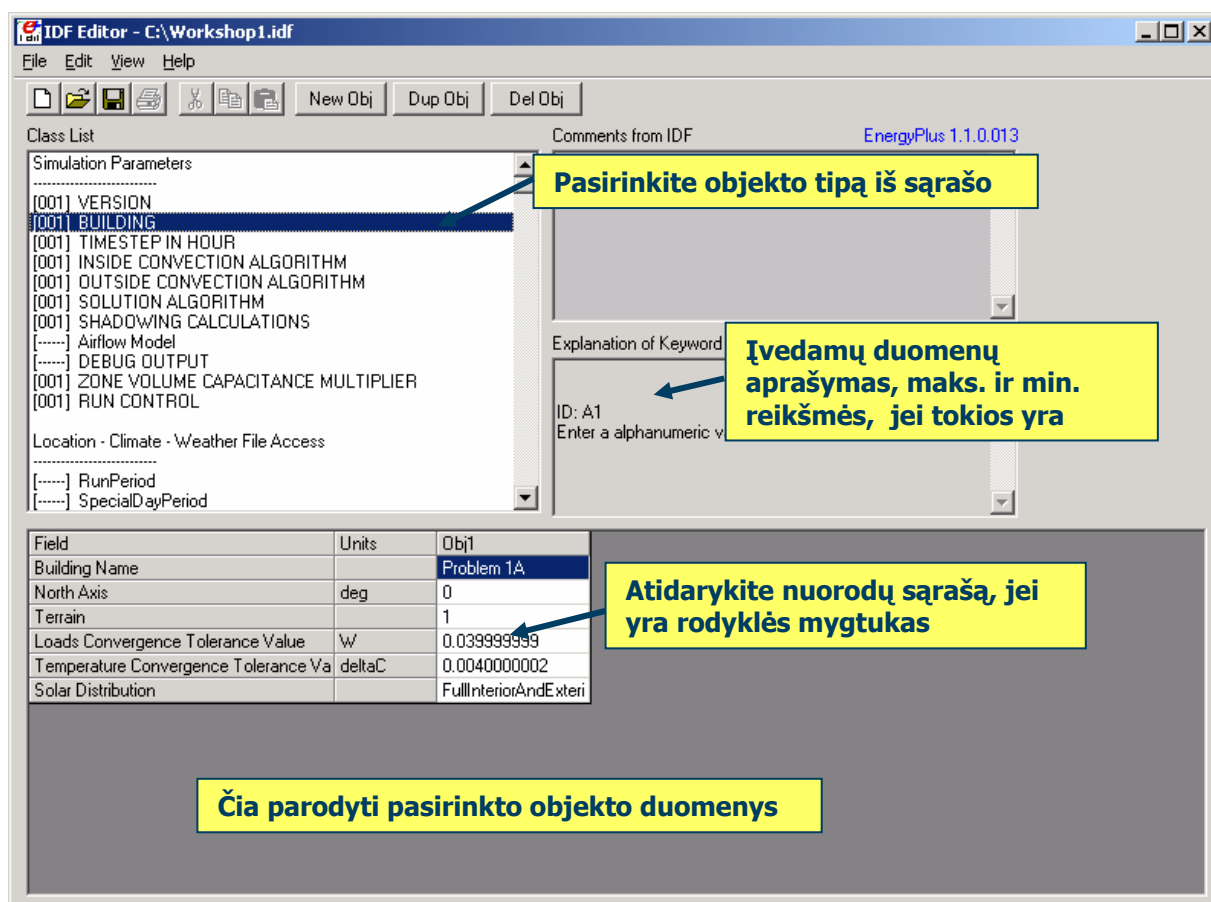
Paspaudus „Output Files“ mygtuką, tekstinis redaktorius atidarys visus rezultatų failus. Jų gali būti iki 23. Pasirinkus iš View meniu „Single File“, rodomas sąrašas galimų rezultatų failų, iš kurių galima pasirinkti vieną pageidaujamą. Tie failai taip pat gali būti atidaromi su funkciniais klavišais [23].

Rezultatų failai gali būti tokio tipo [22]:

- ERR faile yra išpėjimai ir klaidos (visada pažiūrėkite šį failą!);
- EIO faile yra papildomi EnergyPlus rezultatai, įskaitant vietovės patikrinimą, aplinką, ataskaitų santraukas, medžiagų ir konstrukcijų duomenys ir t. t.;
- Iš View meniu – ERR/EIO only (F2)- rodo tik ERR ir EIO failus;
- RDD išvardinti galimi rezultatų kintamieji ;

- ESO yra pagrindinių rezultatų failas tekstiniame formate;
- AUDIT faile yra pradiniai duomenys iš skaičiavimo (vartotojas retai ten žiūri);
- CSV yra ESO ir MTR failų versija, gali būti atidaryti paspaudus ant “Spreadsheet” mygtuko, jis gali būti įkeltas į bet kokią programą, kuri nuskaito CSV formatą;
- DXF failą galima pažiūrėti paspaudus ant “Drawing File” mygtuko, gali būti importuojamas į bet kokią CAD programą, kuri priima DXF formatą.
- Ir kt.

IDF Editor yra atskira programa (preprocesorius), kuri yra skirta sukurti pradinių duomenų failą, t.y. aprašyti pastatą arba redaguoti jau egzistuojančius failus. Ji skaito IDD failus. Ši programa pasižymi struktūrizuotu duomenų įvedimu. Rašo objektus IDD tvarka.



16 pav. IDF- Editor langas

WinEPDraw skirta programų grafinių failų kūrimui ir rezultatų peržiūrai. Ji sukuria dxf piešinį, tačiau neatlieka modeliavimo, veikia nepriklausomai. Beta versijoje ši programa neveikia

8. Darbo tikslas

Temos pavadinimas ir pati tema buvo pasirinkta atsižvelgiant į energijos taupymo pastatuose poreikį siekiant įgyvendinti Europos Sąjungos direktyvas, Lietuvos Nacionalinės Energetikos ir Darnaus Vystymosi Strategijų keliamus tikslus.

EnergyPlus kompiuterinio modeliavimo programa buvo pasirinkta dėl to, kad šiuo metu kompiuterinis modeliavimas yra plintantis metodas analizuojant projektuojamus ir renovuojamus pastatus energetiniu požiūriu. Kita priežastis, kodėl buvo pasirinkta EnergyPlus yra ta, kad ji pripažinta tobiliausia kompiuterinio modeliavimo programa, leidžianti atlikti detalą, nuo laiko priklausomą analizę. Trečia priežastis, kad EnergyPlus plačiai naudojama tik JAV ir Kanadoje, o Europoje ji yra visiškai nauja ir dar tik tiriamos jos panaudojimo galimybės.

Įvertinus visas minėtas aplinkybes, ypatingai metodo naujumą Europos mastu, pagrindinis darbo tikslas užsibrėžtas - ištirti EnergyPlus pritaikymo galimybes Lietuvoje bei jų panaudojimą atliekant pastatų energijos sąnaudų analizę.

Atsižvelgiant į tai, kad vieninteliai informacijos šaltiniai apie programą buvo jos naudojimo instrukcija ir straipsniai internete, buvo suformuluoti tokie uždaviniai:

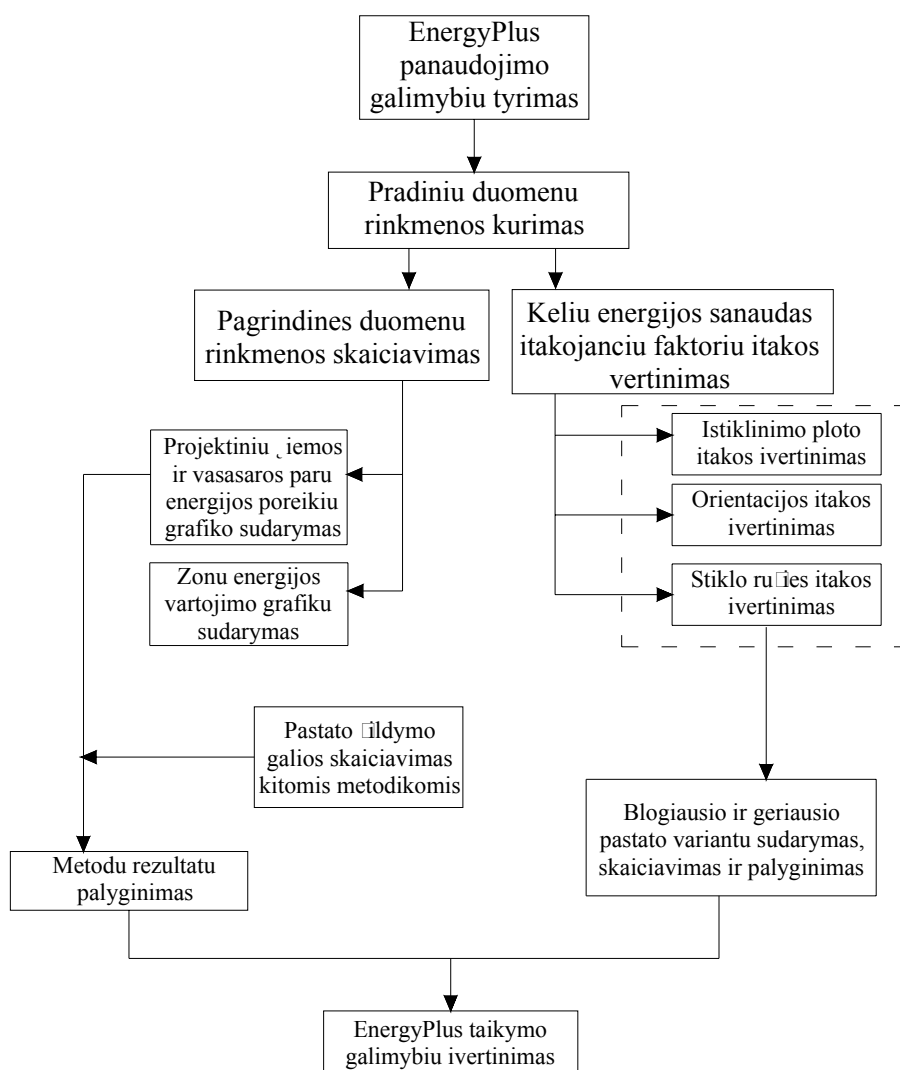
1. Išanalizuoti programos veikimo principą ir išsiaiškinti jos galimybes.
2. Sumodeliuoti pasirinktą hipotetinę administracinės paskirties pastatą:
 - a) sudaryti pastato šildymo ir šaldymo poreikio projektinės paros bėgyje vartojimo grafikus;
 - b) sudaryti zonų charakteringus energijos vartojimo grafikus projektinės paros bėgyje;
 - c) įvertinti, kokią įtaką pastato šildymo ir šaldymo galiai daro tokie faktoriai kaip:
 - įstiklinimo plotas,
 - orientacija,
 - stiklo tipas,
3. Įvertinti energijos taupymo galimybes parinkus ir paskaičiavus blogiausią ir geriausią energetiniu požiūriu pastato variantus.

4. Įvertinti programos panaudojimo galimybes Lietuvoje ją lyginant su keliomis pasirinktomis metodikomis.

Tai buvo pagrindiniai darbo uždaviniai. Turint duomenis apie konkretų projektuojamą ar renovuojamą pastatą, galima atlikti jo energijos poreikių analizę ir parinkti energetiškai optimalų variantą.

9. Principinė tyrimo schema

Vadovaujantis 6 skyriuje nustatytu darbo tikslu ir uždaviniais, buvo sudaryta tokia tyrimo eigos schema:



17 pav. Tyrimo schema

Pateikta schema atspindi, kas konkrečiai bus atlikta magistriniame darbe ir kokia eilės tvarka.

10. Tyrimo objekto aprašymas

Kadangi darbo objektas yra administracinės paskirties pastatai ir jų energijos sąnaudų skaičiavimo kompiuteriniai metodai, tai analizei pasirenkamas gan paprastas hipotetinis, 10 aukštų, standartinių mūro konstrukcijų administracinės paskirties pastatas.

Tai didelis pastatas, kuris suskirstytas iš viso į 60 zonų, tačiau, kadangi daug zonų yra identiškų, tai iš viso pastatą galima aprašyti, aprašant tik 9 zonas, o kitoms zonoms naudojant daugiklius.

Zonos sugrupuojamos pagal aukštus:

Gnd Floor (pirmas aukštas):

Gnd West Zone - pirmo aukšto vakarinė zona,

Gnd Center Zone (x4) - pirmo aukšto centrinė zona, jų yra keturios,

Gnd East Zone - pirmo aukšto rytinė zona.

Mid Floor (x8)(vidurinis aukštas, jų yra aštuoni):

Mid West Zone - vidurinio aukšto vakarinė zona,

Mid Center Zone (x4) - vidurinio aukšto pietinė zona, jų yra keturios,

Mid East Zone - vidurinio aukšto rytinė zona.

Top Floor (viršutinis aukštas):

Top West Zone – viršutinio aukšto vakarinė zona,

Top Center Zone (x4) – viršutinio aukšto centrinė zona, jų yra keturios,

Top East Zone – viršutinio aukšto rytinė zona.

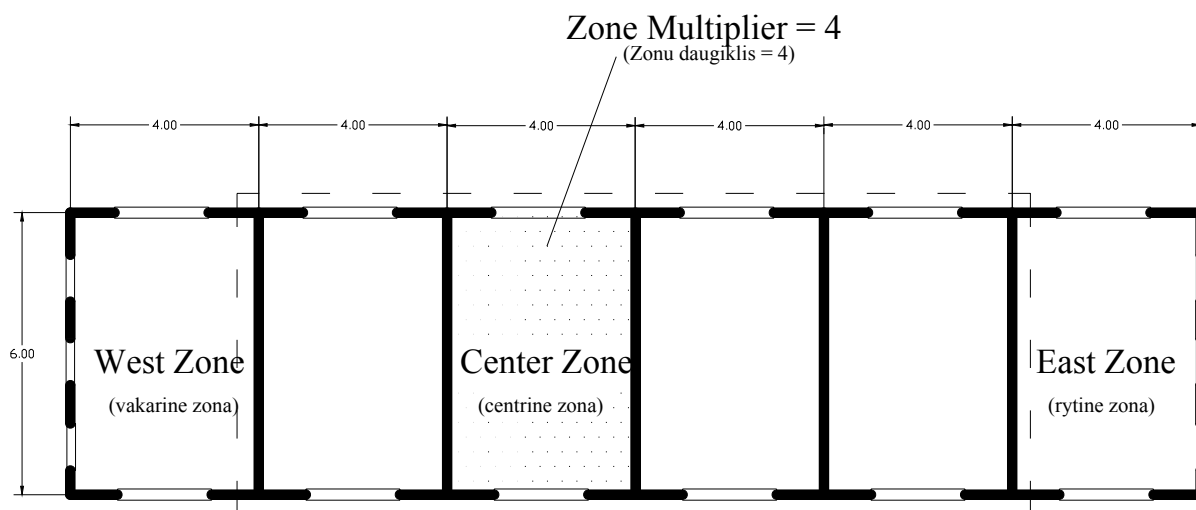
Lygiai tokiu pačiu principu aprašomi langai.

Sudarant modelį, priimama, kad šilumos mainai tarp zonų nevyksta, t.y., kad vidinės sienos yra adiabatinės.

Kai aprašomi viduriniai aukštai, aprašyti reikia maždaug viduryje tarp apatinio ir viršutinio aukštų esantį vidurinį aukštą, kadangi išoriniai konvekcijos koeficientai keičiasi priklausomai nuo aukščio. Kai imamas aukštas viduryje, tai gaunami vidutiniai konvekcijos koeficientai.

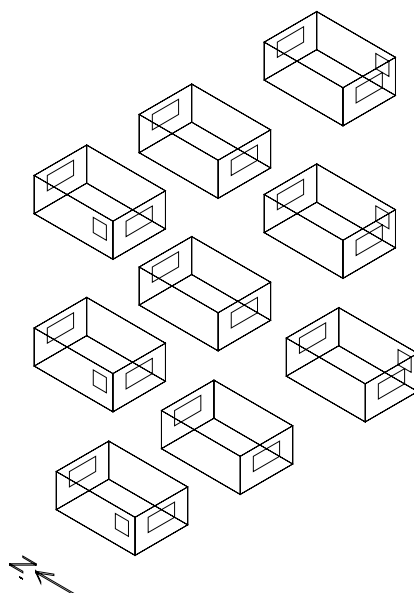
Šiame modelyje yra sumodeliuotos dvi projektinės dienos, pastatui parinktos standartinės konstrukcijos, nėra vidinių šilumos akumuliatorių, nevertinama jokia įranga ir vėdinimo sistema, taip pat jokie pritekėjimai nuo vidinių šilumos šaltinių. Praktiškai vertinami tik pritekėjimai ir nuostoliai per aitvaras.

18 paveiksle pavaizduota principinė pastato aukšto schema, kuri sudaryta pagal pastato geometrijos aprašymą:



18 pav. Pastato aukšto schema

EnergyPlus pateikia tik erdvinį principinį pastato zonų vaizdą (paspausti mygtuką Drawing File paprogramėje EP-Launch). Neturint specialios grafinės programos (interfeiso), galima matyti tik tokį vaizdą, kaip 19 paveiksle.



19 pav. EnergyPlus pateikiamas pastato grafinis vaizdas

Žemiau bus aprašoma, kaip konkrečiai buvo kuriamas *.idf (pradinių duomenų) failas šiam atvejui.

11. Pradinių duomenų (IDF) rinkmenos kūrimo eiga

Modeliavimas negali būti atliekamas tol, kol neaprašytas pastatas. Pastato aprašymas pradedamas nuo duomenų grupės *Building*. Šioje grupėje būtina yra nurodomas pasirinktas pastato pavadinimas, pastato orientacija, t.y. kampas tarp pastato šiaurinės ašies ir tikros šiaurės. Tiriamu atveju pastato šiaurė sutampa su tikrąja šiaure, t.y. kampas yra 0. Kiti parametrai paliekami standartiniai.

Sekanti duomenų grupė yra *Time Step in Hour*. Čia nurodomas laiko žingsnis valandoje, pagal kurį bus atliekamas modeliavimas. Pasirenkamas žingsnis 6, tai reiškia, kad skaičiavimai bus atliekami kas 10 minučių.

Grupėse *Inside Convection Algorithm*, *Outside Convection Algorithm* ir *Solution Algorithm* gali būti palikti standartiniai sprendimo algoritmai, bet pasirenkama, kad išorinė ir vidinė konvekcija bus skaičiuojama detalai (*Detailed*), o sprendimo algoritmas pasirenkamas *CTF*.

Grupėse *Shadowing Calculations* ir *Zone Volume Capacitance Multiplier* paliekamos standartinės reikšmės.

Duomenų grupėje *Run Control* žodeliu *Yes* arba *No* nurodoma, kas turi būti modeliuojama. Pasirenkamas, kad modeliavimas bus atliekamas tik projektinėms dienoms.

Duomenų grupėje *Location* reikia aprašyti, kokioje vietovėje yra pastatas, t.y. reikia įvesti vietovės pavadinimą, platumą, ilgumą, laiko zoną ir aukštį virš jūros lygio.

Žemiau pateikiami duomenys iš šios grupės, taip jie atrodo, kai pradinių duomenų *.idf failas peržiūrimas tekstiniame redaktoriuje.

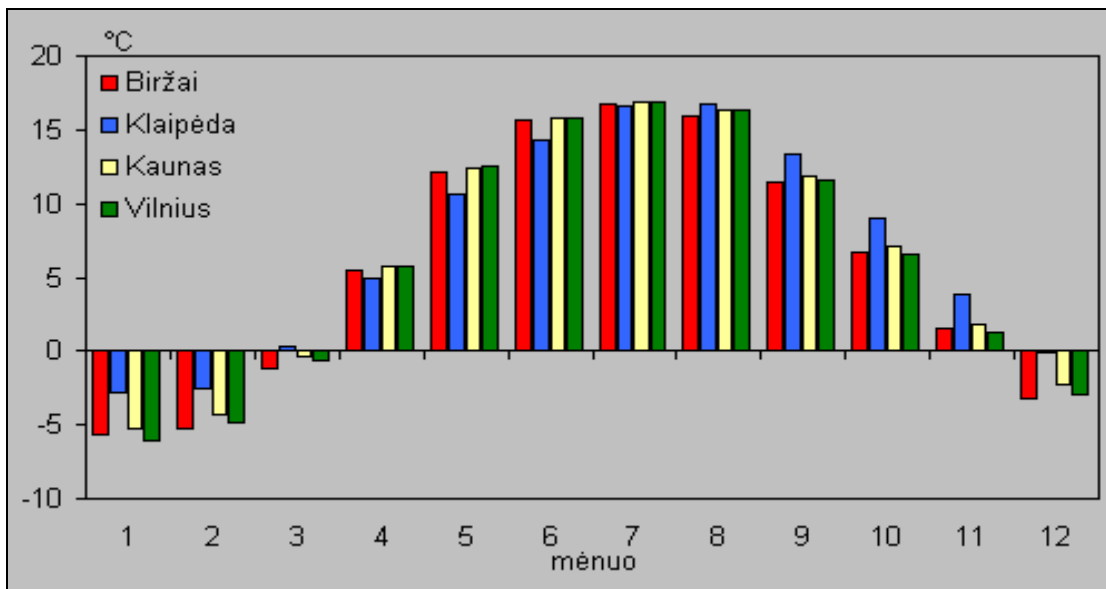
```
!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: LOCATION =====  
  
Location,  
    Vilnius,                !- LocationName  
    54.63,                  !- Latitude {deg}  
    25.28,                  !- Longitude {deg}  
    2,                      !- TimeZone {hr}  
    156;                    !- Elevation {m}
```

20 pav. Fragmentas iš duomenų grupės *Location*.

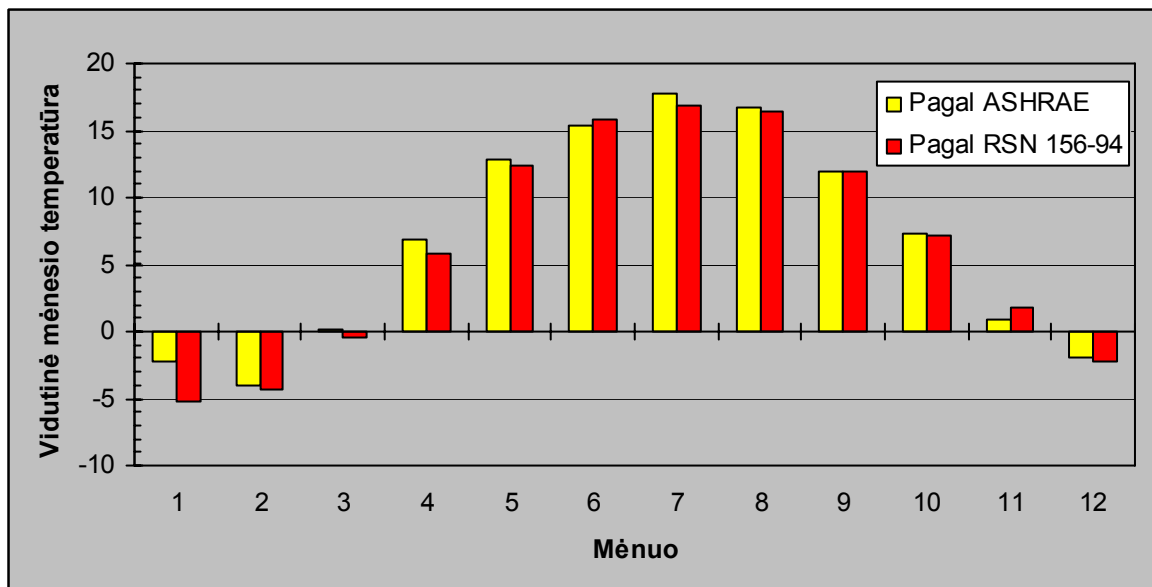
Projektavimas sąlygos imamos pagal ASHRAE ("World Climate Design Data 2001 ASHRAE Handbook").

Antra duomenų grupė, kurią reikia keisti, yra projektinės dienos – *DesignDay*. EnergyPlus dažniausiai skaičiavimas šiomis dienomis vyksta tam, kad sumodeliuoti pastato energijos poreikius būdingiausią sezono dieną, pagal tuos parametrus, nustačius tos dienos piką, parenkama įranga [2]. Skaičiuojamos dvi dienos: *SummerDesignDay* – vasaros projektinės dienos parametrai, reikalingi šalčio poreikiui nustatyti (ir ne tik), ir *WinterDesignDay* – žiemos projektinės dienos parametrai, reikalingi šildymo sistemos galiai nustatyti.

Reikia pabrėžti, kad Lietuvos vietovėms duomenys ASHRAE standartuose skiriasi nuo RSN 156-94 nurodytųjų, kadangi dabar linkstama į tai, kad visose pasaulio šalyse projektinės temperatūros būtų skaičiuojamos pagal tą pačią metodiką ir dar dėl to, kad Hidrometeorologijos tarnybos duomenys labiau panašūs į šiuos standartus (10.1., 10.2 pav.) [25, 29]. ASHRAE nustatoma tikėtina lauko temperatūros trukmė per metus. Šiuo atveju šildymo ir šaldymo galioms skaičiuoti imamas blogiausias atvejis, t.y. žemiausia / aukščiausia temperatūra, kuri trunka 0,4 % (35 val.). Žemiau pateikiami grafikai įrodo, kad realūs klimatiniai duomenys yra labiau panašūs į ASHRAE nurodomus, nei į RSN 156-94. Kadangi ASHRAE Vilniaus miestui pateikia tik projektinius parametrus, tai vidutinių mėnesio temperatūrų palyginimas pateikiamas Kauno miestui.



21. pav. Paros ir metų oro temperatūros kaita (1993-2002 m.) [25]



22. pav. Paros ir metų oro temperatūros kaita pagal ASHRAE ir RSN 156-94

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: DESIGNDAY =====

DesignDay,
  VILNIUS LTU WinterDesignDay,  !- DesignDayName
  -20.4,                        !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
  0,                            !- Daily Temperature Range {deltaC}
  -16.7,                        !- Humidity Indicating Temperature at Max Temp {C}
  99464.92,                     !- Barometric Pressure {Pa}
  4.7,                          !- Wind Speed {m/s}
  140,                          !- Wind Direction {deg}
  0,                            !- Sky Clearness
  0,                            !- Rain Indicator
  0,                            !- Snow Indicator
  21,                           !- Day Of Month
  1,                            !- Month
  WinterDesignDay,              !- Day Type
  0,                            !- Daylight Saving Time Indicator
  Wet-Bulb;                     !- Humidity Indicating Temperature Type

DesignDay,
  VILNIUS_LTU SummerDesignDay, !- DesignDayName
  27.1,                         !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
  9,                            !- Daily Temperature Range {deltaC}
  18.1,                         !- Humidity Indicating Temperature at Max Temp {C}
  99464.92,                     !- Barometric Pressure {Pa}
  0,                            !- Wind Speed {m/s}
  0,                            !- Wind Direction {deg}
  1,                            !- Sky Clearness
  0,                            !- Rain Indicator
  0,                            !- Snow Indicator
  21,                           !- Day Of Month
  7,                            !- Month
  SummerDesignDay,              !- Day Type
  0,                            !- Daylight Saving Time Indicator
  Wet-Bulb;                     !- Humidity Indicating Temperature Type

```

23 pav. Fragmentas iš duomenų grupės DesignDay.

Kita svarbi duomenų grupė, kuri vadinasi *Surface Construction Elements* skirta medžiagų, iš kurių sudarytos konstrukcijos aprašymui, o kai aprašomos medžiagos, iš jų sudaromos konstrukcijos. Svarbu, tai, kad konstrukcijų aprašymas yra visada pradedamas nuo išorinio sluoksnio. Medžiagas ir jų šiluminius parametrus galima įvesti patiems arba pasinaudoti duomenų bazėje esančiomis medžiagomis ir konstrukcijomis. Tiriamu atveju medžiagos buvo pasirinktos iš BLASTMaterials katalogo, o konstrukcijos buvo sudarytos taip pat BLASTConstructions katalogo pagalba, tik buvo atlikti tam tikri pakeitimai, nes kai kurios konstrukcijos turėjo labai didelius šilumos perdavimo koeficientus.

Duomenis apie konstrukcijas galima pažiūrėti faile EIO, ten nurodomi įvesti duomenys, taip pat jau paskaičiuoti šilumos perdavimo koeficientai. 5 lentelėje aprašytos pastato konstrukcijos.

5 lentelė. Pastato konstrukcijų charakteristikos.

<i>Konstrukcija</i>	<i>Sandara</i>	<i>Konstrukcijos storis, m</i>	<i>Šilumos perdavimo koeficientas, W/m^2K</i>
Išorinė siena	1. Tinkas, 2. Stiklo vata, 3. Mūro plytos, 4. Gipso plokštė	0,22	0,394
Langas	1. Stiklas (skaidrus) 2. Oro tarpas 3. Stiklas (skaidrus)	0,02	2,766
Grindys ant grunto	1. Gelžbetonio plokštė 2. Išlyginamasis betono sluoksnis 3. Šiluminė izoliacija 4. Garsą izoliuojanti grindų danga	0,26	0,652
Stogas	1. Betonas 2. Oro tarpas 3. Izoliacija 4. Šlakas 5. Hidroizoliacija 6. Betonas 7. Oro tarpas 8. Tinkas	0,56	0,529
Grindys tarp aukštų	1. Garsą izoliuojantis grindų danga 2. Oro tarpas 3. Gelžbetonio plokštė	0,23	2,732
Vidinė siena	1. Gipso plokštė 2. Betonas 3. Gipso plokštė	0,14	3,169

Kai jau aprašytos konstrukcijos, galima aprašinėti zonas. Zonų aprašymas pradedamas nuo duomenų grupės *Zone*. Čia įvedami zonų pavadinimai ir jų kiekis. Kiekvienai zonai, kaip atskaitos tašką, kuris reikalingas tik duomenų patikslinimui, jei kur įsiveltų klaida, reikia įvesti kiekvienos zonos apatinio piečiausio taško trimates koordinatas. Zonos turio ir patalpos aukščio šiame skyriuje nurodyti nebūtina, nes programa automatiškai pati apsiskaičiuoja. Zonų daugiklis (*Zone Multiplier*) vakarinei ir rytinei zonai yra 1, o centrinei zonai – 4, nes viename aukšte yra keturios identiškos zonos.

```

!-  ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE =====

ZONE,
Gnd West Zone,          !- Zone Name
0.0,                    !- Relative North (to building) {deg}
0.0,                    !- X Origin {m}
0.0,                    !- Y Origin {m}
0.0,                    !- Z Origin {m}
1,                      !- Type
1,                      !- Multiplier
0.0,                    !- Ceiling Height {m}
0.0;                    !- Volume {m3}

```

24 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Zone.

Duomenų grupėje *Zone List* pateikiamas zonų sąrašas pagal aukštus. Priskiriama, kokiam aukštui kokia zona priklauso. Pasirenkamas zonų sąrašo pavadinimas ir jam priskiriamos aukšto zonos.

```

!-  ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE LIST =====
ZONE LIST,
  Gnd Floor List,        !- Zone List Name
  Gnd West Zone,         !- Zone Name 1
  Gnd Center Zone,       !- Zone Name 2
  Gnd East Zone;         !- Zone Name 3

```

25 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Zone List.

Zone Group duomenų grupėje zonos sugrupuojamos pagal zonų sąrašus, grupėms suteikiami pavadinimai ir *Zone List Multiplier* įvedamas šių grupių kiekis. Nagrinėjamu atveju yra 10 aukštų pastatas. Aprašomos jo 9 zonos, tada pateikiamas zonų sąrašas, o galiausiai jos sugrupuojamos ir gaunamos trys grupės. Vidurinius aukštus aprašanti grupė yra viena, tačiau įvedamas daugiklis 8, kad būtų įvertinti visi viduriniai aukštai.

```

!-  ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE GROUP =====
ZONE GROUP,
  Gnd Floor,             !- Zone Group Name
  Gnd Floor List,        !- Zone List Name
  1;                     !- Zone List Multiplier

```

26 pav. Fragmentas iš duomenų grupės Zone Group.

Surface geometry grupėje nusistatoma, kokius būdu vyks paviršių aprašymas. Nagrinėjam modeliui pasirenkama, kad koordinatės bus įvedamos nuo kairiojo viršutinio kampo (*UpperrLeftCorner*), prieš laikrodžio rodyklę (*CounterClockwise*) ir pagal santykinės koordinatės (*Relative*).

Aprašant koordinatės, visada reikia žiūrėti i paviršių iš išorinės jo pusės.

Aprašant aukštesnių aukštų nei pirmas paviršius, aukštis vėlgi imamas nuo 0, t.y. aukštas vertinamas kaip atskiras elementas, o ne kaip dalis pastato. Kai įvedama z koordinatė luboms, tai imamas grynas patalpos aukštis.

Surface: HeatTransfer grupėje aprašomi visi pagrindiniai zonų paviršiai, kuriems priskiriama: sienos, lubos, grindys, stogas. Kiekvienam paviršiui suteikiamas pavadinimas savo nuožiūra. Po to jis priskiriamas atitvaros tipui (*wall, floor, ceiling, roof*). Nurodoma, kokia to paviršiaus konstrukcija (ji būna prieš tai aprašyta), kur nukreipta vidinė paviršiaus pusė ir išorinė paviršiaus pusė (jos gali būti nukreipos į kitą zoną arba į lauką). Taip pat reikia nurodyti, ar paviršius veikiamas saulės ir vėjo (*Sun Exposure, Wind Exposure*). *View factors to ground* – nurodo, ar paviršius atsuktas į gruntą ar ne. Šis koeficientas : luboms – 0, sienoms - 0,5, pirmo aukšto grindims – 1, stogui – 0. Toliau įvedamos kiekvieno paviršiaus koordinatės, taip, kaip buvo nurodyta punkte *Surface Geometry*.

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACE:HEATTRANSFER =====

Surface:HeatTransfer,
    Gnd West S Wall,      !- User Supplied Surface Name
    WALL,                 !- Surface Type
    Ext Wall,             !- Construction Name of the Surface
    Gnd West Zone,        !- InsideFaceEnvironment
    ExteriorEnvironment,  !- OutsideFaceEnvironment
    ,                     !- OutsideFaceEnvironment Object
    SunExposed,           !- Sun Exposure
    WindExposed,          !- Wind Exposure
    0.5,                  !- View Factor to Ground
    4,                    !- Number of Surface Vertex Groups -- Number of
(X,Y,Z) groups in this surface
    0.0,                  !- Vertex 1 X-coordinate {m}
    0.0,                  !- Vertex 1 Y-coordinate {m}
    2.5,                  !- Vertex 1 Z-coordinate {m}
    0.0,                  !- Vertex 2 X-coordinate {m}
    0.0,                  !- Vertex 2 Y-coordinate {m}
    0.0,                  !- Vertex 2 Z-coordinate {m}
    4.0,                  !- Vertex 3 X-coordinate {m}
    0.0,                  !- Vertex 3 Y-coordinate {m}
    0.0,                  !- Vertex 3 Z-coordinate {m}
    4.0,                  !- Vertex 4 X-coordinate {m}
    0.0,                  !- Vertex 4 Y-coordinate {m}
    2.5;                  !- Vertex 4 Z-coordinate {m}

```

27 pav. Fragmentas iš duomenų grupės *Surface:Heattransfer*.

Analogiškas aprašymas atliekamas kiekvienos zonos langams duomenų grupėje *Surface:Heattransfer:Sub*. Tuo ir baigiamas pastato aprašymas, be kurio negali būti atliekamas modeliavimas.

Kadangi procesai pastate realiai nevyksta pastoviai ir kontrolė nėra pastovi, tai tam tikslui yra skirti įvairūs režimų grafikai (*Schedules*). Grupėje *ScheduleType* yra nurodoms režimų reikšmių (koeficientų) ribos. Šiuo atveju nurodomos temperatūros ribos (-60 -200°C), kontrolės tipo skaitinės reikšmės (0-4) ir įjungimo / išjungimo skaitinės reikšmės (0-1).

Toliau seka duomenų grupė *DaySchedule*, kur nurodomas režimo pavadinimas, pasirenkamas dienos režimo reikšmių tipas ir kiekvienai valandai įvedama tam tikra reikšmė. Šiuo atveju buvo pasirinktas *On/Off* režimo tipas ir kiekvienai valandai nurodyta reikšmė vienas, tai reiškia, kad skaičiavimas yra vykdomas visada prie maksimalios galios. Antras režimas nurodomas kontrolei, kiekvienai valandai, visada reikšmė 3. Trečias režimas nurodo zonos vidaus temperatūrą, kuri visada yra nurodoma 21°C.

Po to, kai aprašomi dienos režimai, grupėje *WeekSchedule* aprašomas savaitės režimas. Čia reikia kiekvienai savaitės dienai priskirti dienos režimą, taip susidaro savaitės režimas. Galima režimus priskirti ir specialioms vartotojo nurodytoms dienoms (pagal datą ar kitus požymius). Taigi nagrinėjamu atveju buvo pasirinkta, kad visos dienos yra vienodos ir joms priskirti vienodi režimai.

Schedule grupėje jau aprašomas metinis režimas. Metinis režimas sudaromas iš savaitinio režimo. Iš viso metams gali būti nurodyti 52 skirtingi savaitiniai režimai, bet mūsų atveju nurodoma, kad visoms savaitėms režimai bus vienodi.

Grupėje *NodeList* yra charakterizuojami tam tikri taškai, kurių gali vėliau prireikti, pavyzdžiui, kaip kontrolės taškų. Šioje grupėje taškams tik suteikiami pavadinimai. Nagrinėjamu atveju kiekvienoje zonoje nurodomi 2 taškai, pavadinimai suteikiami analogiškai pagal zonų pavadinimus.

Ir paskutinė būtina *.idf failo dalis yra rezultatų grupė. Čia užsiduodama kokius rezultatus norime gauti ir kokiu laiko žingsniu norime matyti rezultatus. Taigi grupėje *ReportVariable* užsiduota, kad kiekvieną valandą norima gauti pastato šildymo ir šaldymo galias. Pradinių duomenų rinkmena pateikta 2 priede, 3 priede pareikiami duomenys apie medžiagas ir konstrukcijas.

Per procesorių EP-Launch atlikus modeliavimą, gaunami rezultatai. Iš *.csv failo išrenkami mus dominantys duomenys, t.y. šildymo ir šaldymo galingumai ir perkeliama į Excel'į, kur vėliau bus apdorojami ir braižomos priklausomybės. Pagrindinio duomenų failo rezultatų rinkmena pateikiama 4 priede.

Turint paskaičiuotą pagrindinį pastato duomenų failą, toliau atliekamos analizės, kaip nuo įvairių faktorių kinta galingumai.

12. Įvairių įtakos faktorių skaičiavimas ir analizavimas

Kaip jau minėta darbo tikslė, bus skaičiuojami įvairūs įstiklinimo, orientacijos atvejai, taip pat įvairaus stiklo rūšių įtaka pastato šildymo / šaldymo galiai.

12.1. Įstiklinimo ploto įtaka šildymo/šaldymo galiai

12.1.1. Tiriamų atvejų aprašymas

Apskaičiuojama, kad pastato sienų plotas kartu su langais yra 1673 m², o įstiklinimo plotas yra 300 m², t.y. įstiklinimas – 18 %.

Bus tiriami 5 skirtingi įstiklinimo atvejai, jie pateikti 6 lentelėje. Bus tiriami 4 atvejai, kai langai buvo platinami ir vienas atvejis, kai langai aukštinami tam, kad pažiūrėti, kiek tai įtakoja rezultatus.

6 lentelė. Įstiklinimo atvejai

Atvejis	Langų plotas, lyginant su esamu, m ²	Pokytis, %	Bendras įstiklinimo Plotas, m ²	Įstiklinimas, %
1	-30	-10	270	16
2	+30	+10	330	20
3	+60	+20	360	21,5
4	+150 (horizontaliai)	+50	450	27
5	+150 (vertikalčiai)	+50	450	27

Pakeitimai atliekami *.idf duomenų faile, geometrijos aprašyme – *Thermal Zone Description / Geometry* grupėje, langų aprašymo pogrupyje – *Surface:HeatTransfer:Sub*. Kiekvienu atveju atskirai keičiamos langų koordinatės.

12.1.2. Langų skaičiavimas EnergyPlus programoje

Kadangi langai yra vienas iš svarbiausių pastato elementų, nuo kurio dydžio ir charakteristikų priklauso pastato energijos sąnaudos, tai pateikiama tik langų skaičiavimo metodika, kurią naudoja EnergyPlus. Kitų elementų skaičiavimo metodikos nėra prieinamos, o jei ir būtų, tai jų nagrinėjimui reiktų skirti labai daug laiko, nes jos buvo kurtos ne vienerius metus ir daugelio žmonių.

EnergyPlus skaičiavimo metodika galima vadinti „sluoksnis po sluoksniu“. Nes duomenys apie langą yra pateikiami aprašant jo sudedamuosius sluoksnius (stiklas, dujų sluoksnis, stiklas ir pan.).

Skaičiavimuose vertinamos spektrinės ir optinės stiklo charakteristikos, saulės spindulių kritimo kampas, matoma transmisija ir atspindėjimas, atliekamas lango šilumos balanso sudarymas iteracijų būdu ir nustatomos lango paviršiaus temperatūros, įvertinamas lango rėmas ir skiriamosios sienelės šilumos perdavimas, modeliuojami šešėliavimo įrenginiai su vartotojo nurodyta kontrole [24].

Trumpai tariant, lango skaičiavimuose reikia įvertinti laidumą per stiklą ir rėmo elementus, saulės pritekėjimus perdavimo ir absorbcijos/ pakartotinio laidumo būdu, natūralų apšvietimą, natūralų vėdinimą ir infiltraciją [24].

Pagrindinis šiluminis ir saulės/optinis modelis yra pagrįstas procedūromis iš programų Windows 4 ir Windows 5 [24].

EnergyPlus lango modeliavimas apima tokius skaičiavimus [24]:

- „Sluoksnis po sluoksniu“ stiklo, dujų sluoksniu ir šešėliavimo paviršių duomenų įvedimas ir skaičiavimas;
- Išorinius ir vidinius langus;
- Spektrines arba vidutines spektrinės optines charakteristikas;
- Iteracinis šilumos balanso lygčių sprendimas, kuris nustato stiklo paviršių temperatūras;
- Vienu metu skaičiuojamas langas ir sudaromas patalpos šilumos balansas;
- Valandos žingsniu suskirstymas;
- Modeliuojami rėmai ir skiriamosios sienelės;
- Judami vidiniai ir išoriniai šešėliavimo paviršiai;
- Skaičiavimams naudojamas anizotropinio dangaus modelis;
- Elektrochrominis modeliavimas;
- Tiesioginių saulės pritekėjimų šešėliavimas;
- Šešėliavimas nuo dangaus ilgų bangų;
- Sekama, kur saulės spinduliai krenta kambaryje;
- Natūralus apšvietimas nuo langų.

Programa turi stiklo tipų, langų dujų, šešėliavimo paviršių ir įstiklinimo sistemų duomenų bazę.

Optiniai skaičiavimai

Saulės radiacija, perduota stiklo sistemos sluoksnių ir saulės radiacija, kurią absorbuoja kiekvienas sluoksnis, priklauso nuo atskirų lango sluoksnių bangų perdavimo, atspindėjimo ir absorbavimo savybių. Absorbuota saulės radiacija įeina į lango šilumos balanso skaičiavimą ir nustato vidinių paviršių temperatūras, todėl ir apsprendžia į patalpą pritekėjusios šilumos kiekį. Perduota radiacija yra absorbuojama patalpos vidinių paviršių ir todėl taip pat daro įtaką patalpos šilumos balansui [24].

EnergyPlus programoje atskirų stiklo sluoksnių optinės charakteristikos yra nusakomos tokiais pagrindiniais parametrais (prie normalaus saulės spindulių kritimo kampo) [24]:

- Šilumos perdavimas, T ;
- Priekinio paviršiaus (paviršiaus, esančio arčiausiai išorinės aplinkos) atspindėjimas, R_f ;
- Galinio paviršiaus (paviršiaus, esančio arčiausiai vidinės aplinkos) atspindėjimas, R_b .

Šilumos perdavimas ir atspindėjimas gali būti duoti kaip bangos ilgio funkcija arba, kaip spektrinės vidutinės reikšmės (T_{sol} , R_{sol}^f , R_{sol}^b) ir matomų spindulių reikšmės (T_{vis} , R_{vis} , R_{vis}). Neįprasto nepadengto stiklo savybės yra aprašomos Fresnelio lygtimis. Padengtam stiklui skaidraus stiklo kampinė priklausomybė yra naudojama tik tada, jei jo šilumos perdavimas yra $>0,645$; nepadengtam bronziniam stiklui kampinė priklausomybė naudojama tada, jei padengto stiklo šilumos perdavimas yra $0,645$ [24].

EnergyPlus turi stiklo rūšių biblioteką, kur yra 59 rūšių stiklo dangos (skaidri, veidrodinė, atspindinti, selektyvinė ir energiją taupanti).

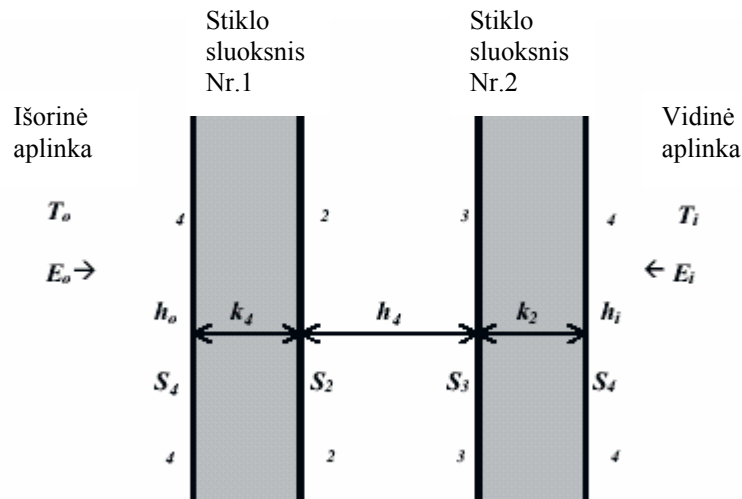
Galutinis šilumos perdavimas ir lango konstrukcijos absorbuota šiluma apskaičiuojama sprendžiant lygčių sistemas, kurios įvertina vidinį sistemos (lango) atspindėjimą. Sistemos savybės yra skaičiuojamos prie saulės spindulių kritimo kampo nuo 0° - 90° , 10° žingsniu. Rezultatai panaudojami nuo laiko priklausomam skaičiavime [24].

Jei sluoksnio savybės duotos kaip bangos ilgio funkcija, programa skaičiuoja spektrines vidutines sistemos savybes.

EnergyPlus duomenų bazėje yra virš 200 langų tipų.

Šiluminiai skaičiavimai

Lango stiklo paviršiaus temperatūros yra nustatomos sprendžiant šilumos balanso lygtis kiekviename paviršiuje, kiekvienam laiko žingsniui. Langui su N stiklo sluoksnių yra $2N$ paviršių ir dėl to sprendžiama $2N$ lygčių. 28 paveiksle pavaizduoti kintamieji, naudojami dvigubo įstiklinimo langui [24].



28 pav. Įstiklinimo sistema su dvigubu stiklu

Sudarant šilumos balanso lygtis yra daromos tokios prielaidos [24]:

- Stiklo sluoksniai yra pakankamai ploni (kelių milimetrų), todėl šilumos kaupimas jose gali būti nevertinamas, lygtyje tokiu atveju nėra šilumos konservavimo įvertinančių narių.
- Šilumos srautas yra statmenas stiklo paviršiui ir yra vienmatis. Kaip bebūtų, kai yra daugiau nei vienas stiklas, tai šiluminis laidumas dujų sluoksniuose yra priimamas dvimatis.
- Stiklo sluoksniai yra nepraleidžia ilgųjų bangų. Taip ištiktųjų yra daugumai stiklo produktų. Plonomis, plastikinėms plėvelėms ši prielaida nėra gera, taigi šilumos balanso lygtis reiktų keisti, kad įvertintų šį atvejį.
- Stiklo paviršiai yra izoterminiai. Tai gera prielaida, kadangi stiklo laidumas yra labai didelis.
- Trumpos bangos, kurias sugeria stiklo sluoksnis, gali būti padalintos po lygiai dviem stiklo paviršiams.

Taigi dvigubo įstiklinimo langui sprendžiamos lygtis (viengubo ir trigubo įstiklinimo atveju analogiškai, todėl nėra prasmės rodyti) [24]:

$$E_0 \varepsilon_1 - \varepsilon_1 \sigma \theta_1^4 + k_1 (\theta_2 - \theta_1) + h_0 (T_0 - \theta_1) + S_1 = 0, \quad (2)$$

$$k_1 (\theta_1 - \theta_2) + h_1 (\theta_3 + \theta_2) + \sigma \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_3}{1 - (1 - \varepsilon_2)(1 - \varepsilon_3)} (\theta_3^4 - \theta_2^4) + S_2 = 0, \quad (3)$$

$$h_1 (\theta_2 - \theta_3) + k_2 (\theta_4 - \theta_3) + \sigma \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_3}{1 - (1 - \varepsilon_2)(1 - \varepsilon_3)} (\theta_2^4 - \theta_3^4) + S_3 = 0, \quad (4)$$

$$E_i \varepsilon_4 - \varepsilon_4 \sigma \theta_4^4 + k_2 (\theta_3 - \theta_4) + h_i (T_i - \theta_4) + S_4 = 0, \quad (5)$$

čia: E_0, E_i - krintančių išorinių ir vidinių ilgujų bangų radiacija (W/m^2); h_0, h_i - išorės ir vidaus oro sluoksnio konvecinis laidumas ($\text{W/m}^2\text{K}$); S_i - zonos lempų spinduliavimas (ilgujų ir trumpųjų bangų), kuri absorbuoja paviršius i (W/m^2); T_0, T_i - Vidaus iš išorės oro temperatūra (W/m^2); ε_i - paviršiaus i ilgujų bangų spinduliavimas; h_j - j tarpe esančių dujų laidumas ($\text{W/m}^2\text{K}$); σ - Stefano – Bolcmano konstanta.

Absorbuota radiacija

Yra laikoma, kad išspinduliuojamų trumpųjų bangų (saulės ir nuo apšvietimo) absorbavimas vyksta išilgai stiklo sluoksnio ir vyksta tolygiai, todėl sudarant šilumos balansą, sugertas energijos kiekis yra padalinamas po lygiai abiem sluoksnio paviršiams. Stiklo sluoksniai laikomi nelaidūs ilgosioms bangoms, todėl išspinduliuojamos nuo žmonių, įrangos ir apšvietimo ilgosios bangos yra priskiriamos tik vidinio sluoksnio, vidiniam paviršiui (iš kambario pusės). Kai yra N stiklo sluoksnių S_i yra skaičiuojama [24]:

$$S_{2j-1} = S_{2j} = \frac{1}{2} (I_{bm}^{ext} \cos \phi A_j^f(\phi) + I_{dif}^{ext} A_j^{f,dif} + I_{sw}^{int} A_j^{b,dif}), \text{ kai } j=1 \text{ iki } N; \quad (6)$$

$$S_{2N} = S_{2N} + \varepsilon_{2N} I_{hw}^{int} \quad (7)$$

čia: I_{bm}^{ext} - lauko saulės spinduliuotės intensyvumas (W/m^2); I_{dif}^{ext} - lauko difuzinės saulės spinduliuotės įtaka stiklui (W/m^2); I_{sw}^{int} - patalpos trumpųjų bangų radiacijos įtaka įstiklinimui iš vidaus

(W/m²); I_{hw}^{int} - patalpos ilgųjų bangų radiacijos įtaka įstiklinimui iš vidaus (W/m²); ε_{2N} - vidinio stiklo sluoksnio vidinio paviršiaus emisija (ilgųjų bangų absorbcija).

Įstiklinimo šilumos balanso lygčių sprendimas

Lygtis yra sprendžiamos tokia seka [24]:

1. Linearizuojamos lygtys, kai $h_{r,i} = \varepsilon_i \sigma \theta_i^3$. Pavyzdžiui lygtis (1) tampa:

$$E_0 \varepsilon_1 - h_{r,1} \theta_1 + k_1 (\theta_2 - \theta_1) + h_0 (T_0 - \theta_1) + S_1 = 0 \quad (8)$$

2. Lygtys užrašomos matricos formoje $A\theta = B$.
3. Pasinaudojant tomis pačiomis reikšmėmis, kurios buvo naudojamos θ_i , apskaičiuojamos $h_{r,i}$.
4. Randamas matricos $\theta = A^{-1}B$ sprendinys.
5. Dar kartą įvertinamas $h_{r,i}$ naudojant naują θ_i .
6. Perskaičiuojama $\theta = A^{-1}B$ naudojant naują $h_{r,i}$.
7. Kartojami žingsniai 4,5 ir 6 tol, kol skirtumas $\Delta\theta_i$ tarp θ_i reikšmių, einančių viena po kitos, skirtumas bus mažiau nei nurodytos tam tikros toleruojamos reikšmės.

Šiuo atveju tikrinama:

$$\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{2N} |\Delta\theta_i| < 0,01K, \quad (9)$$

Šis metodas konvertuoja po 6-8 iteracijų. Konvergencija po 2-4 iteracijų gaunama relaksuojant $h_{r,i}$,

t.y.:

$$(h_{r,j})_{naujas} \rightarrow 0,5 \left[(h_{r,j})_{naujas} + (h_{r,j})_{ankstesnis} \right], \quad (10)$$

Pritekėjimų nuo saulės skaičiavimas

EnergyPlus skaičiuoja saulės radiacijos įtaką lango paviršiui įvertindama saulės, dangaus ir žemės spinduliavimą. Tiesioginis saulės poveikis yra paimamas iš klimatinių duomenų failo ir apskaičiuojamas saulės spindulių kritimo kampas. Žemės paviršiaus atspindėti spinduliai, kurie sklinda difuzijos būdu, yra įvertinami per į žemės paviršių krentančius saulės spindulius, lango poziciją žemės atžvilgiu ir atspindėjimo koeficientus [24].

Dangaus difuzinė radiacija apskaičiuojama [24]:

$$I_{dangaus} = I_{horizon} + I_{skliauto} + I_{aplinksaule}, \quad (11)$$

čia: $I_{horizon}$ - lango apšvita nuo dangaus paviršiaus; $I_{skliauto}$ - lango apšvita nuo dangaus skliauto,

$I_{aplinksaule}$ - lango apšvita nuo aplink Saulę esančio paviršiaus.

Šešėlių įtakos vertinimas

Kiekvienam langui EnergyPlus skaičiuoja įvairių objektų sukiamų šešėlių poveikį. F_{sun} yra lango paviršius, kuris tiesiogiai veikiamas saulės spindulių, jis apskaičiuojamas kiekvienai valandai, nes priklauso nuo saulės padėties [24].

Horizontalus apšvietimas apskaičiuojamas pagal formulę [24]:

$$R_{horizon} = \frac{Stabdoma \text{ horizontali apsvita}}{Tiesiogine \text{ horizontali apsvita}} = \frac{\sum_i I_i F_i}{\sum_i I_i}; \quad (12)$$

Kur I_i yra tiesioginė radiacija iš i - tojo horizontalaus taško, F_i yra mažas tiesiogiai saulės apšviestas lango plotas, jis apskaičiuojamas naudojantis Walton'o metodu.

Izotopinio dangaus skliautui atitinkama reikšmė apskaičiuojama [24]:

$$R_{skliauto} = \frac{Stabdoma \text{ skliauto apsvita}}{Tiesiogine \text{ skliauto apsvita}} = \frac{\sum_{i,j} I_{ij} F_{ji}}{\sum_{i,j} I_{ij}}; \quad (13)$$

Čia (i,j) yra dangaus skliauto taškų tinklas pagal altitudę ir azimutą, $I_{i,j}$ yra tiesioginė lango apšvita iš ij -ojo taško, o $F_{i,j}$ yra mažas tiesiogiai saulės apšviestas lango plotas.

Kadangi priimta, kad paviršius aplink Saulę yra sukoncentruotas apie jos diską, tai [24]:

$$R_{aplinksaule} = \frac{Stabdoma \text{ apsvita}}{Tiesiogine \text{ apsvita}} = F_i, \quad (14)$$

Bendra dangaus difuzinė radiacija veikianti langą apskaičiuojama:

$$I'_{dangaus} = R_{horizon} I_{horizon} + R_{skliauto} I_{skliauto} + R_{aplinksaule} I_{aplinksaule}, \quad (15)$$

EnergyPlus skaičiuoja $R_{horizon}$, $R_{skliauto}$ tik kartą, nes jie nepriklauso nuo Saulės pozicijos.

Lango rėmai ir skiriamosios sienelės

Apie 10 - 20% šilumos yra perduodama per lango rėmus ar skiriamąsias sieneles. Programa nustato šį šilumos srautą iš šilumos balanso lygties išoriniams ir vidiniams rėmų elementams. Skaičiavimui naudojamas dvimatis laidumas iš WINDOW 5 programos. EnergyPlus įvertina tiesioginę ir netiesioginę saulės radiaciją veikiančią lango elementus, o taip pat įvertina jų metamą šešėlį ant stiklo. Taip pat įvertina jų sudaromus šiluminius tiltelius [24].

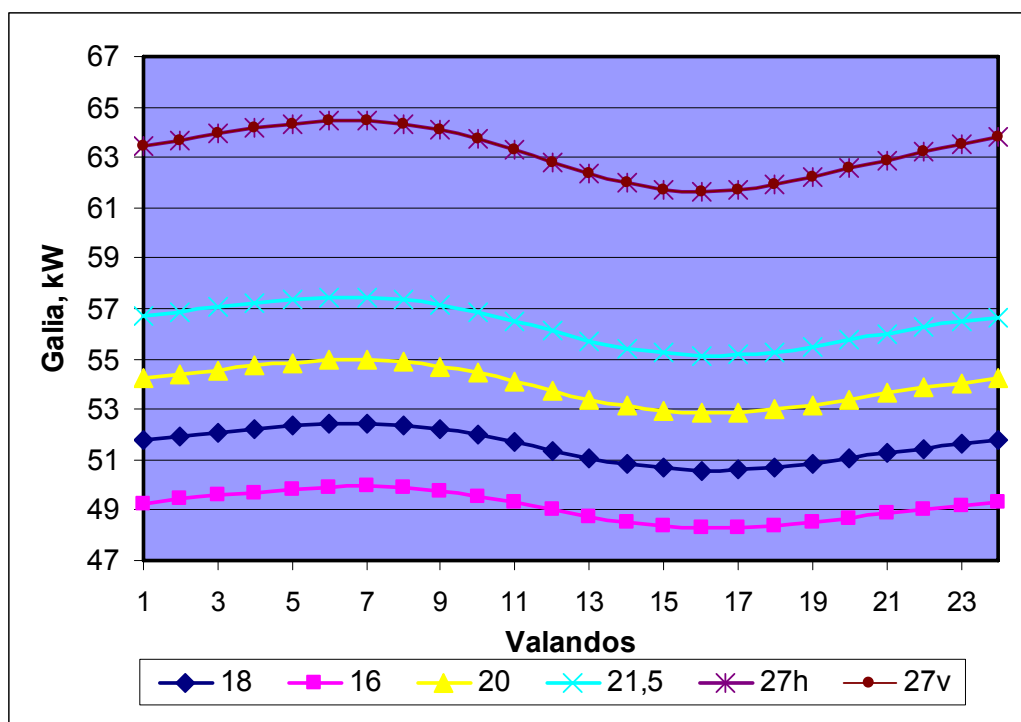
Saulės radiacijos pasiskirstymas po patalpą

EnergyPlus nustato, kaip saulės spinduliai yra perduoti per langą pasklinda patalpoje. Saulės spindulių pasiskirstymas patalpoje yra svarbus kai joje yra termiškai masyvūs elementai, tokie kaip sienos ar grindys, kurie gali kaupti saulės skleidžiamą šilumą [24].

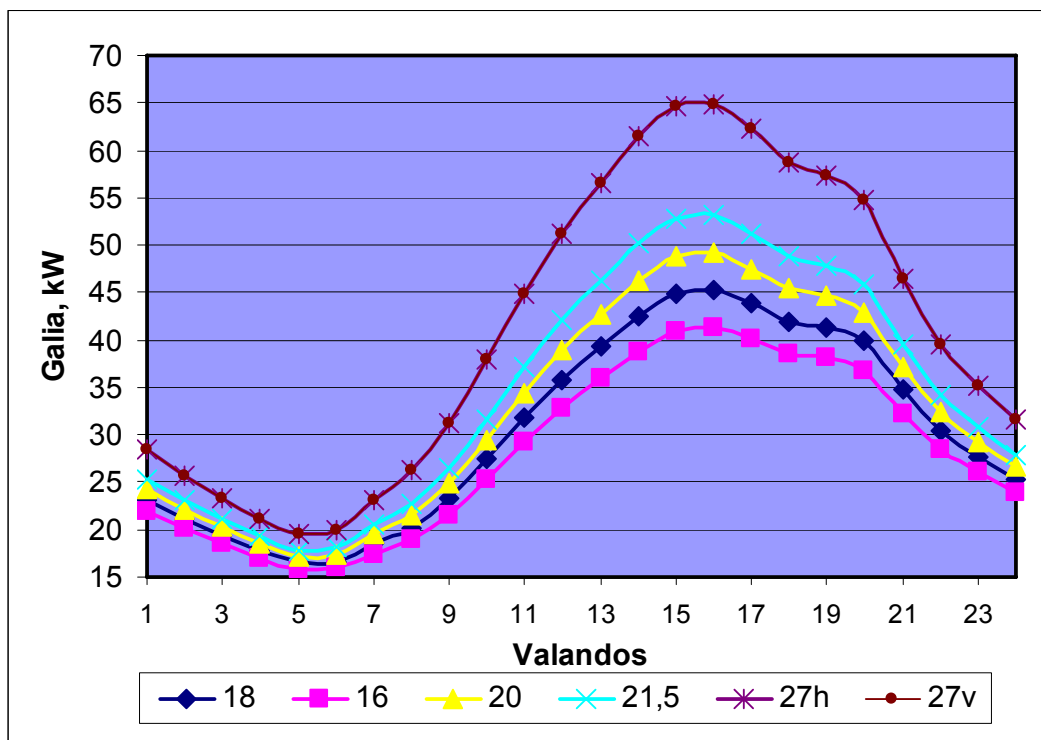
Toks metodas gerai veikia, jei patalpoje nėra vidinių kliūčių.

12.1.3. Įstiklinimo įtakos skaičiavimo rezultatai

Atlikus modeliavimą, apibendrintai visiems atvejams gauti rezultatai pateikti 5 priede. Pagal šiuos rezultatus nubraižomi šildymo ir šaldymo galių, priklausomai nuo įstiklinimo ploto, kitimai projektinės paros bėgyje (29, 30 pav.).



29 pav. Pastato šildymo galios kitimo grafikas per žiemos projektinę parą, priklausomai nuo įstiklinimo ploto



30 pav. Pastato šaldymo galios kitimo grafikas per vasaros projekcinę parą, priklausomai nuo įstiklinimo ploto
Rezultatų aptarimas

Iš 29 ir 30 paveikslų matyti, kad projekcinės paros bėgyje ir šildymo, ir šaldymo galios kitimo tendencijos lieka tos pačios, nepriklausomai nuo įstiklinimo ploto.

Didžiausi šilumos ir šalčio poreikiai yra tada, kai įstiklinimo plotas 27 %, atitinkamai mažiausi nuostoliai, kai įstiklinimas 18 %. Nesvarbu, ar lango plotas buvo didinamas vertikalia ar horizontaliai kryptimi, tai įtakos nedaro.

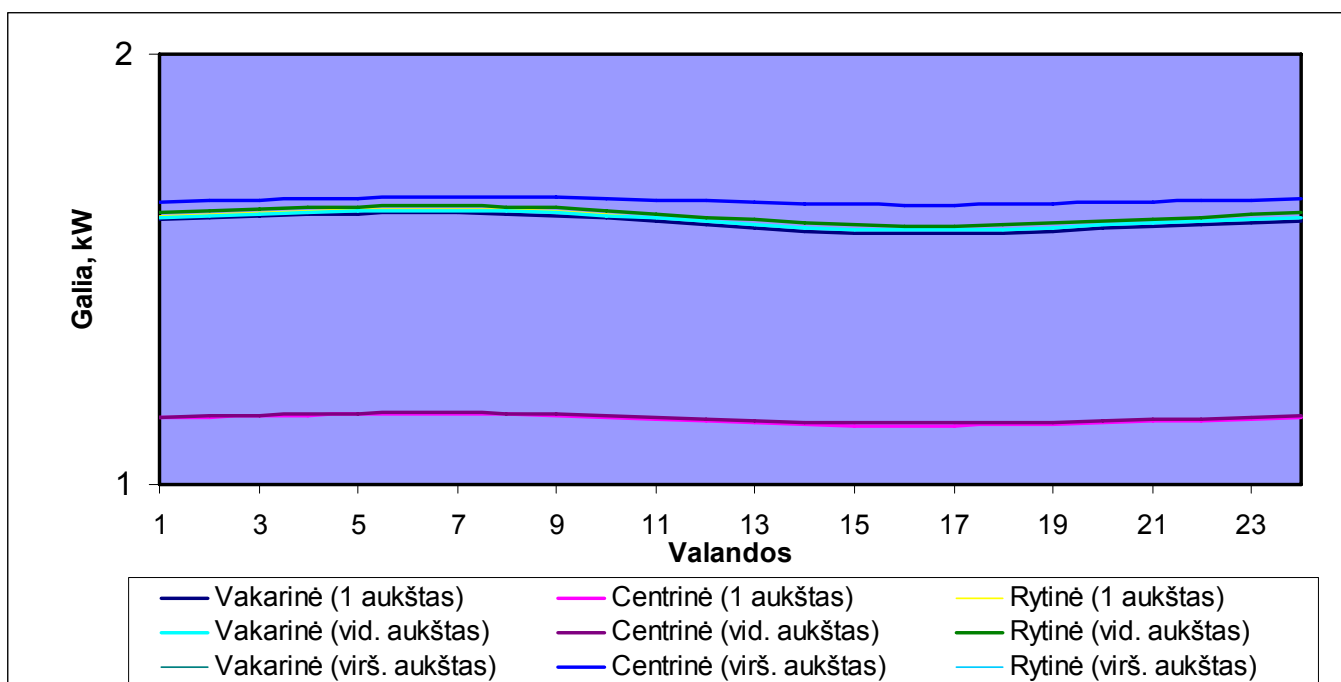
Šaldymo galiai skirtumas tarp blogiausio ir geriausio atvejo yra 19,63 kW, t.y. 30 %.

Šildymo galiai skirtumas tarp geriausio ir blogiausio atvejo yra 12,02 kW, t.y. 19 %.

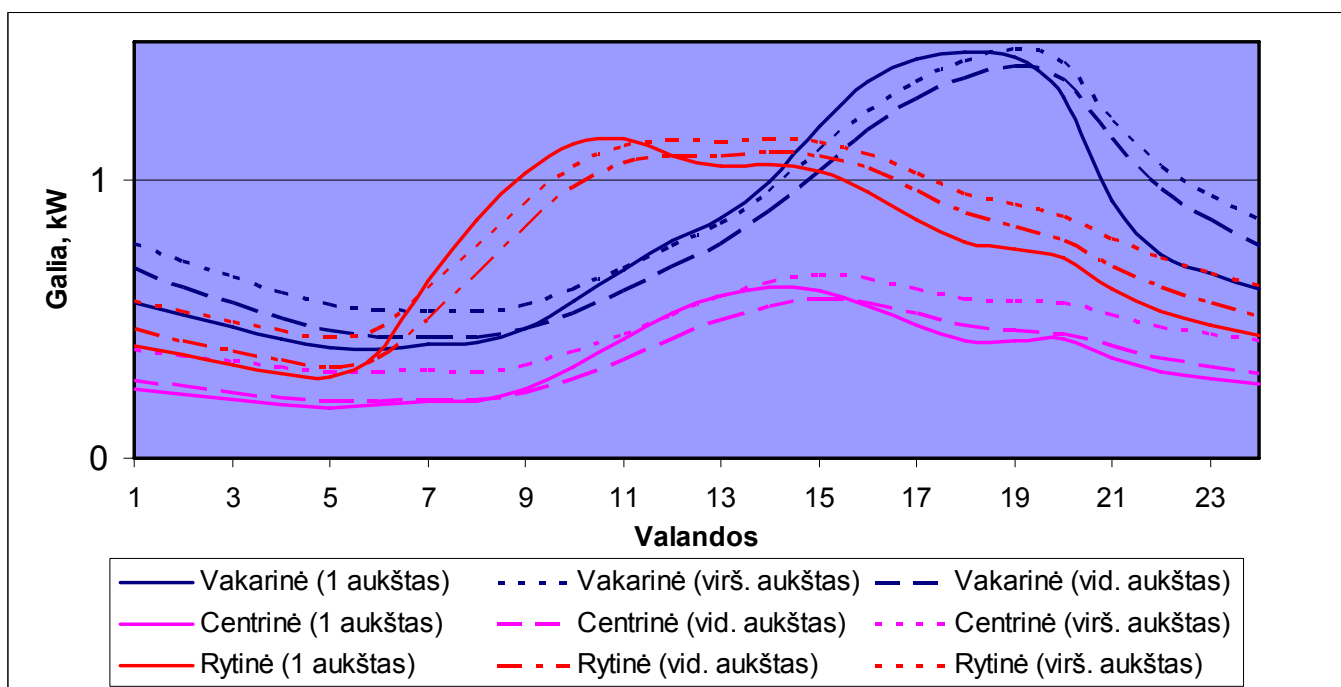
Žiemos projekcinės paros bėgyje šildymo pikas yra pasiekiamas 7 val. ryto, o vasaros projekcinės paros bėgyje šaldymo pikas yra 16 val.

12.3. Energijos pasiskirstymas pastato zonos

Atliekant skaičiavimus pastatas buvo zonuojamas, tai reiškia, kad skaičiavimai buvo atliekami atskirai kiekvienai pastato zonai. 6 priede pateikiami skaičiavimų rezultatai, parodantys energijos (šildymui ir šaldymui) pasiskirstymą pagal zonas. 31 ir 32 paveiksluose pavaizduota, kaip projekcinės paros bėgyje kinta energijos poreikis skirtingose zonos ir skirtinguose aukštuose.



31 pav. Atskirų zonų šilumos poreikis per projektinę parą



32 pav. Atskirų zonų šalčio poreikis per projektinę parą

Rezultatų aptarimas

Kaip matome iš aukščiau pateiktų paveikslų, atskirų zonų šilumos poreikis projektinės paros bėgyje šildymo atveju yra mažiausias centrinei pirmo aukšto zonai ir centrinei vidurinio aukšto zonai. Taip yra dėl to, kad jos turi mažiausiai išorinių atitvarų, o pirmo aukšto grindų šilumos perdavimo koeficientas yra mažas. Kitų zonų šilumos poreikiai maždaug vienodi.

Daug įdomesnis yra grafikas vaizduojantis šalčio poreikio kitimą skirtingose zonose. Kaip matome iš jo, kiekvienos zonos šalčio poreikio grafikas projektinės paros bėgyje yra labai individualus. Šias kitimo kreives galima sugrupuoti pagal panašumą ir matome, kad zonos tarpusavyje panašios pagal jų padėtį aukšte (vakarinė, centrinė ar rytinė).

Per parą mažiausiai šalčio reikia centrinėms zonoms, o vakarinėms ir rytinėms maždaug vienodai. Jei vertinti zonas pagal aukštus, tai daugiausia šalčio reikia viršutiniam aukštui, dėl pritekėjimų per stogą. Pirmam ir viduriniams aukštams tenka maždaug po lygiai.

Šaldymo poreikio pikas rytinėse zonose pasiekiamas apie 11 val., centrinėse – 14 val., o vakarinėse – 18-19 val..

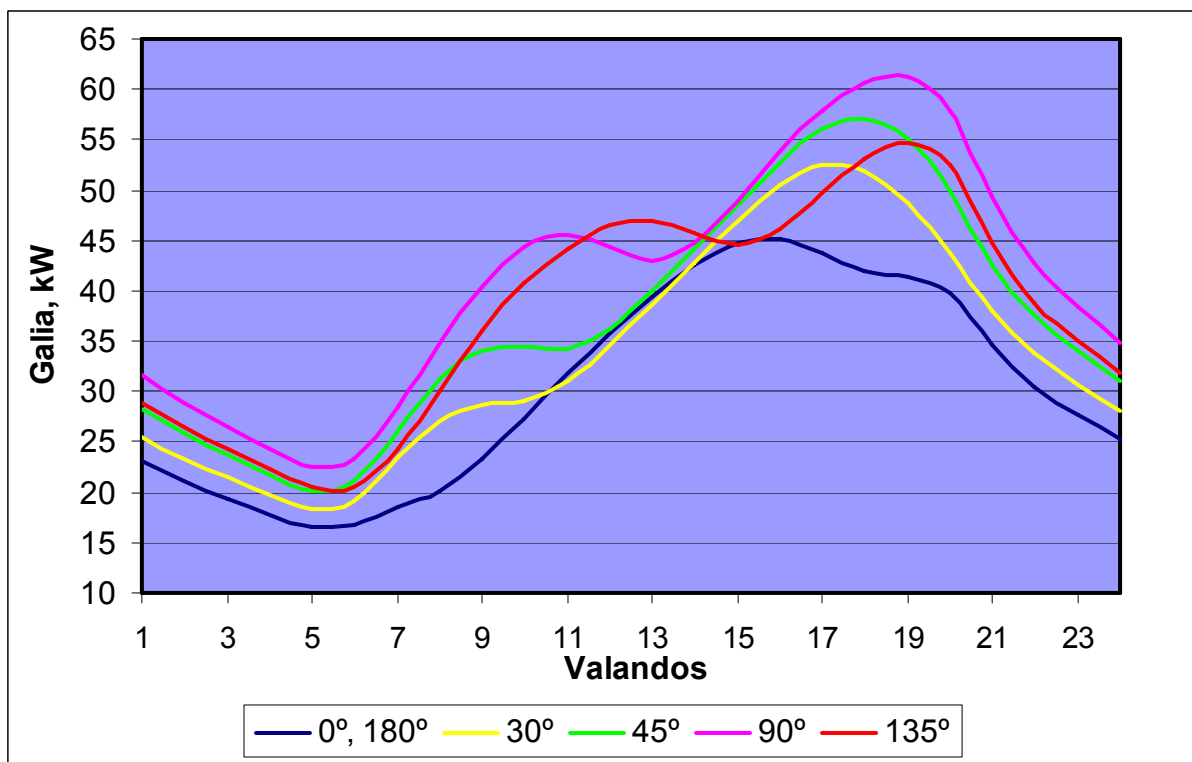
Taigi kiekvieną zoną atskiru atveju reikia nagrinėti individualiai.

12.4. Orientacijos įtakos skaičiavimo rezultatai

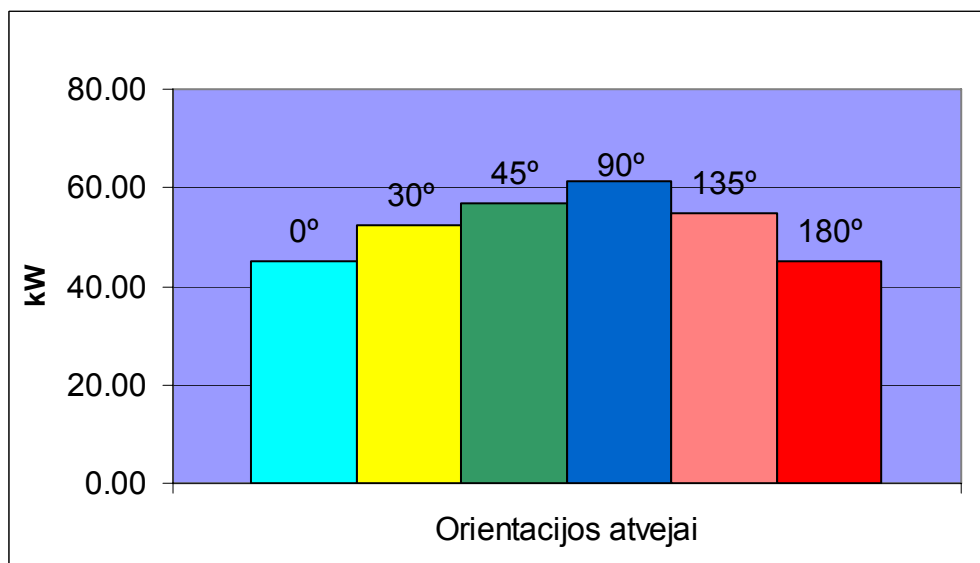
Kitas faktorius, darantis įtaką pastato šilumos ir šalčio nuostoliams yra pastato orientacija pasaulio šalių atžvilgiu.

Buvo atliekamas modeliavimas kelioms orientacijoms: 0°, 30°, 45°, 90°, 135°, 180°.

Šio skaičiavimo rezultatai pateikti 7 priede. Iš šiame priede pateiktų skaičių matome, kad šildymo galiai pastato orientacija įtakos nedaro, todėl grafikai braižomi tik šaldymo galiai.



33 pav. Pastato šaldymo galios kitimas per projekcinę parą esant įvairioms pastato orientacijoms.
34 paveiksle pavaizduotos pikinės šaldymo galios esant įvairioms orientacijoms.



34 pav. Pikinės šaldymo galios esant įvairioms orientacijoms.

Rezultatų aptarimas

Iš 33, 34 pav. matosi, kad didžiausias šaltinio poreikis yra tada, kai pastatas orientuotas 90° nuo šiaurės ašies, t.y. jis orientuotas į rytus. Geriausia orientacija šiam pastatui yra 0° arba 180° (šiaurė arba pietūs).

Energijos galios šaldymui skirtumas esant blogiausiai ir geriausiai orientacijai yra 15,95 kW, t.y. 26 %.

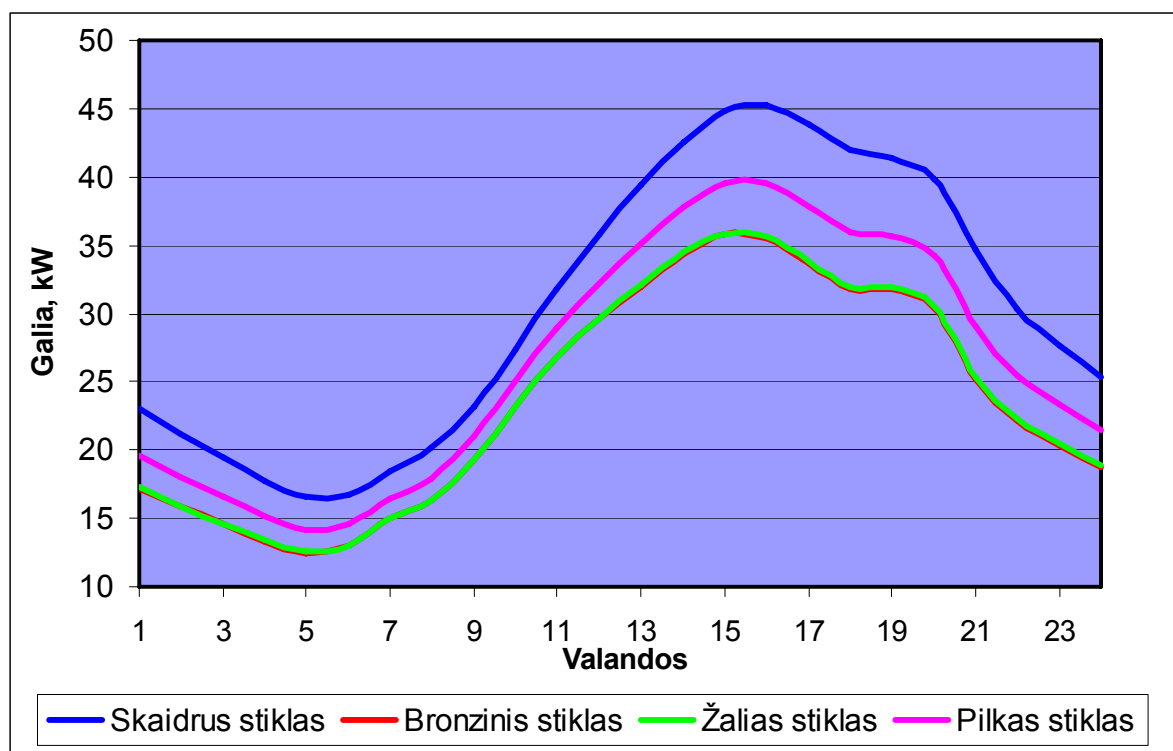
Kiekvienos orientacijos atveju šaltinio poreikis projekcinės paros bėgyje kinta labai individualiai.

12.5. Stiklo rūšies įtakos skaičiavimo rezultatai

Kadangi langams naudojama stiklo rūšis taip gali turėti įtakos pastato šilumos / šaltinio nuostoliams, tai taip pat yra atliktas modeliavimas keturioms stiklo rūšims, kai dvigubo ištiklinimo langui keičiamas tik išorinis stiklas, vidinis visais atvejais paliekamas skaidrus. Lyginamos 4 stiklo rūšys: skaidrus, bronzinis, žalias ir pilkas.

Skaičiavimo rezultatai pateikti 8 priede. Pagal šiuos rezultatus nubraižomas 35 paveiksle pavaizduotas grafikas.

Kadangi šildymo galia keičiant stiklo rūšį nekinta, tai grafikas braižomas tik šaldymo galiai.



35 pav. Šaldymo galios kitimas per projekcinę parą priklausomai nuo stiklo rūšies

Rezultatų aptarimas

Kaip matosi iš grafiko (35 pav.), didžiausias šaltinio poreikis yra esant skaidriam stiklui, o mažiausias – naudojant žalią arba bronzinį stiklą.

Skirtumas tarp šaldymo galios esant skaidriam stiklui ir bronziniam stiklui yra 9,6 kW, t.y. 21,2 %.

13. Blogiausio ir geriausio pastato variantų parinkimas ir palyginimas

Žinant kokią įtaką daro nagrinėjamo pastato energijos sąnaudoms išnagrinėti faktoriai, parenkami du skirtingi pastato variantai: vienas, kai pritaikomi visi energetiškai geriausi bruožai, o kitas – blogiausi. Tikslas yra apskaičiuoti, koks bus energijos poreikio skirtumas, t.y. , kiek energijos galima sutaupyti energetinio modeliavimo dėka.

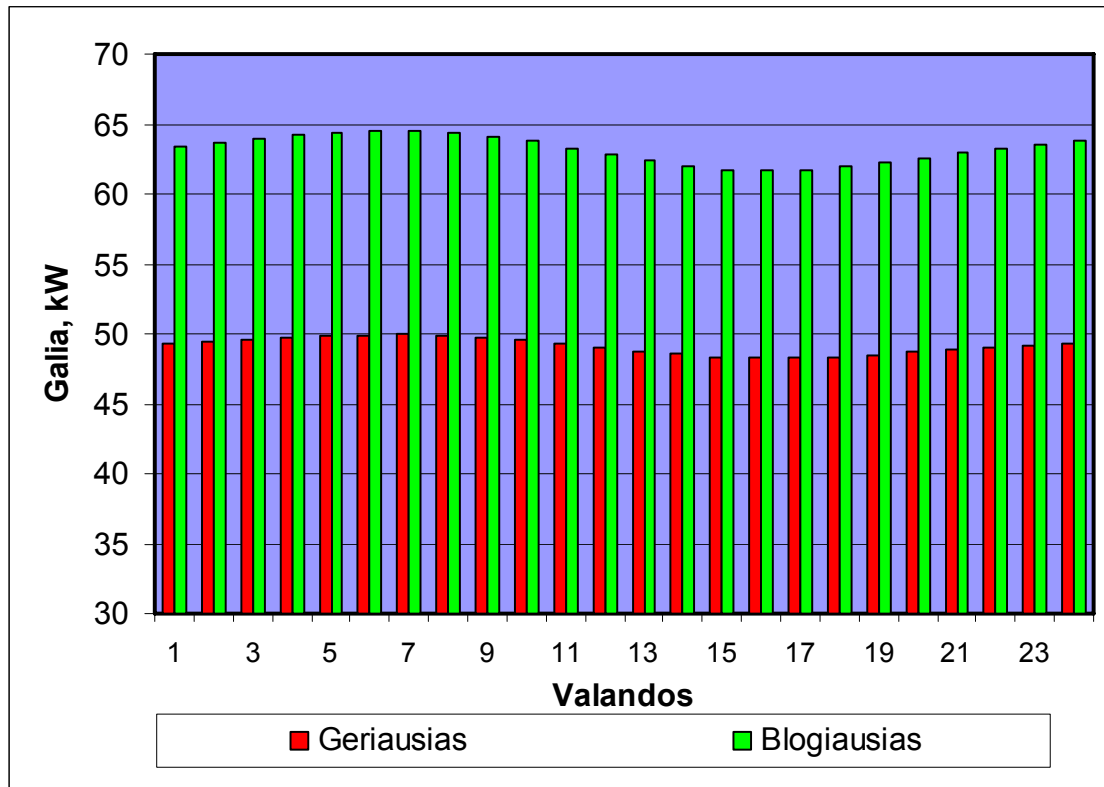
Geriausias pastatas bus, kai įstiklinimas 18 %, orientacija šiaurinė, o langų stiklas yra bronzinis. Blogiausias variantas, kai įstiklinimas 27 %, orientacija rytinė, o langų stiklas yra skaidrus.

Skaičiavimo rezultatai pateikiami prieduose 7 lentelėje.

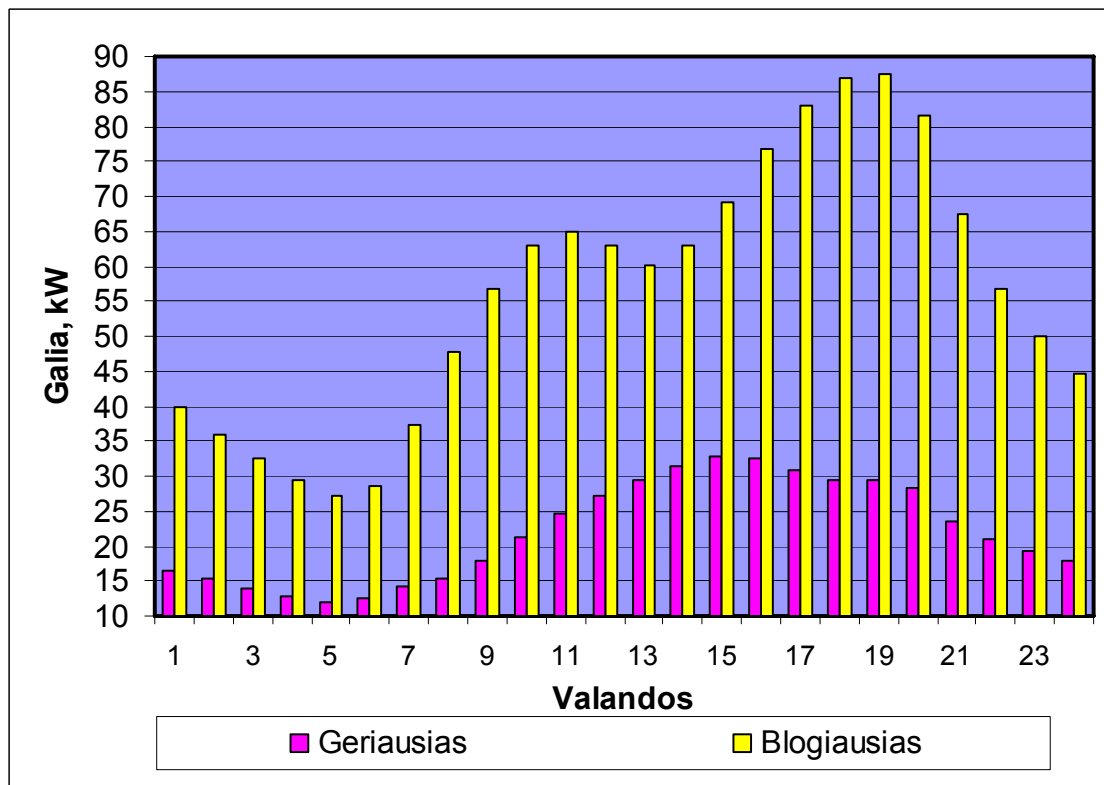
7 lentelė. Geriausias ir blogiausias modeliuojamo pastato variantas

Val.	Geriausias variantas		Blogiausias variantas	
	Pastato šildymo galia, kW	Pastato šaldymo galia, kW	Pastato šildymo galia, kW	Pastato šaldymo galia, kW
1	49,28	16,49	63,42	39,76
2	49,43	15,22	63,68	35,91
3	49,58	14,02	63,93	32,53
4	49,72	12,90	64,16	29,53
5	49,84	12,05	64,35	27,21
6	49,92	12,52	64,46	28,70
7	49,93	14,20	64,47	37,46
8	49,88	15,35	64,35	47,72
9	49,75	18,02	64,10	56,78
10	49,55	21,40	63,74	63,06
11	49,30	24,57	63,28	65,06
12	49,01	27,17	62,78	62,89
13	48,75	29,30	62,33	60,24
14	48,53	31,45	61,97	62,84
15	48,37	32,72	61,73	69,19
16	48,29	32,56	61,64	76,68
17	48,30	30,98	61,71	82,92
18	48,38	29,43	61,90	86,87
19	48,52	29,44	62,20	87,33
20	48,69	28,20	62,55	81,55
21	48,87	23,64	62,90	67,36
22	49,04	20,94	63,23	56,71
23	49,20	19,34	63,53	49,91
24	49,34	17,91	63,78	44,51
Σ	1179,48	529,84	1516,19	1352,72

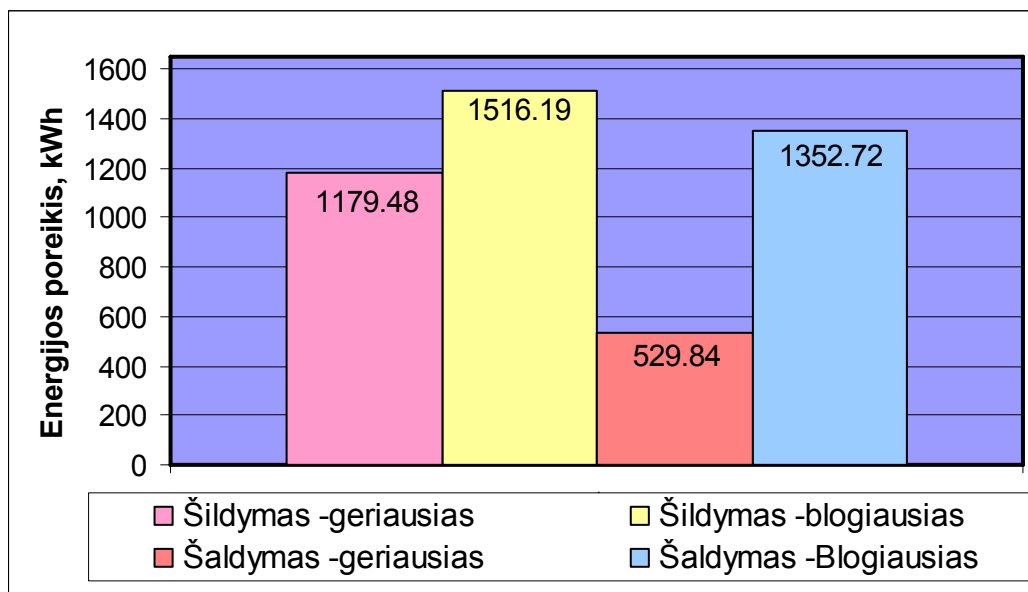
Pagal lentelės duomenys nubraižomi grafikai, kurie pavaizduoti 36, 37, 38 paveiksluose. Juo pavaizduota, kaip kinta ir kaip skiriasi projekcinės paros bėgyje abiejų variantų energijos poreikis. Taip pat parodyta, kiek skiriasi abiejų variantų projekcinės paros energijos sąnaudos šildymui ir šaldymui.



36 pav. Šilumos poreikio kitimas per projekcinę parą geriausio ir blogiausio pastato varianto atveju.



37 pav. Šalčio poreikio kitimas per projekcinę parą geriausio ir blogiausio pastato varianto atveju.



38 pav. Šilumos ir šalčio poreikis per projektinę parą geriausio ir blogiausio pastato varianto atveju.

Rezultatų aptarimas

Kaip matosi iš grafikų, šildymo galią geriausio pastato varianto atveju labai skiriasi nuo blogiausio, tačiau kitimas paros bėgyje lieka abiem atvejais tas pats. Skirtumas tarp projektinės paros šilumos poreikio yra 336,71 kWh, tai yra 22,22 %. Maksimali galia skiriasi 14,54 kW – 22,55 %. Nagrinėjant šalčio galios kitimą projektinės paros bėgyje, matosi, kad čia skirtumas dar didesni nei šildymo galios atveju ir poreikis paros bėgyje blogesniu atveju kinta žymiau intensyviau. Šalčio poreikio skirtumas tarp variantų projektinės paros bėgyje yra 822,28 kW., t.y. 60,83 %. Šaldymo galių skirtumas yra 54,61 kW – 62,53 %.

14. Panaudotos metodikos palyginimas su kitomis naudojamomis metodikomis

EnergyPlus programos rezultatų tikslumo įvertinimui pasirinkta atlikti šildymo galios palyginimą su dviem Lietuvoje naudojamais skaičiavimo būdais. Skaičiavimas atliekamas pradiniam pastato variantui.

Pirmas būdas yra pats paprasčiausias ir labai grubus, tačiau gan dažnai taikomas, kai reikia greitai įvertinti pastato šildymo galią (pavyzdžiui, kai rengiamas pasiūlymas įrangai). Šis būdas neįvertina nei pritekėjimų, nei vėdinimo ir infiltracijos nuostolių. Bus skaičiuojami tik aitvarų nuotoliai pagal

skaičiuotiną temperatūrą, patalpos temperatūrą ir aitvarų šilumos perdavimo koeficientus. Skaičiavimui panaudojama paprasčiausia šilumos perdavimo formulė, W [27]:

$$Q_u^{\max} = \sum_i A_i U_i (t_{in} - t_{ex}^c), \quad (16)$$

čia: A_i - atitinkamos išorinės atitvaros plotas, m^2 , jis pateiktas 8 lentelėje; U_i - atitinkamos atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2K)$, reikšmės pateiktos 5 lentelėje; t_{in} - patalpos temperatūra ($21^\circ C$); t_{ex}^c - projektinė lauko temperatūra (Vilniuje $-23^\circ C$).

8 lentelė. Aitvarų plotai.

<i>Atitvara</i>	<i>Atitvaros plotas, m^2</i>
Išorinė siena	1372,40
Langas	300,00
Pirmo aukšto grindys	130,99
Stogas	130,99

Atlikus skaičiavimus pagal (16), gauta galia yra 72,77 kW. Tai skirtumas tarp jos ir paskaičiuotos su EnergyPlus yra 20,32 kW, tačiau neteisinga būtų dabar lyginti metodus, nes buvo skaičiuota pagal skirtingas lauko temperatūras (priežastys jau buvo minėtos). Tam, kad palyginimas būtų tikslesnis, perskaičiuojama pagal tą pačią formulę, tik naudojant projektinę lauko temperatūrą ($-20,4^\circ C$).

Tada gaunama, kad skirtumas tarp rezultatų yra 16,02 kW, t.y 23,4 %.

Kitas skaičiavimo metodas, su kuriuo bus lyginama yra iš šildymo galios skaičiavimo normatyvų [28]. Šis metodas jau yra tikslesnis, nes įvertina įvairius pataisos koeficientus ir taiko grindims kitą (mažesnę) skaičiuotiną temperatūrą. Šiuo atveju taip pat bus skaičiuojama šildymo galia neįvertinant nei infiltracijos, nei vėdinimo nuostolių, tačiau vertinami nuostoliai per šiluminius tiltelius.

Pastato atitvarų projektiniai šilumos nuostoliai Φ_{en} nustatomi, sudedant šilumos nuostolius per visas pastato atitvaras (elementus) bei ilginius šilumos tiltelius, W [28]:

$$\Phi_{en} = \Sigma \Phi_{el} + \Sigma \Phi_{\psi}, \quad (17)$$

Kiekvienos atitvaros dalies, apibūdinamos skirtinga šilumos perdavimo koeficiento verte, projektiniai šilumos nuostoliai Φ_{el} skaičiuojami, W:

$$\Phi_{el} = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot k_u \cdot (1 + \Delta k_o + \Delta k_w + \Delta k_h + \Delta k_d), \quad (18)$$

čia: U – atitvaros (atitvaros dalies) šilumos perdavimo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$ (5 lentelė); A – atitvaros (atitvaros dalies) plotas, m^2 (8 lentelė); θ_i – projekcinė vidaus temperatūra, $^{\circ}C$ (21); θ_e – projekcinė išorės temperatūra, $^{\circ}C$ (Vilniuje (-23)); k_u – pataisa, jeigu atitvara tiesiogiai nesusisiečia su išorės oru. Pataisa netaikoma grindims ant grunto bei įgilintai rūšio sienų daliai; Δk_o – pataisa dėl atitvaros padėties pasaulio šalių atžvilgiu. Į šiaurę orientuotoms atitvaroms ji yra 0,05. Pataisa netaikoma perdangoms ir grindims; Δk_w – pataisa dėl vėjo įtakos. Ji priimta 0,02. Pataisa netaikoma perdangoms ir grindims; Δk_h – pataisa dėl šildymo prietaisų rūšies. Kadangi dar nežinoma šildymo sistemos tipas, tai ji priimama 0,02. Ji taikoma visoms atitvaroms; Δk_d – pataisa dėl išorės durų (jei nėra oro užuolaidų), taikoma skaičiuojant durų šilumos nuostolius. Šiuo atveju ji nevertinama;

Projektiniai šilumos nuostoliai per ilginis šilumos tiltelius Φ_{Ψ} , tokius kaip gelžbetoninė sàrama virš lango angos, nustatomi pagal formulę, W:

$$\Phi_{\Psi} = \Psi \cdot l \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot k_u, \quad (19)$$

čia: Ψ – ilginio šilumos tiltelio šilumos perdavimo koeficientas, $W/m \cdot K$. Jo vertę (pagal išorinius pastato matmenis) ji pasirenkama 0,10 langui ir (-0,10) kampui iš normatyvuose esančių lentelių; l – ilginio šilumos tiltelio ilgis, m.

Apskaičiavus pagal nurodytas formules gauta, kad šildymo galia 78,28 kW. Tikslesniam palyginimui ši galia perskaičiuojama prie žemesnės skaičiuojamosios lauko temperatūros ir gaunama, kad ji yra 73,41 kW. Reiškia skirtumas tarp apskaičiuotos galios ir apskaičiuotos su EnergyPlus yra 28,6 %.

Taigi bet kuriuo atveju lyginant šiuos tris skaičiavimo metodus, EnergyPlus žymiai išsiskiria iš likusiųjų dviejų, tačiau tai galima paaiškinti tuo, kad ji atlieka daug detalesnius skaičiavimus (jau buvo aprašyta), ji įvertina atitvarų inerciją ir atlieka dinامينius skaičiavimus labai mažu laiko žingsniu.

15. Išvados ir pasiūlymai

Žemiau pateikiamos visus skaičiavimus apibendrinančios išvados.

1. Projektinės paros energijos šildymui poreikių grafikas leido nustatyti, kada yra didžiausias, o kada mažiausias pastato energijos poreikis. Didžiausias energijos poreikis šildymui yra ryte t.y. 5-6 val. o mažiausias vakare – 18-19 val.. Šildymo pikas pasiekiamas visais atvejais tomis pačiomis valandomis, nepriklausomai nuo pastato įstiklinimo ploto, orientacijos ar stiklo rūšies. Pikinių pastato galių šildymui dydis priklauso tik nuo įstiklinimo ploto, bet nepriklauso nuo pastato orientacijos ar stiklo rūšies.
2. Sudarytas projektinės paros energijos šaldymui poreikių grafikas parodė, kad šaldymo poreikis yra daug labiau priklausomas nuo įstiklinimo ploto, pastato orientacijos ir stiklo rūšies, nei energijos poreikis šildymui. Pagal šį grafiką, mažiausias energijos poreikis yra apie 5-6 val. ryto. Minimumas yra pastoviai tam pačiam intervale, o maksimumas gali būti pasiekiamas tarp 16-19 val. vakaro ir priklausomo nuo įstiklinimo ploto, pastato orientacijos ir stiklo rūšies.
3. Nagrinėjant atskirų zonų energijos poreikius per projektinę parą nustatyta, kad energijos poreikis šildymui mažiausias pirmo aukšto ir vidurinių aukštų centrinėse zonose, tai gali būti paaiškinama tuo, kad centrinės zonos turi mažiausia išorinių aitvarų, o pirmo aukšto grindų šilumos perdavimo koeficientas yra mažas. Likusių zonų šilumos poreikis yra maždaug vienodas. Paros bėgyje visų zonų šilumos poreikis kinta be ryškių tarpusavio skirtumų.
4. Pagal šalčio poreikio per projektinę parą grafiką matosi, kad šalčio poreikis įvairios orientacijos zonose labai skiriasi. Poreikis skiriasi ne tik savo dydžiu, bet ir pikinės galios pasiekiamas skirtingu laiku. Tai galima paaiškinti skirtinga saulės padėtimi šių zonų atžvilgiu ir saulės judėjimu. Mažiausiai reiklios energijai yra centrinės zonos, o daugiausiai – vakarinės ir rytinės. Vakarinų zonų galios yra didžiausios.
5. Skaičiuojant galių priklausomybę per projektinę parą nuo įstiklinimo nustatyta, kad, kuo mažesnis įstiklinimo plotas, tuo mažesnės šildymo ir šaldymo galios. Įstiklinimo plotą padidinus 9 % (nuo 18 iki 27 %), šildymo galia padidėja 19 %, o šaldymo - 30 %.

6. Išnagrinėjus energijos poreikių per projektinę parą priklausomybę nuo pastato orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu nustatyta, kad geriausia pastato orientacija yra šiaurė arba pietūs, o blogiausia rytai. Šiuo atveju pastato šildymo poreikiai nepriklausė nuo orientacijos, bet šaldymo galios skirtumas esant blogiausiam ir geriausiam variantui yra 26 %.
7. Keičiant stiklo rūšį gauta, kad šildymo galia nepriklauso nuo šio faktoriaus, o šaldymo galiai geriausias yra bronzinis stiklas, o blogiausias – skaidrus. Skirtumas tarp šių variantų yra 21,2 %.
8. Pastatui pritaikius blogiausius ištiklinimo, orientacijos ir stiklo rūšies atvejus ir pritaikius geriausius, buvo gauta, kad skirtumas tarp geriausio ir blogiausio atvejo projektinės paros šildymo poreikio yra 22,55 %, o šaldymo – 60,83 %. Galių skirtumas gautas: šildymui – 22,22 %, šaldymui – 62,53 %.
9. Palyginus pastato šildymo galios apskaičiuotą reikšmę su apskaičiuotais pagal kitas metodikas, gautas skirtumas svyruoja nuo 23,4 – 28,6 %. Tokie skirtumai gauti, kai buvo perskaičiuota prie tokios pat skaičiuotinos lauko temperatūros, kokią naudojo EnergyPlus. Jei neatliekamas perskaičiavimas, tai skirtumas padidėja dar maždaug 8-9 %.
10. Projektuojant naują pastatą būtina apsvarstyti kuo daugiau ištiklinimo ploto, orientacijos ir stiklo rūšies pritaikymo atvejų, nes šie faktoriai daro labai didelę įtaką pastato energijos poreikiams. Nors EnergyPlus ir reikalauja nemažai laiko sąnaudų, tokiai analizei atlikti (nesant darbą pagreitinantiems interfeisams), tačiau sutaupyta energijos kiekis panaudojant modeliavimą vertas to. Verta naudoti būtent šią programą, nes vien jos, kaip priemonės taikymas yra pranašesnis už paprastesnes naudojamas metodikas. Ypač svarbu, kad apskaičiuoti mažesni galingumai leidžia taupyti pinigus perkant įrangą ir naudojant ją didesniu efektyvumu. Pastato skaičiavimas zonomis, kurį atlieka EnergyPlus taip pat leidžia taupyti energiją, nes atliekant zonavimą, galima suprojektuoti skirtingoms zonoms skirtingas sistemas, kurios veiks optimaliu efektyvumu.

Remiantis išvadomis, rekomenduojama įdiegti dinamines kompiuterinio energetinio modeliavimo programas (EnergyPlus ar kitas) projektavimo įmonėse ar energetinius auditus atliekančiose įmonėse.

Nors užsakovui projektas ir kainuotų brangiau, tačiau išlaidos galėtų atsipirkti jau įrangos pirkimo stadijoje. Individualių namų savininkams toks projektas greičiausiai atsipirktų nelabai greitai ir atsipirktų tik dėl sutaupytos energijos, o ne dėl įrangos.

Taip pat programa galėtų įgauti pritaikymą, naudojant ją egzistuojančių pastatų analizei. Naudojant programą ir lyginant realias pastato sąnaudas galima būtų patikslinti normose nurodomus leistinas energijos sąnaudas viešosios paskirties pastatams.

Ateityje ketinama panaudojant EnergyPlus programą atlikti realaus stiklo konstrukcijų, daugiaaukščio administracinės paskirties pastato energijos poreikio analizę. Tam tikslui pradinių duomenų faile jau yra aprašyta pastato geometrija ir kiti svarbiausi parametrai.

Literatūra

1. Nacionalinė energetikos strategija. LR seimo 2002 m. spalio 10 d. nutarimas Nr. IX-1130, adresas: www.ekm.lt, peržiūrėtas 2005 04 01.
2. Nacionalinė energijos vartojimo efektyvumo programos santrauka ir pagrindinės šios programos įgyvendinimo iki 2001-2005 metų kryptys. LRV 2001 m. rugsėjo 19 d. nutarimas Nr.1121, adresas: www.ekm.lt, peržiūrėtas 2005 04 01.
3. G. Ambrasas. Statybos rinkoje džiugios tendencijos, adresas: www.asa.lt/lt/index.php3, peržiūrėtas 2004 03 15.
4. Darbo grupė statybos plėtros strategijai parengti. Statybos plėtros iki 2015 metų strategija, adresas www.info.ktu.lt/~otas/EVerslas/pagrindinis.doc, peržiūrėtas 2005 03 15.
5. Greenbuilding Studio. C-2000 Energy Simulation, adresas: <http://greenbuilding.ca/C2000/abc-2kes.htm>, peržiūrėtas 2005 04 08.
6. M. L. Person. Windows in Low Energy Houses. Size Matters. Uppsala Universitet, 2004. adresas: http://www.teknik.uu.se/ftf/staff/mari-louise/dokument/Lic_M-L_Persson_2004-06-24.pdf, peržiūrėtas 2004 10 12.
7. M. C. Dubois. A Simple Chart to Design Shading Devices Considering the Windows Solar Angle Dependent Properties, adresas: http://www.byggark.lth.se/shade/MCD_Chart_Eurosun.pdf, peržiūrėtas 2005 02 12.
8. B. Fuehrlein, S. Chandra, D. Beal, D. Parker, R. Vieira. Evaluation of EnergyGauge® USA, Residential Energy Design Software, Against Monitored Data, adresas: <http://www.fsec.ucf.edu/bldg/pubs/valid/>, peržiūrėtas 2004 11 15.
9. D. Parker, Y. Huang, , S. Konopacki, L. Gartland, J. Sherwin, L. Gu. Measured and Simulated Performance of Reflective Roofing Systems in Residential Buildings, adresas: <http://www.fsec.ucf.edu/bldg/pubs/reflective/>, peržiūrėtas 2005 02 24.
10. H. A. L. Dick, WIS, The European Tool to Calculate Thermal and Solar Properties of Windows and Window Components, adresas: http://www.ibpsa.org/bs_03.htm, peržiūrėtas 2005 02 01.

11. W. J. Platzer. The Altset Project Measurement of Angular Properties for Complex Glazings, adresas: http://probe.usp.br/cgi-bin/sciserv.pl?collection=journals&journal=0038092x&issue=v69inone_s6 , peržiūrėtas 2005 02 01.
12. M. Ochs, A. Haller, H. H. Simler. A Simple Method to Calculate the Heat Gains of Solar Wall Heating with Transparent Insulation, adresas: <http://www.solarpro.ch>, peržiūrėtas 2004 02 02.
13. E. Ghisi, J. A. Tinker. An Ideal Windows Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings, adresas: www.elsevier.com/locate/buildenv, peržiūrėtas 2004 11 14.
14. NREL. Energy-10, adresas: <http://www.nrel.gov/buildings/energy10/whyuse.html>, peržiūrėtas 2005 04 12.
15. Vernon A. Smith. Getting Started in Building Simulations, adersas: <http://www.hvac.okstate.edu>, peržiūrėtas 2005 04 13.
16. TRNSYS. TRNSYS- The Transient Energy System Simulation Tool, adresas: www.trnsys.com, peržiūrėtas 2005 04 11.
17. DPPEA. ASEAM (A Simplified Energy Analysis Method), adresas: <http://www.p2pays.org/ref/01/00047/7-12.htm>, peržiūrėtas 2005 04 11.
18. Lorence Berkly National Laboratory. Building Design Advisor. Software Description, adresas: <http://gaia.lbl.gov/BDA/>, peržiūrėtas 2005 04 11.
19. Lorence Berkly National Laboratory. Building Energy Simulation, adresas: <http://gaia.lbl.gov/BDA/bdainfo.htm>, peržiūrėta 2005 04 11.
20. D. B Crawley, L. K. Lawrey, F. C. Winkelmann, W. F. Buhl, Y. J. Huang, C. O. Pedersen, R. K. Strand, R. J. Liesen, D. E. Fisher, M. J. White, J. Glazor. EnergyPlus: creating a new - generation building energy simulation program, adresas: www.elsevier.com/locate/enbuild, peržiūrėtas 2004 03 12.

21. Drury B. Crawley, Linda. K. Lawrie, Curtis O. Pedersen, Frederick C. Winkelmann and other. EnergyPlus: new, capable and linked, adresas: <http://www.esim.ca/2002/documents/Proceedings>, peržiūrėtas 2004 05 05.
22. GARD Analytics. Course material for University of Illinois, adresas: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/training.cfm>, peržiūrėtas 2004 05 17.
23. EnergyPlus documentation / Getting Started with EnergyPlus / EnergyPlus Overview.
24. F.C. Winkelmann. Modeling Windows in EnergyPlus, adresas: http://www.ibpsa.org/proceedings/bs01/BS01_0457_464.pdf, peržiūrėtas 2004 08 26.
25. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. Klimatas, adresas: <http://www.meteo.lt/klimatas.php>, peržiūrėtas 2005 05 11.
26. RSN 156 -94. Statybinė klimatologija.
27. V. Martinaitis. Šilumos gamyba. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, bakalauro studijos.2002.
28. STR 2.09.04:2002 „Pastato šildymo sistemos galia. Energijos sąnaudos šildymui“.
29. E. Juodis. Svarbesniųjų Lietuvos miestų lauko oro temperatūra tikimybinio požiriu // Šiluminė technika, N3. Vilnius: Baltijos kopija, 2004, p.19.