VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Rasa Vitkauskaitė

ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS

CONSTRUCTION SOLUTIONS IMPACT ON ENERGY DEMAND IN GREENHOUSES

Baigiamasis magistro darbas

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

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

_____

___ (Parašas)

_____

___ (Vardas, pavardė)

_____

(Data)

Rasa Vitkauskaitė

ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS

CONSTRUCTION SOLUTIONS IMPACT ON ENERGY DEMAND IN GREENHOUSES

Baigiamasis magistro darbas

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

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc. Sabina Paulauskaitė _____ _____[5]

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas lekt. R. Žukienė____ _____

_____[5] (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas)

(Data)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(parašas)

Vytautas Martinaitis
(vardas, pavardė)

2012 gegužės mėn. 07 d.

Energijos inžinerija studijų kryptis

Energijos inžinerija ir planavimas studijų programa, valstybinis kodas ***621E30003***

Energijos inžinerijos specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

.....Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei) .....……....……**RASAI VITKAUSKAITEI**.....….....….....
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema .... **Šiltnamių konstrukcinių sprendimų įtaka energijos poreikiams**.....

.....

.....

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

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

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išnagrinėti pagrindinius mikroklimato parametrus, kuriuos būtina užtikrinti šiltnamiuose, jų užtikrinimo sistemas ir įrengimo galimybės. Pasirinkus skirtingus šiltnamių konstrukcinių sprendimų variantus nustatyti energijos poreikius analitiniu būdu ir kompiuterine programa *DesignBuilder*. Įvertinti kultivacinių patalpų energijos poreikius šildymui, vėsinimui ir vėdinimui. Palyginti skaičiavimo rezultatus. Surasti energetiniu ir ekonominiu požiūriu efektyviausią konstrukcinį sprendimą. Palyginti skirtingų įstiklintų ir neįstiklintų atitvarų įtaką energijos poreikiams. Padaryti išvadas ir pateikti pasiūlymus. Pagrindinius darbo rezultatus pristatyti respublikinėje konferencijoje „Pastatų inžinerinės sistemos“ ir paruošti straipsnį.

.....

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

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

Užduotį gavau

……..
(parašas)

.....…Rasa Vitkauskaitė.....
(vardas, pavardė)

……2012-02-06…..…...
(data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Energijos inžinerijos ir planavimo** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Šiltnamių konstrukcinių sprendimų įtaka energijos poreikiams**

Autorius **Rasa Vitkauskaitė**

Vadovas **doc. dr. Sabina Paulauskaitė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama šiltnamio konstrukcinių sprendimų įtaka energijos poreikiams. Išnagrinėti pagrindiniai kultivacinių patalpų mikroklimato parametrai, jų užtikrinimo sistemos, teorinės jų įrengimo galimybės. Pasirinkus skirtingus konstrukcinius sprendimus, įvertintas ir palygintas jų energetinis efektyvumas. Analizė atlikta analitiniu būdu ir kompiuterine programa DesignBuilder, palyginti skaičiavimo rezultatai. Įvertinti kultivacinių patalpų energijos poreikiai šildymui, vėsinimui ir vėdinimui. Surastas energetiniu ir ekonominiu požiūriu efektyviausias konstrukcinis sprendimas. Palyginta skirtingų įstiklintų ir neįstiklintų atitvarų įtaka energijos poreikiams. Išnagrinėjus analitinio, kompiuterinio ir ekonominio skaičiavimo rezultatus, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir pasiūlymai tolimesniems tyrimams ir darbams.

Prasminiai žodžiai

šiltnamių konstrukciniai sprendimai, šiltnamių įstiklinimas, energijos sąnaudos, kultivacinių patalpų apšvietimas, DesignBuilder.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Building Energetics

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

Master Degree Studies **Energy Engineering and Planning** study programme Master's Thesis

Title **Construction Solutions Impact on Energy Demand in Greenhouses**

Author **Rasa Vitkauskaitė**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Sabina Paulauskaitė**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

The MA thesis deals with the impact of greenhouse design solutions on energy needs. The main indoor climate parameters, their security systems, and the theoretical possibilities of installation were analyzed. The energy efficiency of different solutions was evaluated and compared. The results were analyzed analytically and by using DesignBuilder software. The energy needs of heating, cooling, and ventilation systems were evaluated and the most cost and energy-effective solution was found. The impact of thermal inertia of walls and glazed partitions on energy needs was compared. The analytical, computer, and economic results of the calculations were examined and the final conclusions and suggestions for further research and work were presented.

Keywords

greenhouse design solution, greenhouse glazing, energy needs, cultivation room lighting, DesignBuilder.

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

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Rasa Vitkauskaitė, 20065233

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Energijos inžinerija ir planavimas, ENmf-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2012 m. gegužės 25 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Šiltnamių konstrukcinių sprendimų įtaka energijos poreikiams" patvirtintas 2010 m. lapkričio 3 d. dekano potvarkiu Nr. 396ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

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

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

	Rasa Vitkauskaitė
(Parašas)	(Vardas ir pavardė)

TURINYS

ĮVADAS 11
1. Mikroklimatas šiltnamyje 13
1.1 Drėgmė 13
1.2 Temperatūra 14
1.3 Šviesa 14
1.4 Oras 14
1.5 Maitinančios medžiagos 15
2. Šiltnamių mikroklimatą užtikrinančios sistemos 16
2.1 Šiltnamio šildymo sistemos 16
2.1.1 Vandens šildymas. 17
2.1.2 Orinis šildymas. 18
2.1.3 Garo – orinės šildymo sistemos 19
2.1.4 Elektrinis dirvos šildymas. 19
2.1.5 Kaitinimo lempų šildymas. 19
2.1.6 .Dujų – orinis šildymas 19
2.1.7 „Hidro" šildymas. 20
2.2 Šiltnamio vėsinimas ir vėdinimas 20
2.2.1 Šiltnamių apsaugojimas nuo perkaitimo 21
2.2.2 Perkaitinimas pašalinamas iš šiltnamio. 22
2.2.3 Kompleksinės perkaitimo pašalinimo sistemos 22
2.3 Šiltnmaio apšvietimo sistemos 23
2.4 CO_2 aprūpinimo sistemos 23
3. Optimalios šiltnamio vietos parinkimas 24
3.1 Sezoniškumo kaita Lietuvos teritorijoje 24
3.1.1 Žiemos sezonas Lietuvos teritorijoje 24
3.1.2 Tikrosios žiemos sezonas Lietuvos teritorijoje 25
3.1.3 Vasaros sezonas 26
3.1.4 Vidurvasario sezonas 26
3.2 Dirvožemių pasiskirstymas Lietuvoje 28
4. Šiluminės galios skaičiavimo metodika 32
4.1 Šiltnamio šilumos balanso sudarymas 36
4.2 Šiltnamio drėgmės ir orinio režimas: 37
5. Tyrimo objektas 38
6. produkcijos auginimo auginimo šiltnamyje sąlygos 42
7. Skaičiavimai *„DesignBuilder"* programa 43

8. Šiltnamio konstrukcinių sprendimų įtakos energijos sąnaudoms analizė 45
8.1 Šildymo sistemos galingumo palyginimas, esant nevienodam įstiklintam plotui 45
8.2 Apšvietimo įtaka energijos poreikiams..... 46
8.3 Saulės pritekiai stikliniame šiltnamyje 49
8.4 Energijos poreikių kitimas keičiant stiklines atitvaras: 50
8.5 Energijos poreikių kitimas keičiant neįstiklintas atitvaras 54
8.6 konstrukciniai mazgai 57
8.7 Ekonominė dalis 58
9. IŠVADOS 62
10. LITERATŪROS SĄRAŠAS 63

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Pagrindiniai augalų, auginamų šiltnamiuose, mikroklimato parametrai [9] 13
2 lentelė. Nagrinėjamų šiltnamių modelių savybės 38

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS:

1 pav. Trąšų kolektoriai (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis) 15
2 pav. Šiltnamio šildymo sistema: 1 - cokolinis šildymas; 2-piramidinis šildymas, 3-lovinis šildymas, 4-višdirvinis šildymas, 5-podirvinis šildymas, 6-kontūrinis šildymas. Schema analogiška pateiktai [6] 16
3 pav. Cokolinio šildymo sistema (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis) 17
4 pav. Stelažų šildymo sistema. (101) 18
5 pav. Vandens –orinio šiltnamio schema: 1- ortakiai orinio šildymo sistemos. 2- vamzdžiai vandens šildymo sistemos. Schema analogiška pateiktai [6] 19
6 pav. Šildymo kontūrai, skirtingoms augalų kultūroms (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis) . 20
7 pav. Automatiškai reguliuojamos žaliuzės (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis) 21
8 pav. $CO2$ generatoriaus schema[20] 24
9 pav. Žiemos sezono trukmė paromis 25
10 pav.Tikrosios žiemos periodo trukmė paromis 26
11 pav. Vasaros sezono trukmė paromis 27
12 pav. Vidurvasario trukmė paromis. 27
13 pav. Nedirbama (apleista)žemė [11] 29
14 pav. Žemių vertė Lietuvoje, balais [11] 29
15 pav. Lietuvos dirvožemių regionai 30
16 pav. Lietuvos Respublikos mažiau palankių ūkininkauti žemių kartograma [9] 31
17 pav. Šiltnamio šiluminio balanso skaičiavimo schema (Schema analogiška pateiktai [6]) 33
19 pav. Blokuotas šiltnamis, 1ha 40
20 pav. Šiltnamis, stikliniais šlaitais. (fragmentas, žr.3pav) 40
21 pav. Šiltnamis, kurio visios atitvaros neįstiklintos 41
22 pav. Įvesties duomenys *„DesignBuilder“* programa 43
23 pav. Konstruktyvo modeliavimas *„DesignBuilder“* programa 43
24 pav. Mikroklimato modeliavimas *„DesignBuilder“* programa 44

25 pav. Įstiklinimo tipo modeliavimas *„DesignBuilder“* programa 44
26 pav. Anatinio galios skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 3var.) 45
27 pav.Kompiuterinio galios skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 3var.) 45
29 pav. Dalinai įstiklinto šiltnamio kompiuterinis modelis 47
30 pav.Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 3var.) 47
31 pav. Šilumos balanso neįstiklintame šiltnamyje grafikas (3var.) 48
32 pav. Neįstiklinto šiltnamio kompiuterinis modelis 48
33 pav. Pirminės energijos reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui palyginimas (1 var. 2var. 3var.) 49
34 pav. Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai, esant vėsinimo sistemai (1 var.) 49
35 pav.Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai , kai neprojektuojama vėsinimo sistema (1 var.) 50
36 pav. Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai , kai neprojektuojama vėsinimo sistema (1 var.) 50
37 pav.Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 4var. 5var.) 52
38 pav. Pirminės energijos, reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui, palyginimas (4 var.– 11var.) 53
39 pav. Reikalingos pirminės energijos palyginimas (4var.-11var.) 54
40 pav. Pirminės energijos reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui palyginimas 55
(5 var. 11var. 12var. 13var.) 55
41 pav. Reikalingos pirminės energijos palyginimas (5 var. 11var. 12var. 13var.) 55
42 pav. Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai (1 var. – 13 var.) 56
43 pav. Pirminės energijos reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui palyginimas (1var.-13var.) 57
44 pav. Pirminės energijos palyginimas (1var.-13var.) 57
45 pav. Šiltnamio konstrukcijų kaina, skirtingiems variantams (1-13var.) 59
46 pav. Išlaidos šilimui, vėsinimui ir apšvietimui (1var.-13var.) 59
47 pav. Išlaidos energijai (1var.-13var.) 60
48 pav. Atsiperkamumas, metais. (Per kiek metų atsipirks konstrukcijų kainą, įvertinus išlaidas energijai, ir derlių) 60

PRIEDŲ SĄRAŠAS

VIDINIAI PRIEDAI:

Priedas Nr.1. (3 lentelė) Šildymo sistemos galingumai, gauti kompiuteriniu ir analitiniu būdu;
Priedas Nr.2. (4 lentelė) Galios skaičiavimo dedamosios, kW
Priedas Nr.3. (5 lentelė) Šildymo, vėsinimo ir elektros (apšvietimui) poreikiai kW, ir pirminės energijos poreikiai, tne.
Priedas Nr.4. (6 lentelė) Sunaudota energija ir jos kaina, skirtinguose šiltnamiuose
Priedas Nr.5. (7 lentelė) Konstrukcijų kainos skaičiavimas ir prielaidos.
Priedas Nr.5. Publikuotas straipsnis;

IŠORINIAI PRIEDAI:

Priedas Nr.7. 1 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.8. 1 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.9. 2 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.10. 2 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.11. 3 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

Priedas Nr.12. 3 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.13. 4 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.14. 4 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.15. 5 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.16. 5 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.17. 6 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.18. 6 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.19. 7 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.20 7 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.21. 8 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.22. 8 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.23. 9 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.24. 9 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.25. 10 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.26. 10 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.27. 11 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.
Priedas Nr.28. 11 variantas. Energijos poreikių balansas.
Priedas Nr.29. 12 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

GRAFINĖ DALIS:

A4 formatas. Konstrukcinių sprendimų fragmentai Nr.1;
A4 formatas. Konstrukcinių sprendimų fragmentai Nr.2;
A4 formatas. Konstrukcinių sprendimų fragmentai Nr.3;
A4 formatas. Konstrukcinių sprendimų fragmentai Nr.4;
A4 formatas. Konstrukcinių sprendimų fragmentai Nr.5;

ĮVADAS

Mažo šiluminio inertiškumo pastatai išsiskiria dideliu energijos suvartojimu šildymui bei vėsinimui. Įprasta manyti, kad kuo daugiau pastato atitvarų įstiklinta, tuo mažesnis energetinis efektyvumas gali būti pasiektas jame. Atskiras stiklinio pastato atvejis – šiltnamis. Kultivacinės paskirties pastatai išsiskiria mikroklimato parametrų gausa bei subtilybėmis, lyginant su žmogaus poreikiams pritaikytais pastatais, todėl skiriasi ir mikroklimato užtikrinimo sistemos bei energijos poreikių kitimas.

Darbe nagrinėjama problema šiltnamiai ištisus metus daug energijos naudojantys statiniai, todėl šalyse, kurios yra šaltojo klimato juostoje šiltnamiai „nyksta“ – bankrutuoja, dėl per didelių energijos sąnaudų. Moksliniai tyrimai, šia tema Lietuvoje atliekami ypač retai, o vertinant Europos mastu, dažniausi moksliniai darbai ir eksperimentai atliekami Pietų Europoje. Tokie darbai naudingi pasaulio mastu, tačiau Lietuvoje „nykstančių“ šiltnamių negelbėja.

Baigiamojo darbo tikslas – rasti energetiniu požiūriu ekonomiškiausius konstrukcinius sprendimus šiltnamių projektavimui.

Baigiamojo darbo uždaviniai:

1. Palyginti įvarius kultivacinių patalpų konstrukcinius sprendimus;
2. Rasti optimalų įstiklinto ir neįstiklinto atitvarų paviršių santykį. Pagrįsti arba paneigti šiltnamio be stiklų idėją;
3. Rasti tinkamiausią įstiklinimo sprendimą energetiniu požiūriu;
4. Rasti tinkamiausią konstrukcinį sprendimą ekonominiu požiūriu.

Darbe išnagrinėtos šiltnamių mikroklimatą užtikrinančios sistemos, kultivacinėse patalpose reikalingi mikroklimato parametrai, šiltnamių šilumos režimo skaičiavimo metodika. Nustatyta optimali vieta šiltnamių statybai ir eksploatacijai Lietuvos teritorijoje, įvertinus žiemos ir vasaros sezoniškumo kaitą, temperatūrų pasiskirstymą, dirvožemių derlingumą ir kitus rodiklius.

Šio tyrimo objektas, tai skirtingų konstrukcijų šiltnamiai, kurių visų plotas 1 ha. Pasirinkta statybos vieta – vidurio Lietuva, auginama produkcija – agurkai.

Tyrimo eiga:

1. Pasirinkti trys šiltnamių konstrukciniai sprendimai, kurių įstiklinto ir neįstiklinto atitvarų plotų santykis skirtingas: tai: stiklinis šiltnamis, šiltnamis be langų, ir dalinai įstiklintas šiltnamis (šiltnamis kurio vertikaliosios atitvaros neįstiklintos, o stogas – šlaitai įstiklinti). Jų

energetinis efektyvumas įvertintas suskaičiavus ir palyginus energijos poreikius šiltnamiuose, šildymui, vėdinimui ir apšvietimui.

2. Keistos stiklinės atitvaros, sudaryti aštuoni stiklinių ir dalinai įstiklintų šiltnamių modeliai. Rastas energetiniu požiūriu efektyviausias įstiklinimo variantas.

3. Energetiniu požiūriu palyginti keli neįstiklintų atitvarų atvejai.

Tyrimo metu vertinti energijos poreikiai šildymo, vėdinimo, vėsinimo, šiltnamio apšvietimo sistemoms. Atlikti skaičiavimai kompiuterine programa *DesignBuilder*, ir palyginti analitinio bei kompiuterinio skaičiavimo rezultatai. Surastas energetiniu požiūriu efektyviausias konstrukcinis sprendimas.

Įvertinus užauginamo derliaus kiekį bei rinkos kainą, energijos kiekį sunaudojamą šiltnamyje, bei jos kainą; nustatyta, koks bus šiltnamių ūkio pelnas per vienerius metus. Įvertinta orientacinė konstrukcinių elementų ir įstiklinimo kaina. Nustatyta, kaip konstrukcijos brangimas įtakoja sutaupytų išlaidų reikalingų šildymui, vėsinimui bei apšvietimui dydį.

Išnagrinėjus analitinio ir kompiuterinio skaičiavimo rezultatus, įvykdyti magistro baigiamojo darbo tikslai, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir pasiūlymai tolimesniems tyrimams, šioje srityje.

Pagrindiniai darbo rezultatai pristatyti respublikinėje mokslinėje konferencijoje „Pastatų inžinerinės sistemos“ ir atspausdintas straipsnis konferencijos medžiagoje.

1. MIKROKLIMATAS ŠILTNAMYJE

Magistro baigiamajame darbe susipažinta su šiltnamių mikroklimato parametrais ir sistemomis. Nagrinėta lietuviška, bei užsienio literatūra, moksliniai straipsniai [27,28,29,30]. Atsižvelgiant į šiuose šaltiniuose rastą medžiagą parengta teorinė dalis.

Šiltnamiuose energijos sąnaudų pobūdis skiriasi, palyginti su administraciniais ar gyvenamaisiais pastatais, dėl mikroklimato parametrų specifikos. Jų, priklausomai nuo auginamos produkcijos rūšies, reikia užtikrinti net trylika (1 lentelė).

1 lentelė. Pagrindiniai augalų, auginamų šiltnamiuose, mikroklimato parametrai [9]

Eil. nr.	*Faktoriai*	*Fizikiniai parametrai*
1	Vanduo	*Drėgmė:* 1. Aeruojančio oro; 2. Kultivacinių patalpų vidaus oro; 3. Grunto (substrato).
2	Šiluma	*Temperatūra:* 4. Kultivacinių patalpų vidaus oro; 5. Grunto (substrato); 6. Šaknų aplinkos aeruojančio oro; 7. Laistomo vandens.
3	Šviesa	8. Kultivacinių patalpų apšvietimas arba fotosintezškai aktyvios radiacijos intensyvumas (FAR).
4	Oras	CO_2 ir O_2 koncentracijos: 9. Kultivacinių patalpų vidaus ore; 10. Aeraciniame ore;
5	Maitinančios medžiagos	Mineralinis maitinimas: 11. Maitinančiame tirpale; 12. Šaknų aplinkoje; Dirvos paruošimas: 13. Grunto rūgštingumas, pH.

1.1 DRĖGMĖ

Vanduo yra svarbus dviem pirmoms augimo fazėms[3]:

1. Ląstelių dalijimuisi, kad citoplazmos klampumas sumažėtų ir chromosomos galėtų atlikti mitozei būdingus judesius.

2. Ląstelių tįsimui, kad turgoras padidėtų ir ištemptų ląstelės sieneles. Turgorą praradusios ląstelės augti negali.

Geras augalų vystymasis priklauso nuo tinkamo drėgmės kiekio dirvoje bei ore. Vanduo tirpina dirvoje esančias maisto medžiagas ir augalas įsiurbia jas šaknimis. Trūkstant drėgmės sumažėja derlius, jo kokybė. Drėgmės perteklius taip pat kenkia, nes vanduo išstumia iš dirvos deguonį ir šaknys neturi kuo kvėpuoti [2]. Drėgmės režimas šiltnamyje kinta, keičiantis temperatūros režimui, didinant oro temperatūrą šiltnamyje, būtina didinti ir santykinę drėgmę, mažinant temperatūrą – mažinti drėgmę.

1.2 TEMPERATŪRA

Temperatūra – vienas iš būtiniausių veiksnių, sąlygojančių gerą derlių šiltnamyje. Augalams reikalingi temperatūros režimai priklauso nuo jų vystymosi etapo (dygimo, augimo, ir pan.). Įvairiems organams formuotis, skirtingiems fiziologijos vyksmams (maisto medžiagų asimiliavimui, kvėpavimui, vandens garinimui) dažnai reikia skirtingos temperatūros, todėl svarbu išskirti, stebėti ir palaikyti keturis temperatūrinis rėžimus, pateiktus lentelėje Nr.1.

Kiekviena augalų rūšis prisitaikiusi augti skirtingose klimatinėse zonose, todėl ir skirtingoje temperatūroje. Skiriami trys kritinės temperatūros taškai: minimumo, optimumo, maksimumo. Optimumo temperatūroje augalas auga sparčiausiai, minimumo – pradeda augti, maksimumo – nustoja augęs. Dažnai optimali nakties (tamsiosios paros dalies) temperatūra yra žemesnė už dienos (šviesiosios paros dalies) temperatūrą.

1.3 ŠVIESA

Šviesa – būtinas veiksnys, augalo augimui. Normaliam augalų augimui ir vystymuisi reikalingas atitinkamas šviesos kiekis ir intensyvumas. Esant šviesiam paros metui, chlorofilo turinčiuose augalo audiniuose iš neorganinių junginių sintetinamos sudėtingos organinės medžiagos: angliavandeniai, riebalai, baltymai. Esant nepakankamam apšvietimui, augalas negali absorbuoti iš atmosferos anglies dioksido, sutrinka asimiliacija, augalai nemedėja, tampa minkšti, lapai pasidaro smulkūs, juoduoja ir krinta. Derliaus augimui ir vystymuisi labai didelę įtaką turi dienos ilgumas.

Šviesa veikia augalų augimą dvejopai[3]:

1. Kaip fotosintezės energijos šaltinis – tai trofinis šviesos poveikis;

2. Kaip tiesioginis augalo vystymosi dirgiklis – blastinis šviesos poveikis.

Kad į šiltnamius patektų daugiau šviesos, rudenį reikia šiltnamių stiklus nuplauti iš išorės ir iš vidaus ir papildomai augalus apšviesti. Vasarą augalai nuo per stiprios saulės perkaista, ypač kenčia pavėsį mėgstantys augalai.

1m² papildomai apšviečiamo ploto turi tekti 150 200W šviesos. Lempos paprastai kabinamos 50 80cm atstumu nuo augalų. Augalams augant, lempų kabojimo aukštį tenka nuolat reguliuoti, todėl jos turi būti kilnojamos. Priešingu atveju augalai linksta į šviesą, išauga kreivi, o būdami labai arti lempų – apdega. Kuo lempos galingesnės, tuo jos turi būti pakabintos aukščiau [1].

1.4 ORAS

Augalai kvėpavimo proceso metu naudoja ore esantį deguonį. Šaknims oras reikalingas ne mažiau nei stiebams bei lapams, nes šaknys taip pat turi kvėpuoti. Labai svarbu palaikyti tinkamą dirvos purumą, nes tik tuomet į ją galės patekti oras. Minimali deguonies koncentracija dirvoje, reikalinga augalams augti, yra 0,1%. Oras svarbus ir augalo mitybai. Žaliąja dalimi augalas kuria

naudodamas anglies dioksidą organines medžiagas, esant šviesiam dienos metui, t.y. auga. Fotosintezei būtinas pakankamas anglies dioksido CO_2 kiekis šiltnamyje. Fotosintezės procesą aprašanti lygtis:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{šviesa} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \quad (1)$$

Pagrindinis anglies dioksido šaltinis yra dirva, kurioje skylant organinėms medžiagoms susidaro CO_2. Taip pat jo šiek tiek išsiskiria augalams kvėpuojant. Galima naudoti skystą arba kietą anglies dioksidą arba deginti gamtines dujas. Žiemą anglies dioksido reikia mažai, nes lėtai vyksta fotosintezė (dėl nepakankamo apšvietimo), kad fotosintezė vyktų greičiau, augalai turi būti papildomai intensyviai apšviečiami. CO_2 augalai intensyviai įsisavina, kai šviesos stiprumas ≥ 500 liuksų (priklausomai nuo rūšies). Per didelė CO_2 koncentracija augimą stabdo. Šaknų augimą sulėtina 5 % CO_2 koncentracija, antžeminei daliai kenkia tik 15 %. Visiškai sustabdo stiebo augimą 25-30% CO_2 koncentracija aplinkoje [2].

1.5 MAITINANČIOS MEDŽIAGOS

Augalų pasisavinamų maisto medžiagų kiekis labai priklauso nuo drėgmės dirvoje. Kiek vanduo ištirpina maisto medžiagų, tiek augalas gali jų paimti. Augalų mitybai yra būtinas azotas, fosforas, kalis, kalcis, magnis ir nedideli mikroelementų kiekiai. Plačiau maitinančios medžiagos ir dirvos paruošimo darbai šiame darbe nenagrinėjami. 1 pav. pateikta trąšų kolektorių nuotrauka.



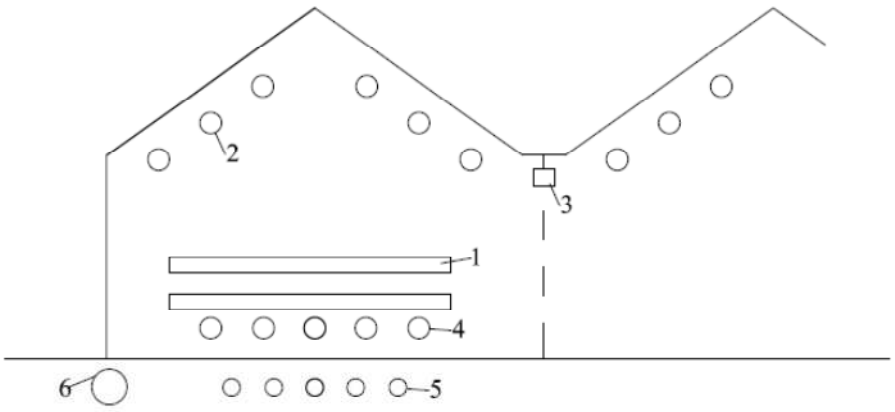
1 pav. Trąšų kolektoriai (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis)

2. ŠILTNAMIŲ MIKROKLIMATĄ UŽTIKRINANČIOS SISTEMOS

2.1 ŠILTNAMIO ŠILDYMO SISTEMOS

Šiltnamiai gali būti šildomi saulės energija, biologiniu kuru ar naudojant šildymo sistemas. Dėl skaidrių atitvarų pro stiklus ar polietileno plėvelę patekę saulės spinduliai tampa ne tik šviesos, bet ir šilumos šaltiniu, tačiau tokio šildymo būdo nepakanka žiemą bei pereinamuoju laiku mūsų klimatinėje zonoje. Daugiausia saulės energijos patenka vasarą ir pavasarį, per daug įšilę šiltnamiai vėdinami atidarant orlaides, užtemdant ar įrengiant vėsinimo, mechanines vėdinimo sistemas įkaitusio oro pašalinimui. Norint palaikyti šiltnamyje pastovesnę temperatūrą paros metu reikia naudoti papildomus šildymo šaltinius arba pridengti izoliacine medžiaga (aliuminio folija, tamsia plėvele). Nuo vėjo šiltnamiai gali būti apsaugoti, užsodinant apie juos juostomis krūmus, ar kitus augalus. Tik saulės energija šildomi šiltnamiai gali būti naudojami tik vasarą, todėl šiuo atveju būtinos kitos šildymo sistemos.

Šiltnamių šildymo sistemų šilumnešiu gali būti vanduo, oras, garas, dujos. Vandeninė šildymo sistema labiausiai, paplitęs šildymo būdas. Tokiu atveju dažniausiai katilinėje paruoštas vanduo tiekiamas į šiltnamį metaliniais vamzdynais šiltnamio erdvei šildyti, o polietileniniais ar keraminiais vamzdynais – gruntui. Reikalingas vamzdynų paviršiaus plotas ir išdėstymas randamas, sudarant šildymo projektą, atsižvelgiant į šilumnešio temperatūrą, auginamas kultūras, šilumos nuostolius. Esant vandeninei šildymo sistemai, yra galimybė naudoti atliekinę technologinių procesų šilumą. Technologinį šildymą tikslinga naudoti, kai šiltnamis projektuojamas arti atliekinės šilumos gamybos šaltinių, t.y. įmonių ar gamyklų, kurių technologinio proceso metu išsiskiria dideli nesunaudojami šilumos kiekiai.



2 pav. Šiltnamio šildymo sistema: 1 - cokolinis šildymas; 2-piramidinis šildymas, 3-lovinis šildymas, 4-višdirvinis šildymas, 5-podirvinis šildymas, 6-kontūrinis šildymas. Schema analogiška pateiktai [6]

2.1.1 VANDENS ŠILDYMAS.

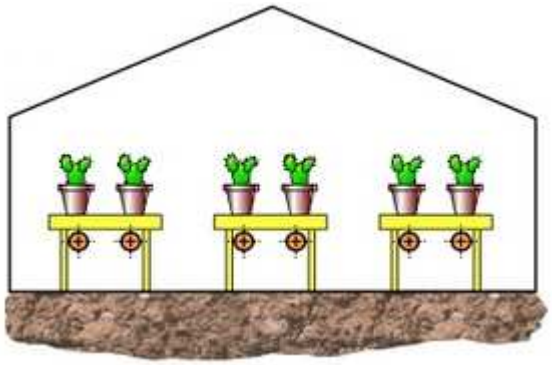
Tai plačiausiai paplitęs šildymas, naudojamas šildyti įvairioms šiltnamio zonoms (2 pav.)

- Cokolinis šildymas – pasienio zonos šildymui (3 pav.);
- Piramidinis šildymas – skirtas sniego tirpdymui ir reikiamos temperatūros palaikymui viršutinėje šiltnamio dalyje;
- Lovinis šildymas – skirtas apsaugoti lovelius nuo užšalimo, pastarieji skirti sniego tirpsmo vandens nutekėjimui, blokiniuose šiltnamiuose;
- Viršdirvinis šildymas – dėl vienodos temperatūros palaikymo viršdirvinėje zonoje;
- Pagrindinis podirvinis šildymas – skirtas reikiamos temperatūros palaikymui šaknų zonoje. Esant stelažinio šiltnamio variantui vietoje podirvinio šildymo vamzdynai išvedžiojami po stelažais (4pav.) [25];
- Kontūrinis šildymas – pamatų zonai.



- **3 pav. Cokolinio šildymo sistema (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis)**

Visos vandeninio šildymo zoninės sistemos turi būti savarankiškos, t.y. funkcionuoti nepriklausomai viena nuo kitos. Šilumnešio temperatūra esant piramidiniam, cokoliniam ir viršdirviniam šildymui yra $t_{Padavimo} = 95°C$, $t_{grįžtamo} = 70°C$; esant podirviniam šildymui $t_{Padavimo} = 45°C$, grįžtama $t_{grįžtamo} = 30°C$. Kontūriniam podirviniam šildymui galima naudoti aukštų temperatūrų šilumnešį $t_{Padavimo} = 130 - 150°C$, $t_{grįžtamo} = 70°C$;.



4 pav. Stelažų šildymo sistema. (101)

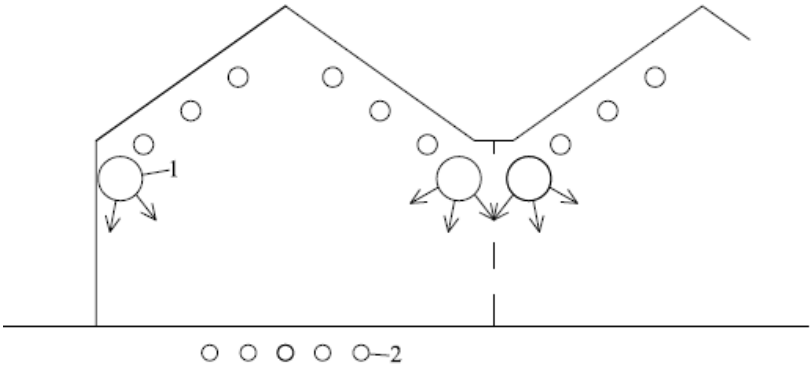
2.1.2 ORINIS ŠILDYMAS.

Šildymas oru dažniausiai naudojamas pavasariniuose šiltnamiuose, tam tikslui naudojami garo ir vandens kaloriferiai, šiluminiai generatoriai, dujiniai degikliai. Pašildytas oras, paduodamas į šiltnamio kultivacinių patalpų zoną perforuotais polietileniniais ortakiais, tiesiamais viršdirvinėje zonoje, arba pakabinamais po loviais. Projektuojant difuzorių ir ventiliatorių vietas reikia turėti omenyje, kad pritekėjimo srovės (srautai) greitai silpsta pereidami per šiltnamio tūrį, juos slopina augalai, ir augalų lapai. Padidinti oro pūtimo greičio pernelyg negalima. Paprastai užtenka palaikyti oro judėjimo greitį šiltnamyje ribose $v_v = 0{,}5 - 1\ m/s$. Oras ištraukiamas per nesandarumus atitvaruose ir per recirkuliacines angas. Esant oriniam šildymui galima reguliuoti oro judėjimą, sumažinti infiltraciją ir apsaugoti šiltnamį nuo perkaitimo, bet kuriuo metų laiku [5],[6].

Tačiau orinis šildymas negali būti naudojamas sniego tirpdymui nuo stogo ir reikiamos temperatūros palaikymui dirvoje. Stambiuose žieminiuose šiltnamiuose, esant dideliems šilumos nuostoliams, naudoti orinį šildymą, kaip vienintelį šildymo tipą praktiškai negalima, todėl toks šildymas įrengiamas nedidelio tūrio sezoninio veikimo kultivuojamuose pastatuose, pvz., daigų šiltnamiuose.

Tikslinga yra naudoti kombinuotą vandens – oro šildymą (5 pav). Čia šildymo sistemos viršdirvinio, podirvinio, piramidinio tipo turi būti vandeninės. Po loviais ir pasienio zonose pučiamas karštas oras. Tokia šildymo sistema sujungia vandeninio ir orinio šildymo privalumus, ji patikimai ir vienodai aprūpina reikiamais parametrais orą ir dirvą, vasarą sukelia būtiną oro judėjimą. Galima reguliuoti oro temperatūrą šiltnamyje priklausomai nuo išorinių sąlygų. Sunkiausias sprendimas projektuojant tokią sistemą – tai orinio šildymo išdėstymas.

Garo – orinės, elektrinės ir dujų – orinės sistemos dažniausiai naudojamos atskirų zonų šildymui.



5 pav. Vandens –orinio šiltnamio schema: 1- ortakiai orinio šildymo sistemos. 2- vamzdžiai vandens šildymo sistemos. Schema analogiška pateiktai [6]

2.1.3 GARO – ORINĖS ŠILDYMO SISTEMOS

Jas tikslinga naudoti dirvos šildymui. 0,13-0,15MPa slėgiu, naudojant ežektorių, garas sumaišomas su oru. Garo – orinis mišinys patenka į dirvą, perforuotais asbocementiniais vamzdžiais, išdėstytais dirvoje 0,4m gylyje. Apatinėje vamzdžių dalyje daromos skylutės\ kondensato nutekėjimui. Esant tokiam dirvos šildymo būdui gaunama šiluma ir drėgmė.

2.1.4 ELEKTRINIS DIRVOS ŠILDYMAS.

Keraminių arba asboscementinių 75100mm skersmens vamzdžių viduje pratempiamas plieninis cinkuotas 2,53mm skersmens laidas. Vamzdžiai klojami ant šilumą izoliuojančio pagrindo iš šlako arba žvyro. Kaitinimo viela gali būti naudojama kaip kaitinimo elementas. Ji tiesiama smėlyje, užpilant cemento smėlio mišiniu. Šios sistemos privalumas tas kad elektrinės sistemos greitai įšyla, yra galimybė palaikyti vienodą temperatūrą dirvoje, lengva ją reguliuoti.

2.1.5 KAITINIMO LEMPŲ ŠILDYMAS.

Toks šildymo būdas taikomas kartu su oriniu, vandens arba dujų –oro šildymo būdais. Lempos išdėstomos tokiu būdu, kad spindulinis srautas nuo jų būtų nukreiptas į kultivacinių patalpų zoną. Pakabinimo aukštis 0,5,5 m. Lempos šildo dirvą, augalą, orą ir gerina šviesos režimą viršdirvinėje zonoje. Naudojant dirbtinį apšvietimą, šilumą gauname kartu su šviesa, kaip atliekinį produktą.

2.1.6 .DUJŲ – ORINIS ŠILDYMAS

Galimas tiesiogiai, uždegant dujas šiltnamyje arba šildant oru, dujų – oriniais kaloriferiais. Dažniausiai naudojamas kombinuotas šildymas. Toks šildymas sumažina eksploatacines išlaidas be to nereikia naudoti CO_2generatoriaus.

2.1.7 „HIDRO” ŠILDYMAS.

Ant įstiklinto stogo pilamas vanduo, kurio temperatūra 2040 °C (vanduo gali būti paruoštas kito technologinio proceso metu, bet būtinai švarus). Vanduo teka stogo šlaitu ir šoninėmis atitvaromis 45 mm sluoksniu. Vanduo šildo stogą ir dėl spindulinių, konvekcinių šilumos mainų šyla oras, dirva ir augalai. „Hidrošiltnamiai“ turi keletą svarbių privalumų: šiltas vanduo ant stogo tirpdo sniegą; nebūna atšalimo pasienio zonoje. Taip pat vanduo ant stogo sugeria saulės spindulių šilumą, bet gerai praleidžia šviesą. Tačiau mikroklimato parametrai „hidrošiltnamiuose“ ne visuomet atitinka reikalaujamus: viršutinė zona paprastai šiltesnė nei likęs tūris, todėl pakankamai nesušyla dirva, ypatingai šiltnamiuose plokščiu stogu. „Hidrošiltnamiuose“ neįmanomas lankstus šilumos rėžimo reguliavimas priklausomai nuo išorinių sąlygų, todėl būtina įrengti papildomą dirvos šildymą (vandens, garo-oro, elektrinį) ir apatinės šiltnamio zonos šildymo sistemą. Tikslinga, įrengti lubinius ventiliatorius, vienodam oro paskirstymui.

Jei per metus šiltnamyje auginamos skirtingos augalų kultūros, reikia įrengti atskirus šildymo kontūrus. Tai reikalinga tuo atveju, kai augalams derėti būtini kitokie mikroklimato parametrai. 6 pav. pateiktas pavyzdys Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkyje esantis agurkų – tulpių šiltnamis.



6 pav. Šildymo kontūrai, skirtingoms augalų kultūroms (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis)

2.2 ŠILTNAMIO VĖSINIMAS IR VĖDINIMAS

Dėl mažo atitvarų šiluminio inertiškumo ir didelio pralaidumo saulės spinduliams vasarą, šiltuoju metų laiku, temperatūra šiltnamyje gali gerokai viršyti optimalią. Šiuo atveju reikalingas vėsinimas arba perkaitimo pašalinimas. Perkaitinimo pašalinimo būdai skirstomi į tokias grupes:

1. Šiltnamių *apsaugojimas* nuo perkaitimo;
2. Perkaitusio oro *pašalinimas* iš šiltnamių;
3. *Kombinuotas* perkaitimo pašalinimo.

2.2.1 ŠILTNAMIŲ APSAUGOJIMAS NUO PERKAITIMO

Norint **apsaugoti** šiltnamį nuo perkaitimo yra galimybė *„ekranuoti“* statinį. Ekranai gali būti daromi vidiniai ir išoriniai, visiškai užtemdantys ir selektyviniai. Skirtingos *užuolaidos, tentai*, taikomi išoriniam užtemdymui. Tokioje užtemdymo sistemoje didelė svarba tenka automatikai, žaliuzių ar užuolaidų reguliavimui (7 pav.). Galima naudoti medžiagas ir plėvelę, padengtą aliuminio folija.

Sutinkamos konstrukcijos, kai naudojamas šiltnamio *„stogo lietus“*. Išgarinamas vanduo ant stiklinių atitvarų paviršių ir mažinamas infraraudonųjų spindulių patekimas. Vanduo gali būti pilamas tiesiogiai ant stiklų (nuteka plona plėvele). Taip pat galima išpurkšti purkštukais ant stogo paviršiaus. Vandens ekranas, kurio storis 1mm absorbuoja 10 % saulės šilumos energijos, 10 mm iki 19 %, naudojant purkštukus 4 %. Naudojant stogo „lietų“ padidėja išlaidos statybai (kitokia šiltnamio stogo konstrukcija) ir eksploatacijai (brangiai kainuoja reguliarus vandens pylimas), dėl šių priežasčių praktikoje šis metodas taikomas retai [15].

Vienas iš būdų apsaugoti šiltnamį nuo per didelės saulės šiluminės energijos yra daugiasluoksnės atitvaros su oro tarpu ir skystais užpildais, papildomai sulaiko saulės spindulius.



7 pav. Automatiškai reguliuojamos žaliuzės (Algimanto Žemaičio gėlininkystės ūkis)

2.2.2 PERKAITINIMAS PAŠALINAMAS IŠ ŠILTNAMIO.

Oro judėjimas yra vienas iš būdų sumažinti temperatūrų skirtumus ir pasiekti tolygią temperatūrą ir drėgmę šiltnamyje. Didelė drėgmė kultivacinėse patalpose ir kondensatas ant augalo yra ligų atsiradimo priežastis. Natūrali oro kaita vyksta dėl išorinio ir vidinio oro slėgių skirtumo. Aeracijai sukurti žieminiuose šiltnamiuose įrengiami *pailginti švieslangiai*, specialūs švieslangiai vertikaliose atitvarose, papildomos durų angos ir technologiniai vartai. Priklausomai nuo vietos meteorologinių sąlygų (saulės radiacijos intensyvumo, vėjo greičio) ir konstrukcijos gali būti taikomi skirtingi natūralaus vėdinimo angų išdėstymo variantai. Tokios vėdinimo sistemos trūkumas – ribotas šiltnamio ilgis, taip pat jei lauke nėra vėjo, oro pasikeitimas nutrūksta [6].

Oro judėjimo greitis šiltnamyje – vienas svarbių faktorių, tokių kaip ir temperatūra bei drėgmė. Oro judėjimas naudingas dėl kelių priežasčių: padeda sumažinti oro temperatūrą šiltnamyje, oro drėgmę, CO_2 iš šiltnamio viršaus nukreipiamas link lapų. Didėjant oro judėjimo greičiui, padidėja fotosintezės intensyvumas. Kai oro judėjimas mažas, trūksta CO_2, dėl to sulėtėja fotosintezė, sutrinka augalų transpiracija, pablogėja augalų augimas. Jie suserga, tampa jautrūs aplinkos faktorių svyravimams. Kuo arčiau lapo, tuo oro judėjimo greitis mažesnis, nes augalas priešinasi oro srovėms. Optimalus oro judėjimas šiltnamyje – 0,3–0,5 m/s. Kad paspartėtų oro judėjimas aplink lapą, jo greitis padidinamas iki 1–1,5 m/s [15].

Oro judėjimo greitis keičiamas naudojant šildymo ir vėdinimo sistemas. Tačiau lemiamą reikšmę turi šilumomnešio temperatūra ir vėdinimo angų atidarymo laipsnis. Žiemą oro judėjimą skatina didelis skirtumas tarp vidaus ir išorės temperatūros. Oro judėjimas turi įtakos ir lapo temperatūrai. Esant uždarytoms orlaidėms, skirtumas tarp lapo ir oro temperatūros didesnis negu esant atidarytoms orlaidėms. Vėdinimo angos turi sudaryti ne mažiau 20 % viso šiltnamio ploto. Kai nėra galimybės įrengti vėdinimo angų arba kai jų per mažai suprojektuojamas mechaninis vėdinimas.

Efektyvus augalų lapų perkaitimo mažinimas vyksta *sudarant lašelinę drėgmę* šiltnamyje. Tokiu atveju šiltnamio palubėje nedideliais lašeliais išpurškiamas vėsus vanduo, kurio išgarinimui panaudojama šiltnamyje susikaupusi šiluma. Taip sumažinama augalų lapų temperatūra.

Norint efektyvesnio vėsinimo vasaros sezono metu, galima įrengti oro kondicionavimo sistemas. Tokios sistemos šiltnamiuose įrengiamos rečiau. Dažniausiai mėginama šilumos perteklių pašalinti vėdinant šiltnamį.

2.2.3 KOMPLEKSINĖS PERKAITIMO PAŠALINIMO SISTEMOS.

Efektyviausia perkaitimo šalinimui naudoti kompleksinę iš kelių dedamųjų susidedančią sistemą. Šiuo atveju reikia laipsniškai įjungti/naudoti atskirus sistemos elementus, priklausomai nuo

saulės spinduliuotės intensyvumo bei metų laiko. Eksplotacinis ir ekonominis efektyvumas pasiekiamas, panaudojant pasyvias priemones (švieslangius, angas, aeracines arba vėdinimo šachtas) ir trumpam laikui įjungiant „aktyvius“ sistemos elementus (mechaninę ventiliacija ir oro kondicionavimą).

2.3 ŠILTNAMIO APŠVIETIMO SISTEMOS

Natūralaus apšvietimo šiltnamiuose pakanka tik esant šiltajam metų laikui, todėl žiemą ir pereinamuoju metu naudojamuose šiltnamiuose būtina įrengti dirbtinį apšvietimą. Yra keletas dirbtinio apšvietimo naudojimo būdų:

1. Papildoma dirbtinė šviesa padidina augimo šviesos lygį, todėl padidėja fotosintezė ir pagerinamas augalų augimas ir kokybė (**papildoma augimo šviesa**). Reikalingo papildomo apšvietimo kiekis labai priklauso nuo augalų rūšies, norimo augalų augimo ir natūralaus apšvietimo kiekio (saulės šviesos).

2. Reguliuojamas šviesos periodas, **didinamas dienos ilgumas**, natūralią šviesą vakare papildant dirbtine (fotoperiodinis apšvietimas). Daugelio augalų žydėjimo metas priklauso nuo dienos ilgumo. Žydėjimo reguliavimui naudojama dirbtinė šviesa vadinama fotoperiodiniu apšvietimu. Šiuo metodu trumpadienius ir ilgadienius augalus galima auginti ištisus metus.

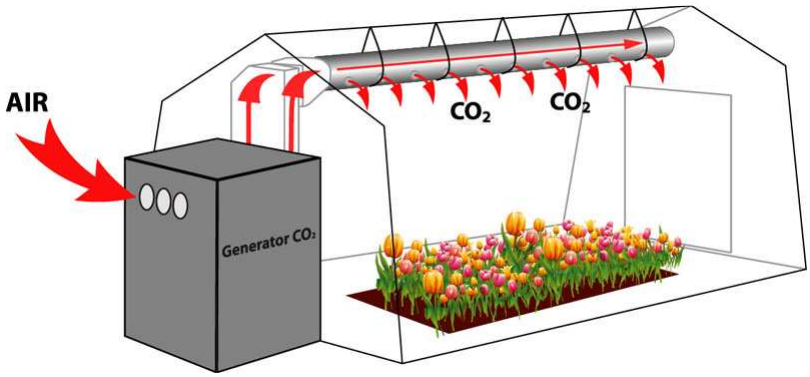
3. Dienos šviesa visiškai pakeičiama dirbtine kuri tampa šviesos ir šilumos šaltinis (**auginimas be dienos šviesos**). Šiuo atveju visa klimato kontrolė kultivacinėse patalpose kuriama dibtinai, atsižvelgiant į reikiamus mikroklimato parametrus.

2.4 CO_2 APRŪPINIMO SISTEMOS

CO_2 galime išgauti iš įvairių kuro rūšių. Pavyzdžiui, iš 1 m³ gamtinių dujų gaunama 1,8 kg CO_2. Dažniausiai anglies dvideginis gaunamas naudojant dujų generatorius ir išmetamąsias katilinių dujas. Naudojant vietinių katilinių dujas, jos surenkamos ir tiekiamas augalams per vamzdelius, išdėstytus išilgai eilių prie augalų šaknų. Vamzdeliai yra 50 mm skersmens, padaryti iš plėvelės, kuri perforuojama, t. y. kas 20 cm padaromos keturios 4 mm skylės. Taip tręšiant augalus, visiškai panaudojamos gamtinės dujos. Tręšimas yra efektyvus, nes dujos pasiskirsto tolygiai augalų augimo zonoje.

Tręšiama CO_2 pagal paros grafiką, sunaudojant 1 ha 60–80 kg/val. CO_2. Paprastai reikalinga CO_2 koncentracija šiltnamyje pasiekiama praėjus 1 valandai nuo dujų padavimo pradžios. Todėl tręšti CO_2 pradedama 1 valanda iki saulės patekėjimo ir baigiama praėjus 1 valandai po saulės

nusileidimo. CO_2 koncentracija reguliuojama priklausomai nuo apšvietimo. Kai apšvietimas mažesnis negu 2 000 lx, anglies dvideginiu visai netręšiama [19].



8 pav. CO_2 generatoriaus schema[20].

3. OPTIMALIOS ŠILTNAMIO VIETOS PARINKIMAS

Parenkant šiltnamiams vietą, atsižvelgiama į organizacines, agroklimatines, inžinerines ir ekonomines sąlygas, ūkio kryptį. Daržovių auginimo krypties šiltnamius geriau kurti arčiau stambių pramonės centrų. Čia galima naudoti pigią šiluminę energiją, gamtines dujas. Statomi stambūs (6, 12 ir daugiau hektarų) šiltnamiai, kuriuose plačiai naudojamos naujosios technologijos, papildomas apšvietimas elektra ir automatika mikroklimatui reguliuoti.

Šiltnamiams tinka lygūs, kiek nuolaidūs į pietus, apsaugoti nuo vėjo sklypai. Nuolaidesni kaip 15° kampo šlaitai nelabai tinka. Gruntinis vanduo turi būti ne sekliau kaip 1,5m. Prie ūkio turi būti geri privažiavimo keliai. Šiltnamiai teritorijoje išdėstomi kompaktiškai. Šiaurinėje dalyje statomi administraciniai ir tarnybiniai pastatai, toliau priklausomai nuo šiltnamių konstrukcijų, į pietus – šiltnamiai su stiklo danga, o už jų gali būti statomi sintetine plėvele dangti šiltnamiai, toliau – daigynai, jei numatoma jų turėti. Tarp angarinių šiltnamių reikia palikti 6m. ilgio tarpus, nes žiemą nuslenka sniegas. Blokiniai šiltnamiai statomi ne mažesniu, kaip 12m. atstumu vienas nuo kito. Šiltnamiai turi būti statomi ir projektuojami, pagal visus šiuo metu galiojančius reglamentus [2].

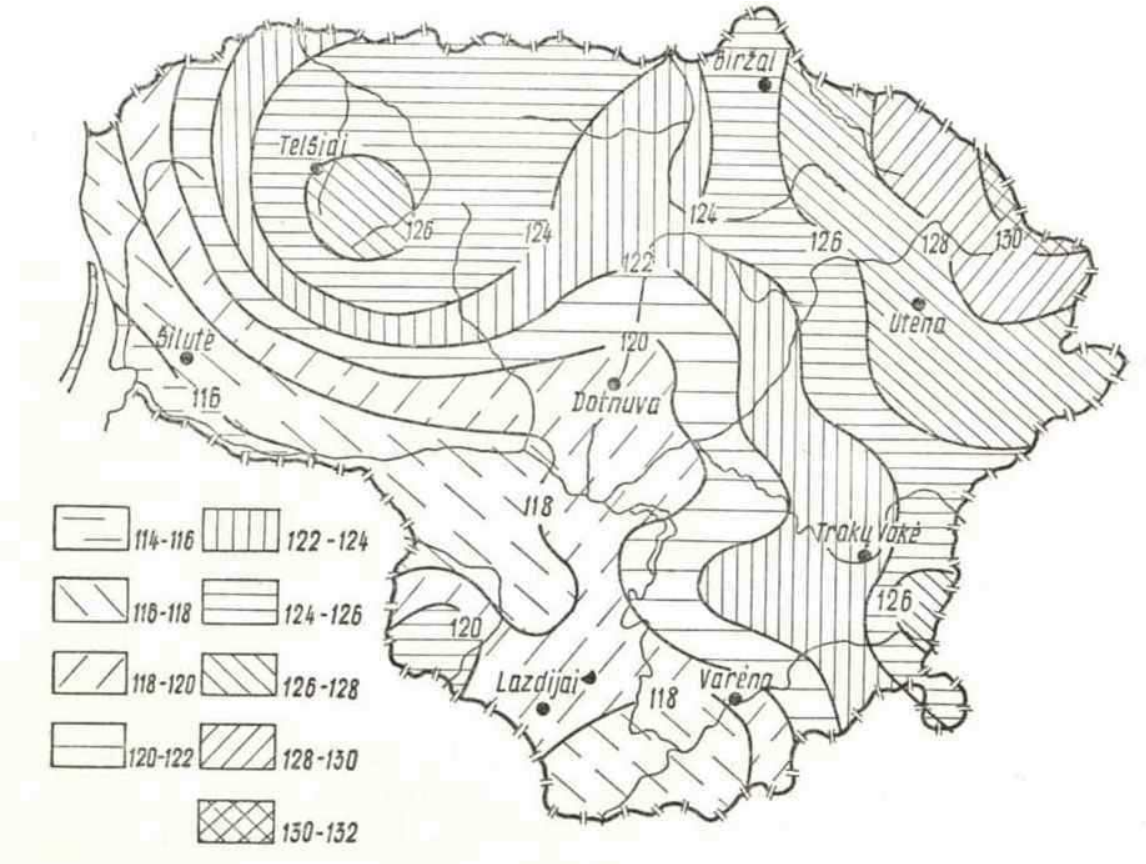
3.1 SEZONIŠKUMO KAITA LIETUVOS TERITORIJOJE

Parenkant optimalią vietą šiltnamiui ypač svarbus yra oro temperatūrų pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje. Pagal L.Kulienės ir J.Tomkaus „Bendrąją fonologiją“ pateikiama keletą paveikslų, kuriuose pavaizduota žiemos ir vasarų sezonų trukmė. Tai svarbu, parenkant šiltnamių vietą, nes energijos poreikiai, priklauso nuo išorės oro temperatūros.

3.1.1 ŽIEMOS SEZONAS LIETUVOS TERITORIJOJE

Žiemos sezono trukmė – prasideda, kai: vidutinė paros temperatūra nukrenta žemiau **-1°C**. **Baigiasi, kai:** vidutinė paros temperatūra nuolat pakyla virš **+1**°C [10]. 9 pav. matyti žiemos sezono

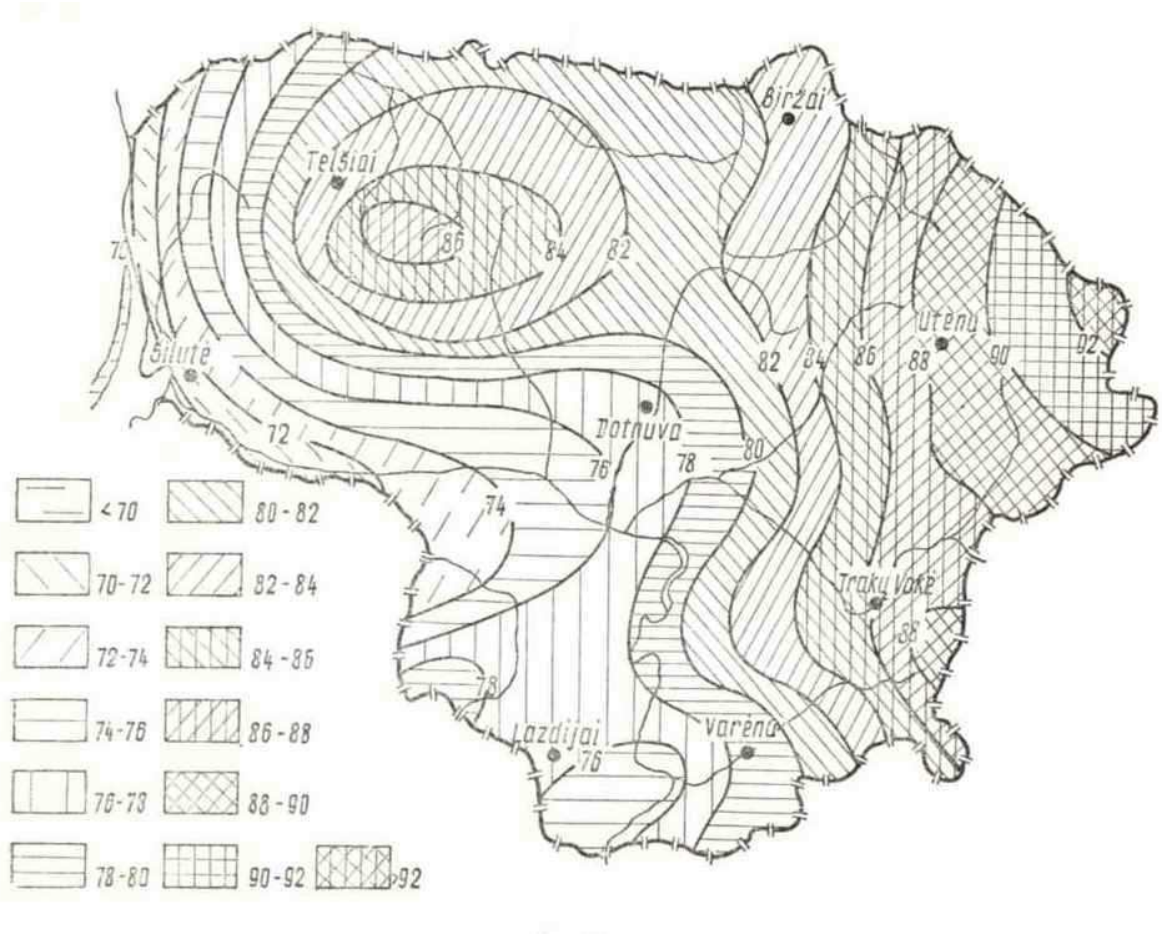
izolinijos. Trumpiausiai žiemos sezonas trunka pajūryje. Žiemos sezono trukmė ilgėja šiaurės ir šiaurės rytų kryptimi. Žiemos sezono trukmei labai didelės reikšmės turi vietovės aukštis virš jūros lygio. Žiemos sezono skirtumas iš vakarų į rytus yra 24 paros. Tai rodo stiprią žiemos sezono priklausomybę nuo geografinės ilgumos. Taigi, kuo labiau į rytus įrengsime šiltnamius, šildomus žiemą, tuo daugiau energijos reikės objekto šildymui, ypač jei šiltnamio visos atitvaros bus mažo šiluminio inertiškumo, t.y. stiklas, stiklo plastikai, ir pan.



9 pav. Žiemos sezono trukmė paromis

3.1.2 TIKROSIOS ŽIEMOS SEZONAS LIETUVOS TERITORIJOJE

Tikroji žiema – kai vidutinė paros temperatūra svyruoja nuo **-5°C** iki **-7°C**. Minimali oro temperatūra visą sezoną yra žemiau **-15°C**. 10 pav. matyti žiemos sezono izolinijos. Tikrosios žiemos periodo trukmė Lietuvoje susijusi su pastovios sniego dangos susidarymo ir suirimo datomis. Trumpiausia tikroji žiema (70-72) paros yra Pajūrio žemumoje, kur vėliausiai susidaro ir anksčiausiai suyra pastovi sniego danga. Kylant į aukštumas ir einant į rytus tikrosios žiemos periodas ilgėja [10].



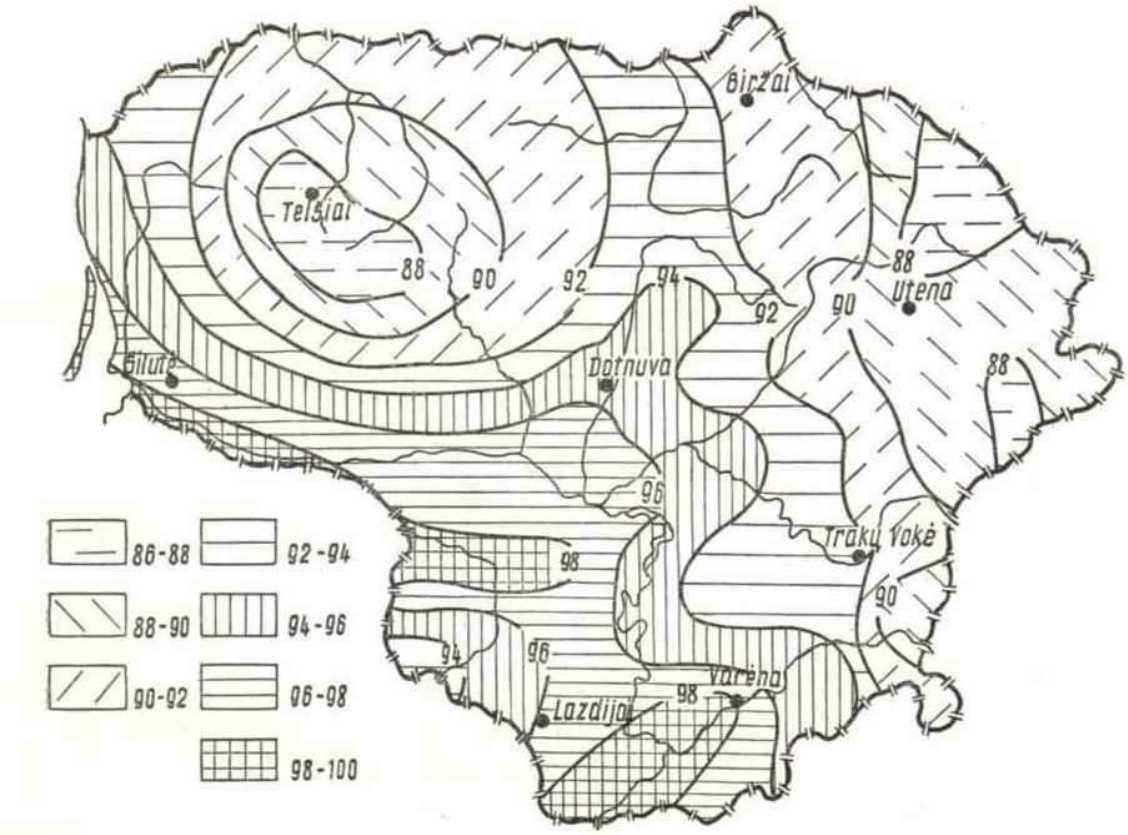
10 pav.Tikrosios žiemos periodo trukmė paromis

3.1.3 VASAROS SEZONAS

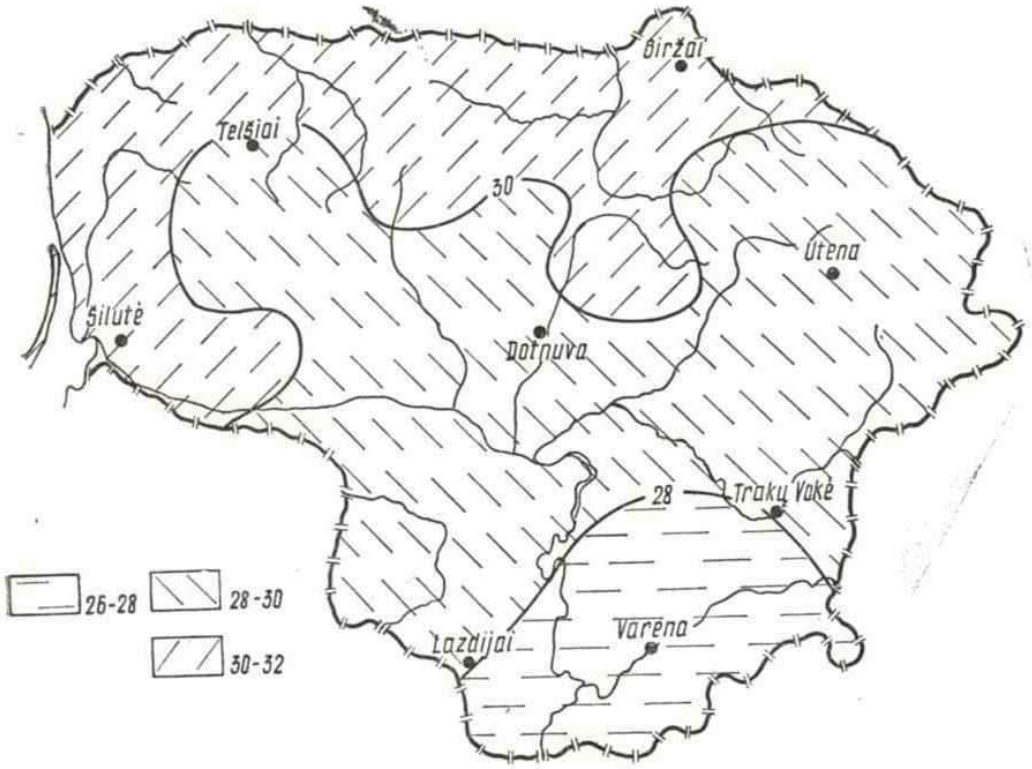
Vasaros sezono trukmė – prasideda, kai: vidutinė paros temperatūra nuolat pakyla virš **+13°C. Baigiasi, kai:** vidutinė paros temperatūra nukrenta žemiau **+14°C**. 11 pav. matyti vasaros sezono izolinijos. Trumpiausia vasara 88-90 parų yra šiaurės rytiniuose rajonuose. Einant į Pietus leidžiantis į žemumas trukmė ilgėja. Pajūryje vasara trunka 94-96 paras. Ilgiausia vasara, pajūrio pietinėje dalyje [10].

3.1.4 VIDURVASARIO SEZONAS

Vidurvasario trukmė – kai vidutinė paros temperatūra svyruoja apie **18°C.** Minimali oro temperatūra nenukrenta žemiau **12°C**, maksimali retai viršija **26°C.** Kaip matyti 12 pav., vidurvasario periodo trukmė kinta palyginti mažai. Trumpiausias vidurvasario periodas 28 paros – pietinėje Lietuvos dalyje. Ilgiausia vidurvasario trukmė 30-31para yra šiaurinėje Lietuvos dalyje. Trukmės skirtumas Lietuvoje neviršija 3 parų [10].



11 pav. Vasaros sezono trukmė paromis



12 pav. Vidurvasario trukmė paromis.

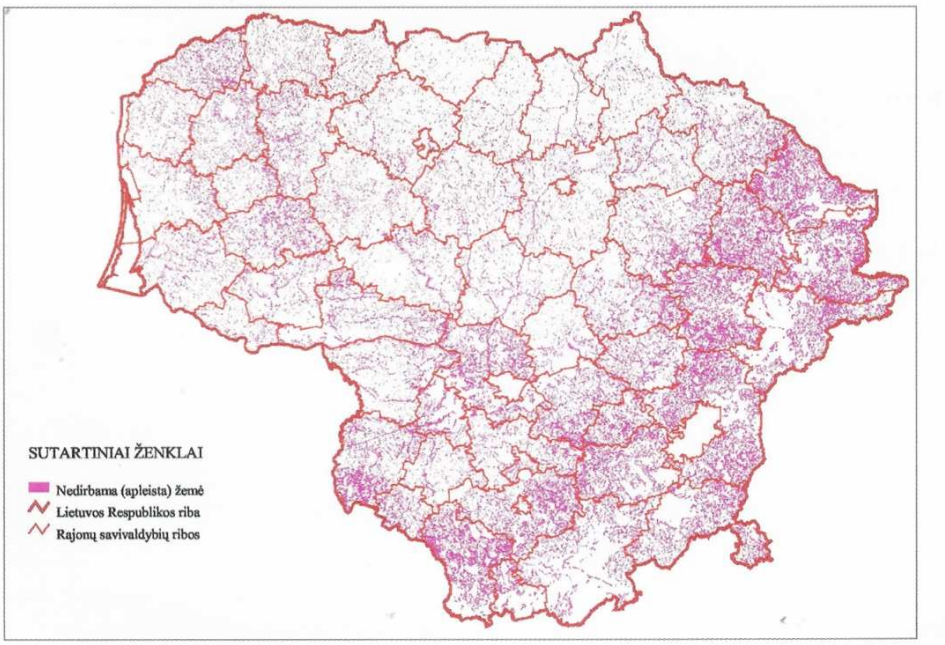
3.2 DIRVOŽEMIŲ PASISKIRSTYMAS LIETUVOJE

Daržovėms ir gėlėms šiltnamiuose auginti sudaromi žemių mišiniai. Jie turi būti derlingi trupininės struktūros, geromis absorbcinėmis savybėmis, neutralios reakcijos, pralaidūs vandeniui. Jų optimalus kietosios dalies, oro ir vandens santykis 1:1:1. Organinių medžiagų žemių mišiniuose turi būti nemažiau kaip 20%. Žemių mišiniai sudaromi iš velėninės ir lauko žemės, pūdinio, durpinės, kompostinės, lapinės, žemės ir smėlio. Be to įmaišoma mineralinių trąšų, kalkių arba kreidos ir bakterinių preparatų. Šiltnamiuose išauginamas labai gausus derlius, todėl žemių mišiniai greitai nualinami ir užkrečiami kenkėjais ir ligų sukėlėjais, žemių mišinių ruošimas – sunkus darbas, todėl žemių mišiniai dažniausiai tik papildomi ir dezinfekuojami. Yra hidroponinių šiltnamių, kuriuose vietoj žemių vartojama terpė (durpės, keramzitas, skalda, mineralinė vata ir kita) ir maitinamieji tirpalai. [5]

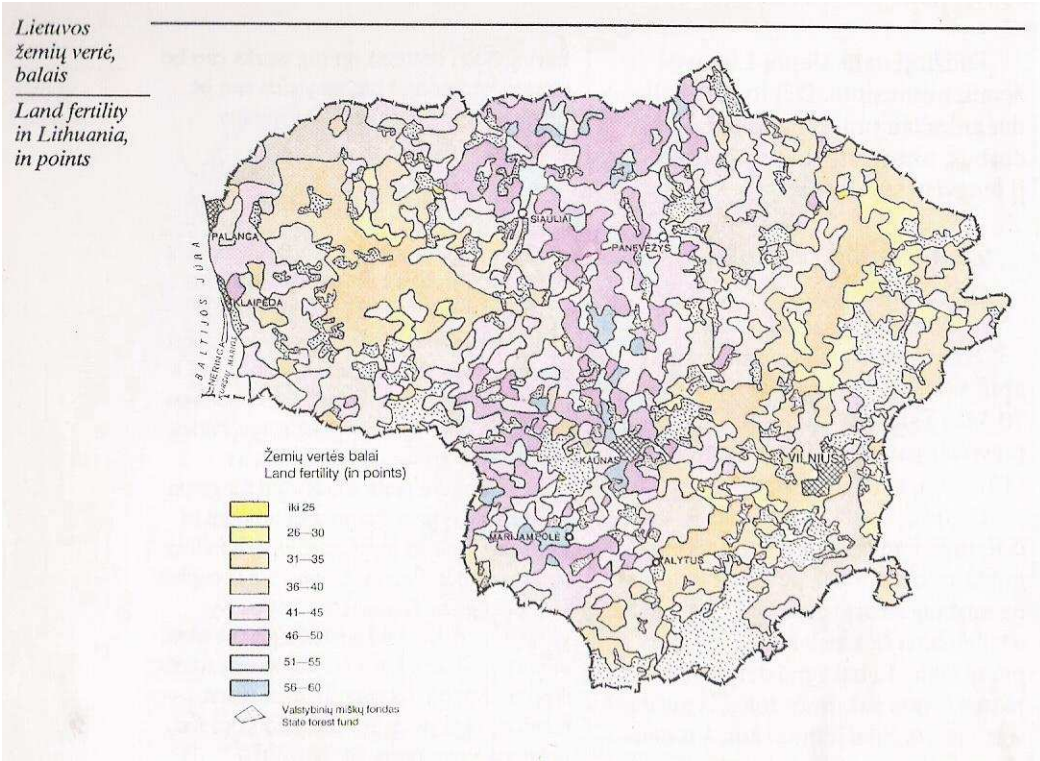
Lietuvos dirvožemiai

Parenkant šiltnamio vietą nemažiau svarbu vietovės dirvožemio savybės. Lietuvos dirvožemių įvairovę nulėmė paviršiaus nuogulos. Dirvožemiai susidarė ant mineralinių ir biogeninės kilmės pelkinių nuogulų. Mineralinių uolienų vyraujanti mechaninė sudėtis (dirvožemio dalelių dydis) – tai priemolis, priesmėlis, smėlis ir molis. Taigi ant dirvodarinių uolienų, veikiant fiziniams, cheminiams ir biogeniniams procesams (jaurėjimui, velėnėjimui, išplovimui, pelkėjimui), susidarė skirtingi dirvožemiai. Todėl Lietuvos dirvožemių danga gana marga, išskyrus lygumas ir plynaukštes. Labai vienodo ir vienodo margumo dirvožemiai užima apie 50 % Lietuvos ploto. 20 % teritorijos užima margokos dirvožemių dangos plotai, 14 % – margos ir 16 % – labai margos. Dirvožemių danga margiausia Baltijos aukštumose

Remiantis dirvodarinių uolienų ir dirvožemių tipų paplitimu ir jų suardymo laipsniu, išskirtos 4 Lietuvos dirvožemių zonos ir rajonai 15 pav. Vakarų Lietuvos dirvožemių zonoje yra 6 rajonai, Vidurio Lietuvos – 5, Baltijos aukštumų – 8, Rytų Lietuvos – 3. Skirtingose dirvožemių zonose gerokai skiriasi žemės ūkio naudmenų našumo balai. Didžiausi jie Vidurio Lietuvos dirvožemių zonoje, mažiausi – Rytų Lietuvos. Tai matyti ir 13 pav. vidurio žemumų zona yra geriausiai ir daugiausiai dirbama teritorija. Dėl šios priežasties ir žemės vertė 14 pav. didžiausia vidurio Lietuvoje. 16 pav. nurodytos mažiau ir daugiau ūkininkauti palankios žemės teritorijos. Matyti, kad renkantis vietą šiltnamiui, vidurio Lietuva optimalus sprendimas, dėl žemės derlingumo šiame regione.



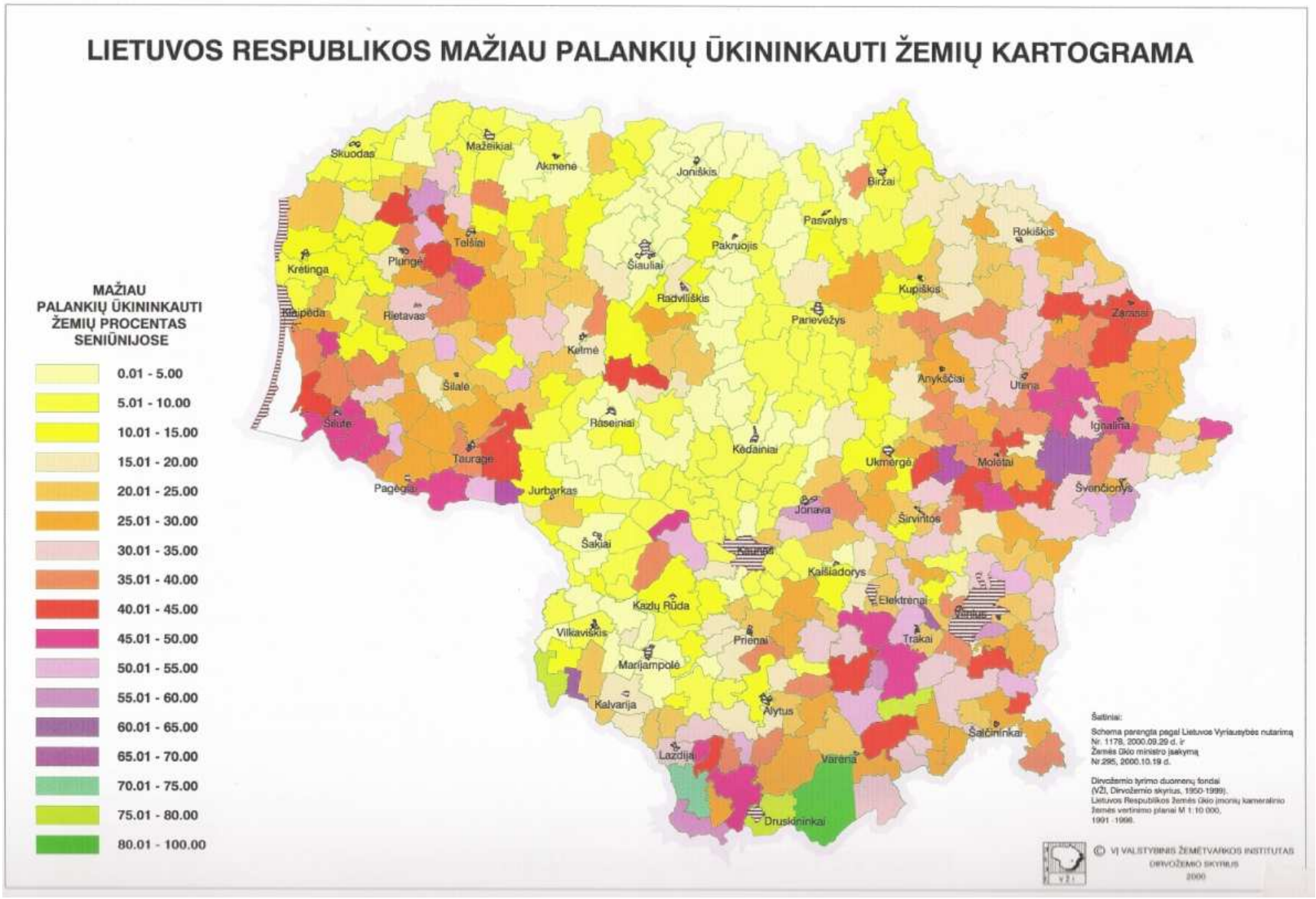
13 pav. Nedirbama (apleista)žemė [11].



14 pav. Žemių vertė Lietuvoje, balais [11].



15 pav. Lietuvos dirvožemių regionai



16 pav. Lietuvos Respublikos mažiau palankių ūkininkauti žemių kartograma [9]

Ieškant optimalios vietos šiltnamiams Lietuvos teritorijoje nagrinėta keletas aspektų, tai žiemos ir vasaros sezoniškumas, dirvožemių kokybė, bei skirtingi šildymo energijos poreikiai skirtingose teritorijose.

Trumpiausiai žiemos sezonas trunka Pajūrio žemumose. Žiemos sezono trukmė ilgėja šiaurės ir šiaurės rytų kryptimi. Todėl rytinėje Lietuvos dalyje įrengus šildomus žiemą šiltnamius, energijos reikės daugiau, nei vakarų Lietuvoje. Vidurio lygumos, šiuo atveju nėra, nei pats blogiausias, nei geriausias sprendimas, t.y. riba, tarp galimo optimalaus ir neoptimalaus sprendimo.

Apskaičiuota, kiek apytikriai šilumos bus reikalinga 1ha stikliniam šiltnamiui, penkiuose skirtinguose Lietuvos miestuose. Pajūris, temperatūriniu atžvilgiu yra geriausias pasirinkimas, čia šilumos poreikiai, mažiausi.

Analizuotas dirvožemių pasiskirstymas, ieškota racionaliausios vietos šiltnamiams. Skirtingose šalies teritorijose gerokai skiriasi žemės ūkio naudmenų našumas. Didžiausi jie Vidurio Lietuvos dirvožemių zonoje, mažiausi – Rytų Lietuvos. Derlinga žemė brangi, ir naudingiau šiltnamį projektuoti Vidurio Lietuvoje. Šiuo atveju nereikalingos išlaidos dirvožemio pirkimui ir transportavimui.

Taigi, nepaisant to, kad klimatas palankiausias pajūrio zonoje. Optimaliausia vieta šiltnamiams, manau, yra Vidurio Lietuvoje. Labai svarbu yra, ne tik dirvožemio kokybė, bet ir galimybė realizuoti produkciją, Vidurio Lietuva šiuo atveju optimalus spendimas, daržovių ar gėlių transportavimui į visus Lietuvos miestus. Būtina atsižvelgti į tai, kad šiltnamius geriau įrengti arčiau stambių pramonės centrų. Reikėtų ieškoti galimybių, panaudoti atliekinę šilumą.

4. ŠILUMINĖS GALIOS SKAIČIAVIMO METODIKA

Šiltnamių skaičiavimams metodikos Lietuvoje nėra. Galime naudoti tik norminius dokumentus, skirtus įvairios paskirties pastatams [14]. Tačiau, šiltnamis specializuotos konstrukcijos pastatas, todėl ir šilumos režimai jame kitokie. Užsienio literatūroje rasta skaičiavimo metodika [6], yra pritaikyta kultivacinių patalpų projektavimui.

Šiltnamio temperatūrinis režimas šaltuoju ir pereinamuoju metų periodu nustatomas, apskaičiavus šilumos nuostolius. Bendra algebrinė šiltnamio šilumos balanso lygtis gali būti užrašoma pagal **17 pav.** Atskiros šio balanso dedamosios priklausomai nuo konkrečių sąlygų ir gali būti teigiamos ar neigiamos, lygios nuliui [6].

Šiltnamio šildymo sistemos galingumas nustatomas iš šiluminio balanso lygties:

$$Q_{šildymo} = \Sigma Q_{\substack{atitvarų,\\ nuostoliai}} + Q_{grunto} + Q_{infiltracijos} \quad (2)$$

Didžiąją dalį šilumos nuostolių šiltnamyje sudaro nuostoliai per išorines atitvaras - sienas, stiklus:

$$\Sigma Q_{\substack{atitvarų,\\ nuostoliai}} = Q_{vertikalias} + Q_{šlaito} \quad (3)$$

Šilumos srautas per vertikalias atitvaras, skiriasi esant skirtingam aukščiui:

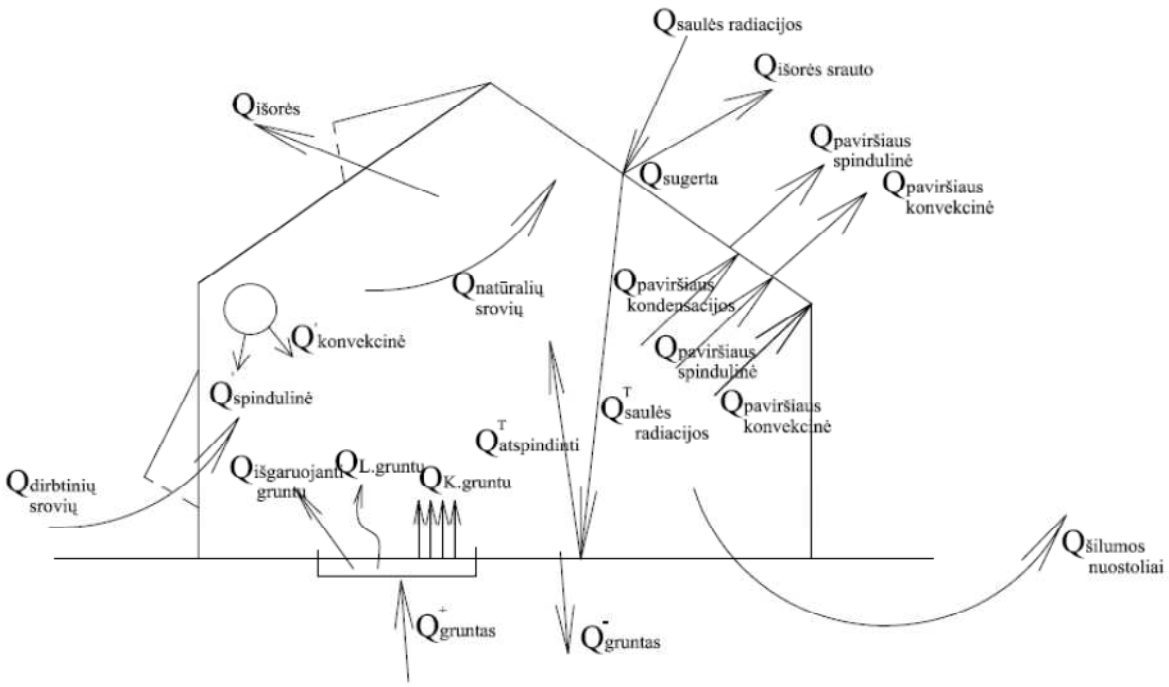
$$Q_{vertikalias} = Q_{apatinė} + Q_{viršutinis} \quad (4)$$

Čia: $Q_{apatinė}; Q_{viršutinis}$- šilumos nuostoliai per atitvaras - nuo dirvos paviršiaus iki šildymo prietaisų viršaus ir nuo šildymo prietaisų viršaus iki šlaitų.

Vertikalios atitvaros (nuo dirvos paviršiaus iki šildymo prietaisų viršaus) šilumą gauna spinduliavimo ir konvekcijos būdu:

$$Q_{apatinė} = Q_{\substack{šiluma.\\ konvekcinė}} + Q_{spinduliavimo} \quad (5)$$

Čia: $Q_{\substack{šiluma.\\ konvekcinė}}; Q_{spinduliavimo}$- šilumos srautas gaunamas konvekcijos ir spinduliavimo būdu, W



17 Pav. Šiltnamio šiluminio balanso skaičiavimo schema (Schema analogiška pateiktai [6])

$Q_{saulės\ radiacijos}$- saulės radiacijos šiluma;

$Q^{T}_{saulės\ radiacijos}$- saulės radiacijos šiluma, patenkanti į šiltnamį;

$Q^{išorė}_{atspindinti}$- šiluma, atsispindinti nuo paviršiaus;

$Q_{sugerta}$-šiluma, sugerta paviršiaus;

$Q^{"t"}_{atspindinti}$- nuo grunto paviršiaus atsispindinti šiluma;

$Q^{-}_{gruntas}$- šiluma sugerta į gruntą;

$Q^{+}_{gruntas}$- šiluma atiduota iš grunto;

$Q_{K.gruntu}$, $Q_{L.gruntu}$- konvekcinė ir spindulinė šiluma, gaunama iš grunto paviršiaus;

$Q_{išgaruojanti.gruntu}$- šiluma išgaruojanti iš grunto paviršiaus;

$Q^{paviršiaus}_{konvekc.}$, $Q^{paviršiaus}_{spindulinė}$, $Q^{paviršiaus}_{kondensacijos}$šilumos nuostoliai per vidines atitvaras, (konvekcijos, spinduliniu ir kondensacijos būdu);

$Q^{išorės}_{konvekc.}$, $Q^{išorės}_{spindulinė}$ išorinio paviršiaus konvekcinė ir spindulinė šiluma;

$Q_{šilumos\ nuostoliai}$šilumos nuostoliai per gruntą;

$Q'_{konvekc.}$, $Q'_{spindulinė}$- šilumos prietaisų sistemos konvekcinė ir spindulinė šilumos, išsiskiriančios, šildant patalpos orą;

$Q_{šildymo\ grunto}$-grunto šildymo sistemos šiluma;

$Q^{natūralių}_{srovių}$, $Q^{dirbtinių}_{srovių}$- natūralių ir dirbtinių oro srovių šiluma.

Šilumos srautas gaunamas konvekcijos būdu:

$$Q_{konvekcijos} = \alpha_K^{sienos}(t_V^{sienos} - \tau_{sienos}^{vidinio})A_{apačios} \quad (6)$$

$$\alpha_K^{sienos} = 6\sqrt{t_V^{sienos} - \tau_{sienos}^{vidinio}} \quad (7)$$

Čia: α_K^{sienos}- šilumos atidavimo koeficientas W/(m²°C);

t_V^{sienos}; $\tau_{sienos}^{vidinio}$- oro temperatūra išorinėje atitvarų pusėje, ir ant vidinio atitvarų paviršiaus, °C

$A_{apačios}$- vertikalios atitvaros paviršiaus plotas (šildymo prietaiso ribose), m².

Šilumos srautas, gaunamos spinduliavimų šilumos mainų būdu, nustatoma pagal lygtį:

$$Q_{spinduliavimo} = \varepsilon_j c_0 \varphi_{\substack{cokolio \\ atitvaros}} \left[\left(T_{prietaisų}/100\right)^4 - (T_{atitvar}/100)^4\right] \Sigma F_{prietaisų} \quad (8)$$

Čia: ε_j- cokolinio šildymo prietaiso juodumo laipsnis;

c_0- absoliutaus juodo kūno spinduliavimo koeficientas, W/(m²K^4);

$\varphi_{\substack{cokolio \\ atitvaros}}$ - kampinis spinduliavimo koeficientas

$T_{prietaisų}$; $T_{atitvaros}$- temperatūros ant šildymo prietaisų ir vidinių atitvarų paviršių, K.

Šildymo prietaisų juodumo laipsnis apskaičiuojamas:

$$\varepsilon_j = 1/(1/\varepsilon_{atitvaros} + 1/\varepsilon_{vamzdžio} - 1) \quad (9)$$

Čia: $\varepsilon_{atitvaros}$; $\varepsilon_{vamzdžio}$- atitvarų ir dažų ant vamzdžio paviršiaus spinduliavimo koeficientai.

Spinduliavimo koeficientas $\varphi_{\substack{cokolio\\atitvaros}}$ priklauso nuo vamzdžio diametro d, atstumo tarp jų S ir vamzdžių eilių kiekio paprastai dydis $\varphi_{\substack{cokolio\\atitvaros}}$ kinta intervale:

$$\varphi_{\substack{cokolio\\atitvaros}} = 0{,}35 - 0{,}5$$

Šilumos nuostoliai per atitvarą:

$$Q_{cokolinio} + Q_{\substack{šiluma.\\konvekcinė}} = \alpha_{išorinis}(\tau_{atit.iš.} - t_{išor.oro})A_{apačios} \quad (10)$$

$$\alpha_{išorinis}(\tau_{atit.iš.} - t_{išor.oro})F = (\lambda_{at}/\delta_{at})(\tau_{sienos}^{vidinio} - \tau_{atit.iš.})A_{apačios} \quad (11)$$

Čia: $\alpha_{išorinis}$- išorinio atitvaros paviršiaus, šilumos atidavimo koeficientas, W/(m²°K);

$t_{išor.oro;}\tau_{atit.iš.}$-temperatūros išorės oro, ir ant išorinio atitvaros paviršiaus, apatinėje zonoje, K

λ_{at}- atitvaros šilumos laidumas, W/(m²°K);

δ_{at}- išorinės atitvaros storis, m.

Šilumos kiekis, reikalingas šlaitų zonai, t.y. piramidiniam šildymui. Šilumos nuostoliai šiuo atveju prilyginami šilumos srautui reikalingam sniego tirpdymui:

$$Q_{šlaito} = Q_{sniegas} \quad (12)$$

Čia: $Q_{sniegas}$- šilumos srautas, reikalingas sniego tirpdymui, W.

Nustatomi vamzdžių diametrai ir atstumas tarp jų.

Šilumos *nuostoliai į gruntą* skaičiuojami pagal zonas arba priimami procentais nuo šilumos nuostolių per atitvaras. ($Q_{grunto} = 15 - 20\%\Sigma Q_{atitvarų}$).

Šilumos kiekis, būtinas šildyti infiltruojamą orą:

$$Q_{infiltracijos} = G_{infiltracijos} \cdot c \quad (t_{vidinė} - t_{išorinė}) \quad (13)$$

Čia: $G_{infiltracijos}$- infiltruojamo oro kiekis, kg/h

Pagal saulės radiacijos intensyvumo didėjimą šilumos srautas šildymui turi būti sumažinamas:

$$Q_{šildymo} = \Sigma Q_{\substack{atitvarų,\\nuostoliai}} + Q_{grunto} + Q_{infiltracijos} - Q_{s.r.} \quad (14)$$

Čia: $Q_{s.r.}$- šilumos srautas gaunamas nuo saulės radiacijos, W

Šiltnamis gali būti šildomas keturiomis vandeninėmis sistemomis (cokolinė, piramidinė, podirvinė, viršdirvinė) ir viena orine:

$$Q_{šildymo} = Q_{cokolinė} + Q_{piramidinis} + Q_{podirvinis} + Q_{viršdirvinis} + Q_{vėdinimas} \quad (15)$$

Orinio šildymo galingumas $Q_{vėdinimas}, W$, esant kombinuotai vandens - orinei sistemai sudaro blokiniam šiltnamiui 15-35%, angarinių 25-45% bendro šilumos kiekio.

Piramidinės sistemos galingumas $Q_{piramidinis}, W$, priklauso nuo sniego kritimo intensyvumo, temperatūros, išorės oro judėjimo greičio. Vidinis šlaito paviršius, šilumos kiekį

gauna, dėl konvekcinių, spindulinių šilumos mainų ir vandens garų kondensacijos. Piramidinėi šildymo sistemai tenka apie 50-70 % bendro šilumos kiekio.

Viršdirvinės šildymo sistemos galingumas $Q_{viršdirvinis}, W$ nustatomas pagal užduotas geometrines ir temperatūrines charakteristikas. Paprastai vamzdžių ilgis lygus lysvės ilgiui. Kai skersmuo 40-50mm, temperatūra paduodamame vamzdyje yra $t_{Padavimo} = 95°C$, $t_{grįžtamo} = 70°C$.

Cokolinės šildymo sistemos galingumas $Q_{cokolinė}, W$, apytikriai lygus šilumos nuostoliams per šonines atitvaras, kas sudaro 5-10% bendro šilumos srauto.

Podirvinės šildymo sistemos galingumą $Q_{podirvinis}, W$ galima nustatyti pagal empyrinę formulę:

$$Q_{podirvinis} = [32{,}8\,\lambda_{dirvos} + 4{,}27 - (11{,}5\lambda_{dirvos} + 2{,}9)]A_{dirvos} \qquad (16)$$

Priklausomybė (19) teisinga esat šioms sąlygoms: $t_{Padavimo} = 45°C$, $t_{grįžtamo} = 30°C$, vamzdžių paklojimo gylis $h_{vamzdžių} = 0{,}4m$ žingsnis tarp vamzdžių $S_{vamzdžių} = 1{,}5m$. Žieminiams šiltnamiams, $S_{vamzdžių} = 0{,}4 - 0{,}5m$ daigų šiltnamiams. Vamzdžio skersmuo parenkamas atlikus hidraulinius skaičiavimus.

4.1 ŠILTNAMIO ŠILUMOS BALANSO SUDARYMAS

Konvekciniai šilumos mainai. Šilumos srautas gaunamas (atiduodamas) išorinėmis atitvaromis , dirva, lapais, konvekcijos keliu.

$$Q_{\substack{\text{šiluma.}\\ konvekcinė}} = \alpha_K^{sienos}(1-\tau)F \qquad (17)$$

$$Nu = c(GrPr)^n \qquad (18)$$

Esant laminariniam režimui: $GrPr = 10^{-3} \ldots 5 \cdot 10^2$, $c = 1{,}18, n = \frac{1}{8}$;

Esant pereinamam režimui: $GrPr = 5 \cdot 10^2 \ldots 2 \cdot 10^7$, $c = 0{,}54, n = \frac{1}{4}$;

Esant turbulentiniam režimui: $GrPr = 2 \cdot 10^7 \ldots 10^{13}$, $c = 0{,}135, n = \frac{1}{3}$.

Įrašius šias reikšmes į (21) gauname:

$$\alpha_K^{sienos} = \frac{\lambda}{l} c \left[\frac{g\beta l^3(t-\tau)}{\alpha_V \nu}\right]^n \qquad (19)$$

Lygtis (22) naudojama vertikaliems ir horizontaliems paviršiams. Tačiau, augalų ir vamzdžių buvimas ant dirvos, šildymo prietaisų arti sienos ir stogo išdėstymas, padidintas oro judėjimas dėl infiltracijos, ir vėdinimo sistemos darbo, lemia kai kuriuos pasikeitimus šilumos mainų procese.

Galima teigti, kad šiltnamiuose arti visų išorinių paviršių yra turbulentinis oro judėjimas. Šiuo atveju konvekcinių šilumos mainų koeficientas nepriklauso nuo paviršiaus matmenų ir formulė (19) tampa paprastesne:

$$\alpha_K^{sienos} = Em\sqrt[3]{t-\tau} \quad (20)$$

Koeficientas E, priklausomas nuo nustatomos temperatūros $t_{nustatoma} = (t+\tau)/2$, keičiasi nežymiai: $E = 1{,}66$ prie $t_{nustatoma} = 20°C$ ir $E = 1{,}69$ prie $t_{nustatoma} = 0°C$. Koeficientas m nustatomas pagal paviršiaus šilumos atidavimą. Vertikaliems paviršiams (sienos, vertikalūs lapai) $m = 1$. Kultivuojamų pastatų techniniuose skaičiavimuose priimama, kad dirva plokščias horizontalus paviršius. Horizontaliems paviršiams, pasuktiems šilta puse viršun arba šalta apačion, $m = 1{,}3$, pasukta šilta puse apačion, arba šalta- viršun $m = 0{,}7$, šlaitams koeficientas m išreiškiamas santykiu:

$$m = (\Sigma A_{sienų} + \Sigma 0{,}7A_{šlaito})/(\Sigma A_{sienų} + \Sigma A_{šlaito}) \quad (21)$$

- Gruntui $\tau_{dirvos} > t_{vidinis}^{dirvos}$

$$Nu = 0{,}012(GrPr)^{0{,}47}; \quad (22)$$

Vidinių paviršių šlaitams prie $\alpha = 30°\ ir\ \tau_{vdinis}^{šlaito} < t_{vidinė}^{šlaito}$

$$Nu = 0{,}0104(GrPr)^{0{,}59}; \quad (23)$$

4.2 ŠILTNAMIO DRĖGMĖS IR ORINIO REŽIMAS:

Atskiri drėgmės srautai, aprašomi lygtimis:

$$G_g^d + \Sigma G_g^l + G_{drėgmė}^{pritekama} = G_{kond.}^{stog.} + G_{kond.}^{sienų} + G_{drėgmė}^{pašal.} \quad (24)$$

Čia: G_g^d ir ΣG_g^l -drėgmė, išgaruojanti iš dirvos ir lapų, kg/h

$G_{drėgmė}^{pritekama}$, $G_{drėgmė}^{pašal.}$-drėgmė, patenkanti su pritekamu ir pašalinama su ištraukiamu ir filtruotu oru, kg/h;

$G_{kond.}^{stog.} + G_{kond.}^{sienų} = G_{kond.}$ - susikondensavusių garų ant vidinių paviršių, stogo ir vertikalių išorinių atitvarų kiekis, kg/h.

Žiemos periodu šiltnamio vėdinimas esant oriniam šildymui vykdomas tik dėl infiltracijos ir eksfiltracijos per išorines sienas. Esant oriniam šildymui recirkuliacinis oras maišomas su 10...20 % išorės lauko oru.

5. TYRIMO OBJEKTAS

Šio baigiamojo darbo tikslas – rasti optimalų konstrukcinį sprendimą šiltnamiams. Tyrimo objektas skirtingos konstrukcijos šiltnamiai, kurių plotas 1ha. Nagrinėti kultivacinių pastatų variantai, kurių įstiklinamas plotas skirtingas, tai įprastos konstrukcijos statinys, kurio visos atitvaros stiklinės, iš dalies įstiklintas šiltnamis, ir šiltnamis kurio atitvaros neįstiklintos.

Šie variantai buvo nagrinėti, vertinant reikiamiems mikroklimato parametrams užtikrinti naudojamų sistemų energijos poreikius. Minėtiems atvejams nustatyti šildymo, vėsinimo, vėdinimo poreikiai, įvertintas šiltnamio apšvietimas.

Kaip buvo nustatyta, optimali šiltnamio statybos vieta – vidurio Lietuvoje, todėl tolimesniems skaičiavimams naudojami lauko oro parametrai, atitinkami Kauno apskrityje. Skaičiuotinos lauko oro temperatūros šaltuoju metų laiku -22ºC, šiltuoju 24,2 ºC [12].

Lentelėje Nr.2 pateikiamos pagrindinės darbe nagrinėtų konstrukcinių sprendimų charakteristikos.

2 lentelė. Nagrinėjamų šiltnamių modelių savybės

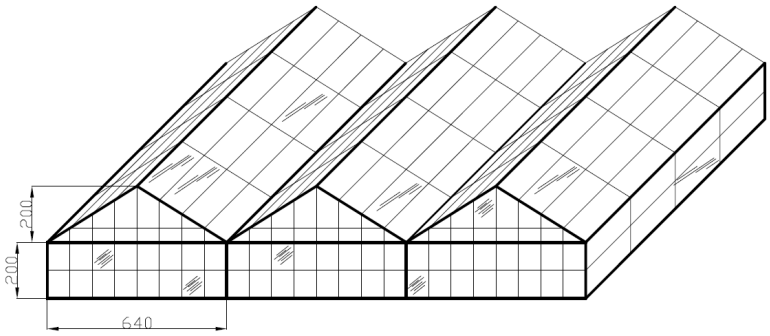
Variantas	Konstrukcijos tipas	Įstiklinimas	Neįstiklintos atitvaros	Pav.
1 variantas	**Stiklinis (visiškai įstiklintas)**	Viengubas 6 mm. storio stiklas, U= 6,121 W/m²K	-	18 pav.
2 variantas	**Dalinai įstiklintas**	Viengubas 6 mm. storio stiklas, U= 6,121 W/m²K	Įprastos konstrukcijos, U= 0,3 W/m²K	20 pav.
3 variantas	**Be stiklinių atitvarų**	-	Įprastos konstrukcijos, U= 0,3 W/m²K	21 pav.
4 variantas	**Stiklinis (visiškai neįstiklintas)**	Dvigubas įstiklinimas, oro tarpą užpildant argono dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=1,514 W/m²K)	-	18 pav.
5 variantas	**Dalinai įstiklintas**	Dvigubas įstiklinimas, oro tarpą užpildant argono dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=1,514 W/m²K)	Įprastos konstrukcijos, U= 0,3 W/m²K	20 pav.
6 variantas	**Stiklinis (visiškai įstiklintas)**	Dvigubas stiklas, oro tarpas neužpildomas dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=2,761 W/m²K)	-	18 pav.
7 variantas	**Dalinai įstiklintas**	Dvigubas stiklas, oro tarpas neužpildomas dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=2,761 W/m²K)	Įprastos konstrukcijos, U= 0,3 W/m²K	20 pav.
8 variantas	**Stiklinis (visiškai įstiklintas)**	Trigubas stiklas su dviem oro tarpais (trys stiklai 3 mm., su tarpai po 13mm.; U=1,778 W/m²K)	-	18 pav.

2 lentelės tęsinys. Nagrinėjamų šiltnamių modelių savybės

9 variantas	**Dalinai įstiklintas**	Trigubas stiklas su dviem oro tarpais (trys stiklai 3 mm., su tarpai po 13mm.; U=1,778 W/m²K)	Įprastos konstrukcijos, U= 0,3 W/m²K	20 pav.
10 variantas	**Stiklinis (visiškai įstiklintas)**	Polikarbonatas 25mm. storio, U=1,7 W/m²K	-	18 pav.
11 variantas	**Dalinai įstiklintas**	Polikarbonatas 25mm. storio, U=1,7 W/m²K	Įprastos konstrukcijos, U= 0,3 W/m²K	20 pav.
12 variantas	**Dalinai įstiklintas**	Dvigubas įstiklinimas, oro tarpą užpildant argono dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=1,514 W/m²K)	Daugiasluoksnės „sandwich“ tipo plokštės (U=0,1 W/m²K)	20 pav.
13 variantas	**Dalinai įstiklintas**	Polikarbonatas 25mm. storio, U=1,7 W/m²K	Daugiasluoksnės „sandwich“ tipo plokštės (U=0,1 W/m²K)	20 pav.

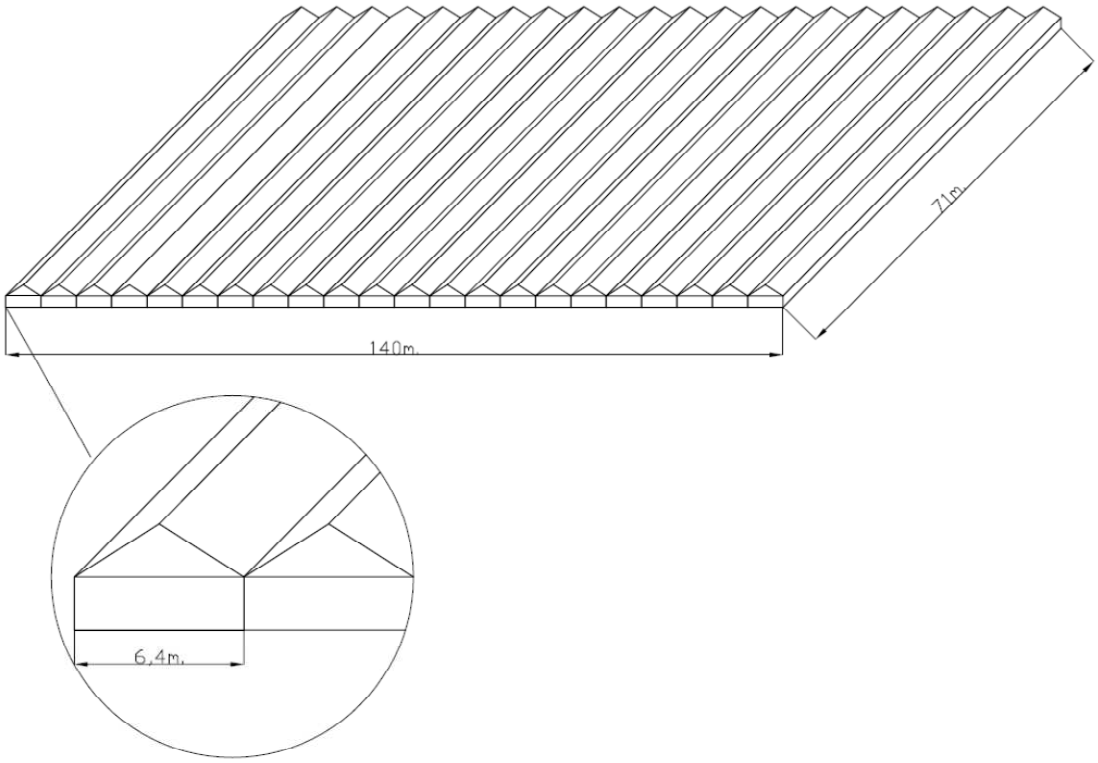
Pirmiausia ieškota optimalaus įstiklintos ir neįstiklintos pastato dalies santykio. Tuo tikslu nagrinėti trys sprendimai:

1 variantas. Stiklinis šiltnamis (fragmentas pavaizduotas **18 pav**.) Tai populiariausias konstrukcinis sprendinys. Šiltnamis įstiklintas viengubu 6 mm. storio stiklu, šilumos laidumo koeficiantas U= 6,121 W/m²K [7]. Šiame šiltnamyje reikalinga papildoma apšvieta yra 2000lx. Apšvietimas čia naudojamas šviesios paros meto prailginimui, žiemos metu. Šiltnamio išoriniai matmenys 140 x 71 m., vidutinis aukštis 3,5 m (19 pav.). Detaliau visi variantai, pateikti Priede Nr.1.

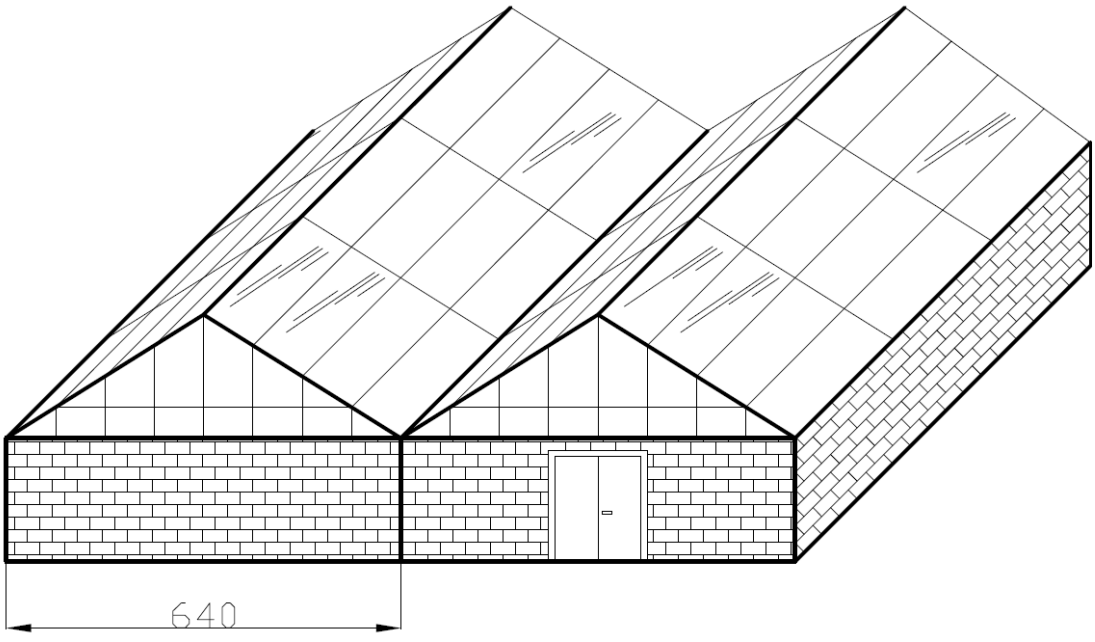


18 pav. Stiklinis šiltnamis. (fragmentas, žr.19 pav)

2 variantas. Šiltnamis, įstiklintais šlaitais. Fragmentas pavaizduotas **20 pav**. Šiuo atveju, šiltnamis panašus į 1 variantą, tik vertikaliosios atitvaros nėra įstiklintos. Visa stogo konstrukcija stiklinė, jos šilumos perdavimo koeficientas taip pat U= 6,121 W/m²K, vertikalių atitvarų U= 0,3 W/m²K [7]. Šiltnamio išoriniai matmenys 140 x 71 m., vidutinis aukštis 3,5 m (19 pav.). Reikalinga papildoma apšvieta taip pat priimta 2000lx.

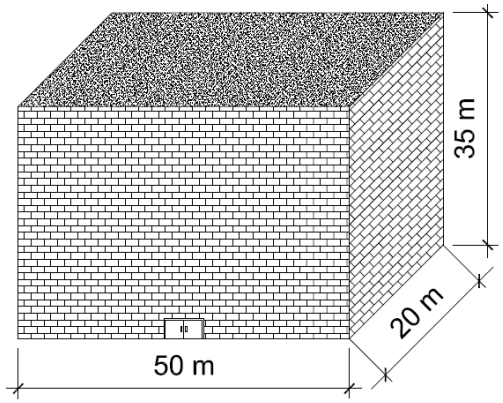


19 pav. Blokuotas šiltnamis, 1ha



20 pav. Šiltnamis, stikliniais šlaitais. (fragmentas, žr.3pav)

3 variantas. Šiltnamis, kurio išorinės atitvaros – normines vertes atitinkančios sienos (21 pav.). Tai šiltnamis kuriame įstiklintų atitvarų nėra. Atsižvelgus į šį teiginį, patikrinta, ar ši tendencija tinka ir kultivacinės paskirties pastatams. Pastate be stiklinių atitvarų, būtina išspręsti apšvietimo klausimą, suprojektuoti tinkamą dirbtinį apšvietimą. Reikalinga minimali apšvieta 10000 lx.



21 pav. Šiltnamis, kurio visios atitvaros neįstiklintos

6. PRODUKCIJOS AUGINIMO AUGINIMO ŠILTNAMYJE SĄLYGOS

Skaičiuojant konkrečius šiltnamių parametrus, reikalinga žinoti, kokią produkciją ketinama auginti. Nuspręsta priimti, kad nagrinėjamuose šiltnamiuose auginami agurkai. Trumpai apžvelgsiu svarbiausius jų auginimo principus.

Skaičiavimuose, priimsiu, kad šiltnamiuose auginami agurkai, derėjimo stadijoje:

- Derėjimo metu grunto drėgmė turi buti 70-80%.
- Optimali oro temperatūra dieną 22-28°C, naktį 18-20°C,
- Laistomo vandens temperatūra apie 20°C
- Santykinė oro drėgmė 80-90%.
- Optimalus dirvos rūgštingumas pH 5,8-6,3

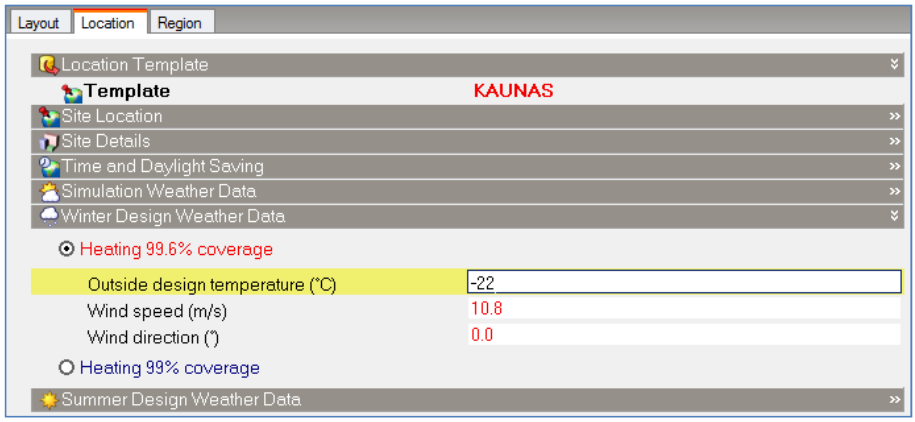
Agurkų sėklos sėjamos į vazonėlius arba daigyklas, pripildytas durpių substrato. Optimali temperatūra sėkloms dygti + 24 °C. Agurkų šaknys esant žemesnei negu 10°C temperatūrai nepasisavina maisto medžiagų. Sudygus daigams 3-5 dienas temperatūra sumažinama iki 16-17°C, kad daigai neištįstų, vėliau temperatūra palaikoma 22-26°C dieną ir 16-18°C naktį. Agurkų daigai laistomi retai bei gausiai, substratas turi būti drėgnas, bet ne šlapias, nes šlapias substratas labiau atvėsta, jame trūksta oro, silpniau vystosi daigų šaknys. Daigai laistomi šiltu (23-25°C) vandeniu pirmoje dienos pusėje. Daigai sodinami į šiltnamį turi būti apie 25 cm aukščio su 4-5 tikraisiais lapeliais. Optimaliomis sąlygomis agurkų daigai išauga per 25-30 dienų. Sodinimo tankumas 2,5-2,8 daigo/m². Daigai sodinami ne giliau kaip augo daigyne. Agurkai nemėgsta staigių temperatūros svyravimų, jiems reikia daug maisto medžiagų ir vandens. Derėjimo metu grunto drėgmė turi būti 70-80%. Optimali oro temperatūra dieną 22-28°C, naktį 18-20°C, santykinė oro drėgmė 80-90%. Optimalus dirvos rūgštingumas pH 5,8-6,3. Agurkai nemėgsta padidinto druskingumo - druskų koncentracija (EC) dirvoje neturi viršyti 2 mS/ cm, todėl tręšiami dažnai, bet negausiai. Žymiai geresnės sąlygos agurkams augti juos pasodinus į plastmasinius cilindrus, maišus pripildytus durpių substrato, arba šiltnamio gruntą pagerinus 20-30 cm substrato sluoksniu. Tam tikslui naudojamas universalus supakuotas į 70 l, arba specialus agurkų auginimui – 250 l substratas. Po 4-5 dienų augalai pririšami prie 1,8-2,0 m aukštyje ištemptų vielų. Po 10-12 dienų agurkai apkaupiami iki skiltlapių ir patręšiami [5].

7. SKAIČIAVIMAI *„DESIGNBUILDER“* PROGRAMA

Analizuojant šiltnamių šilumos režimus, esant skirtingoms atitvarų konstrukcijų savybėms, sukurti šiltnamių kompiuteriniai modeliai, analizuoti šilumos režimai juose, įvertintas šilumos balansas, temperatūrų kitimas, pasirinkta kompiuterinė programa *DesignBuilder*. Programa leidžia sumodeliuotiems pastatams gauti įvairius energetinių priklausomybių grafikus, o tai padeda ištirti pastato energetinį efektyvumą, nustatyti energijos srautų kitimą pastate. Šia programa tyriau, anksčiau nurodytus, šiltnamių modelius.

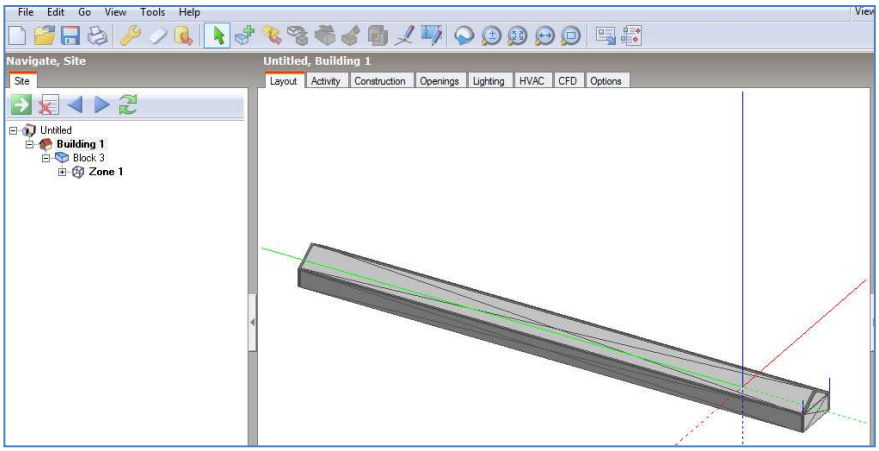
Programos darbo principai:

1. Nusistatoma vieta, kurioje stovės šiltnamis, jei reikia pakoreguojamos projektinės temperatūros. Nusistačiau vidurio Lietuvą – Kauno apskritį:



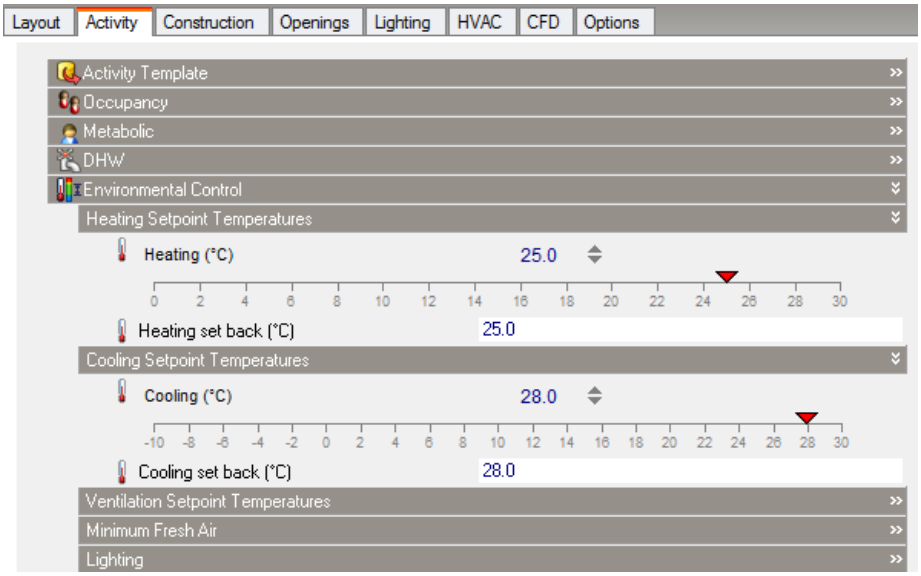
22 pav. Įvesties duomenys *„DesignBuilder“* programa

2. Iš atskirų elementų braižomas pastato modelis, šiuo atveju, blokinius šiltnamius braižiau, sujungdama atskirus blokus. Tokių blokų yra 22 vnt.



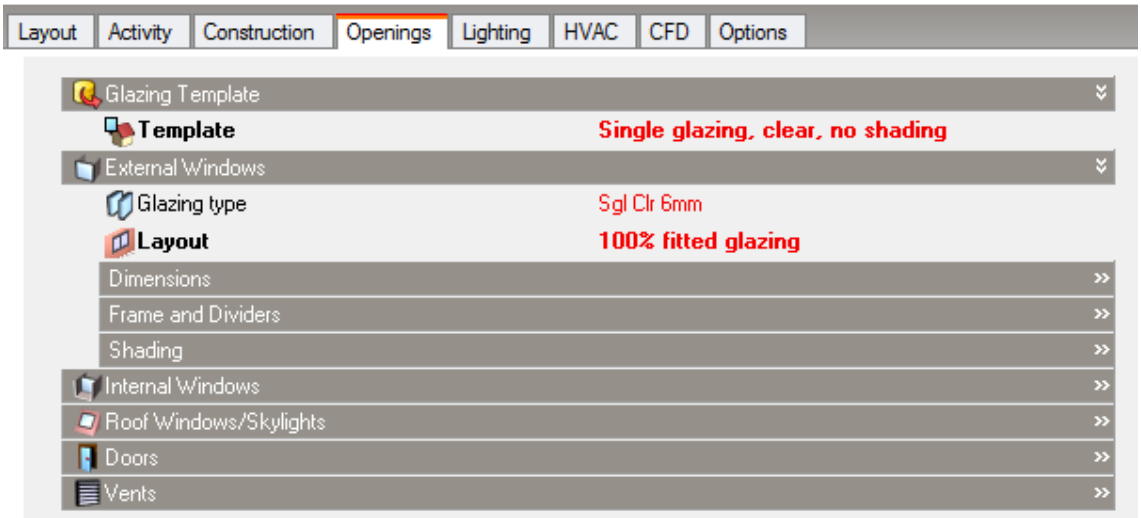
23 pav. Konstruktyvo modeliavimas *„DesignBuilder“* programa

3. Suvedami patalpos parametrai, tokie kaip projektinė temperatūra, šildymo, vėdinimo, vėsinimo parametrai.



24 pav. Mikroklimato modeliavimas „*DesignBuilder*“ programa

4. Parenkami konstrukcijų elementai (*Construction*), arba nustatomi jų parametrai. Nustatomas įstiklinamos dalies plotas, bei įstiklinimo rūšis (*Openings*).



25 pav. Įstiklinimo tipo modeliavimas „*DesignBuilder*“ programa

5. Nustatomi apšvietimo parametrai; (*Lightining*)

6. Nustatomi mikroklimato sistemų parametrai; (*HVAC*)

7. Gaunami išvesties duomenys – rezultatai:

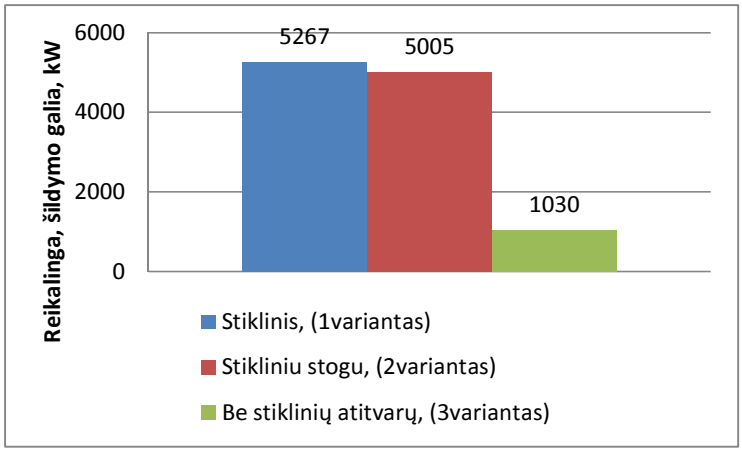
- Šildymo sezono, temperatūros kitimo grafikai. Pastato šiluminis galingumas, jo pasiskirstymas (*Heating design*)
- Šiltuoju metų laiku, reikalingas vėsinimo galingumas (*Cooling design*)
- Temperatūrų ir energijos kitimo grafikai laiko eigoje (*Simulation*)

Programa gauti išvesties duomenys pateikiami išoriniuose prieduose, kompaktiniame diske.

8. ŠILTNAMIO KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKOS ENERGIJOS SĄNAUDOMS ANALIZĖ

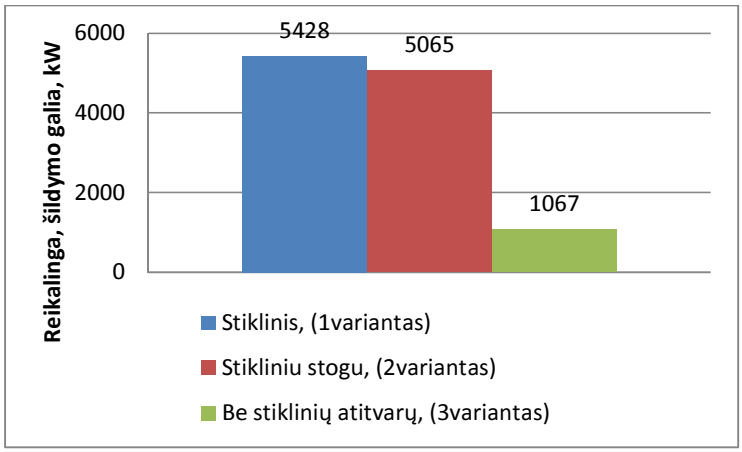
8.1 ŠILDYMO SISTEMOS GALINGUMO PALYGINIMAS, ESANT NEVIENODAM ĮSTIKLINTAM PLOTUI

Pirma analizuojami trys konstrukciniai sprendimai, ieškoma geriausio įstiklinamos ir neįstiklinamos dalies santykio. Sumodeliuoti (1var., 2var., 3var.) kurie nagrinėjami dviem būdais, t.y. pagal užsienio literatūroje rastą skaičiavimo metodiką gaunami analitinių skaičiavimų rezultatai, kurie palyginami su kompiuterine programa *DesignBuiler* gautais. Kaip matyti iš lentelės, pateiktos priede Nr.2 visais trim atvejais (1var., 2var., 3var.) skaičiavimo rezultatai skiriasi nedaug (1,2-3,5%) todėl galima teigti, kad rezultatai pakankamai tikslūs. 26 pav ir 27 pav. matyti, kad stiklinis šiltnamis (1var.) ir šiltnamis stikliniu stogu (2var.) išsiskiria žymiai didesne šilumine galia, abiem atvejais galia >500 W/m², tai daugiau nei 5 kartus daugiau, nei neįstiklintame šiltnamyje (3var.)



26 pav. Anatinio galios skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 3var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.1*, (3 lentelė).



27 pav.Kompiuterinio galios skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 3var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.1*, (3 lentelė).

Nustačius šildymo sistemos galią (27 pav.), matyti, kad stikliniame šiltnamyje reikalinga galia yra 7 % didesnė už šiltnamio su stikliniu stogu ir 80 % didesnė už šiltnamio be stiklinių atitvarų. Pastaruoju atveju, kai šiltnamis yra „be langų“, daugiau nei pusė šilumos reikia vėdinimo sistemos oro pašildymui, nes natūralus vėdinimas artimi nuliui. Įvertinus tik šilumos nuostolius, šis variantas (3var.) būtų energetiškai efektyviausias.

8.2 APŠVIETIMO ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS.

Analizuojant šiltnamio be stiklų variantą, reikalinga apšvieta – 10000 lx [15]. Verta paminėti, jog administraciniuose pastatuose reikalinga apšvieta – 300–500 lx. Taigi energijos poreikis, reikalingas augalų apšvietimui, yra 20 kartų didesnis, todėl ir apšvietimo įtaka pastato energijos suvartojimui yra gerokai didesnė. Šiltnamių dirbtinio apšvietimo skaičiavimas atliekamas remiantis metodu, pateiktu [13]:

$$E = \frac{F \cdot n \cdot N \cdot MF \cdot UF}{A} \tag{25}$$

čia: E – vidutinė reikalinga apšvieta, lx;

F – pradinis lempos šviesos srautas, lm;

n – lempų skaičius šviestuve;

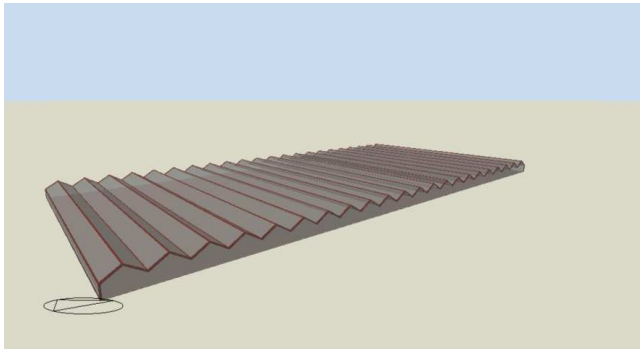
N – šviestuvų kiekis patalpoje;

A – patalpos plotas, m²

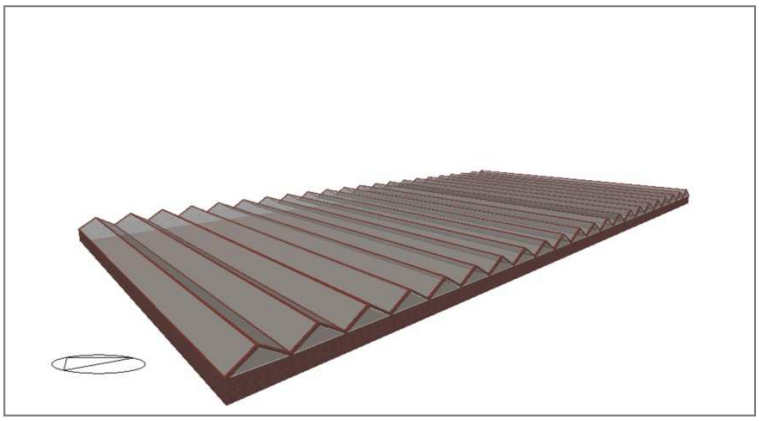
MF – atsargos koeficientas įvertinantis lempų keitimo ir šviestuvų valymo periodiškumą;

UF – šviestuvo panaudojimo koeficientas darbo paviršiaus atžvilgiu.

Skaičiavimams pasirinktos lempos HID High Pressure Sodium PHILIPS MASTER SON-T PIA+ 600W, skirtos šiltnamiams, tinkamos daržovių auginimui. Pradinis lempos šviesos srautas – 88000 lm. Naudojami šviestuvai HORTUS wide ORSe 600W. Skaičiavimuose įvertinta, kad atsargos koeficientas, įvertinantis lempų keitimo ir šviestuvų valymo periodiškumą MF=0,8, o šviestuvo panaudojimo koeficientas darbo paviršiaus atžvilgiu UF=0,9. Apskaičiavus šviestuvų skaičių, pagal formulę (25), gauta, kad 1ha šiltnamyje be langų reikia 1600 vnt. šviestuvų, t. y. kiekviename aukšte po 160 vnt. Vienos lempos elektrinė galia – 600 W, pasirinktos HID didelio intensyvumo dujų išlydžio lempos, kurių efektyvumo koeficientas – 0,22, t. y. 78 % energijos paverčiama šiluma ir 22 % šviesa. Apskaičiuoti energijos pritekiai dėl apšvietimo yra lygūs 75 W/m². Per parą apšvietimas įjungiamas 12 valandų.

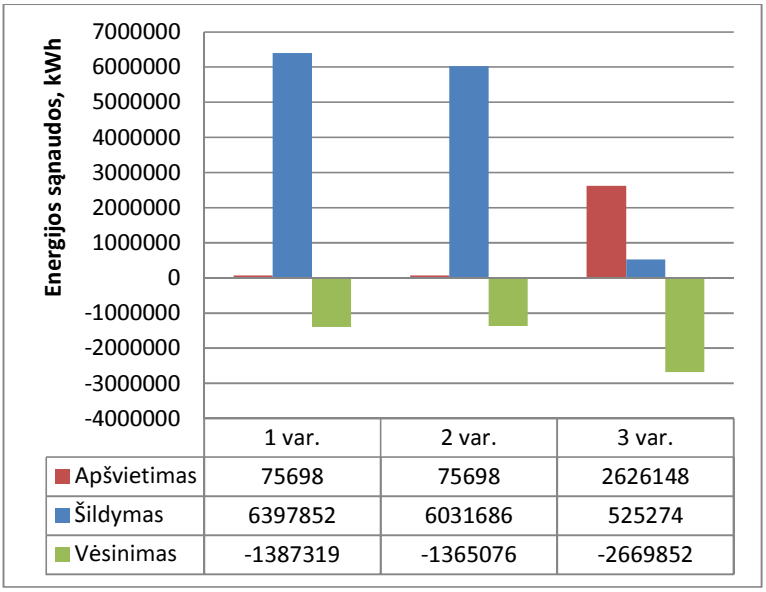


28 pav. Stiklinio šiltnamio kompiuterinis modelis



29 pav. Dalinai įstiklinto šiltnamio kompiuterinis modelis

Stiklinio (1var.) ir dalinai įstiklinto (2var.) šiltnamio atveju, reikalingas papildomas apšvietimas 2000 lx. Naudojant tokias pat lempas, kaip neįstiklintame šiltnamyje, reikalinga 316 vnt. lempų. Šiuo atveju energijos pritekiai yra 15W/m². Todėl penkis kartus mažesni nei prieš tai minėtu atveju.

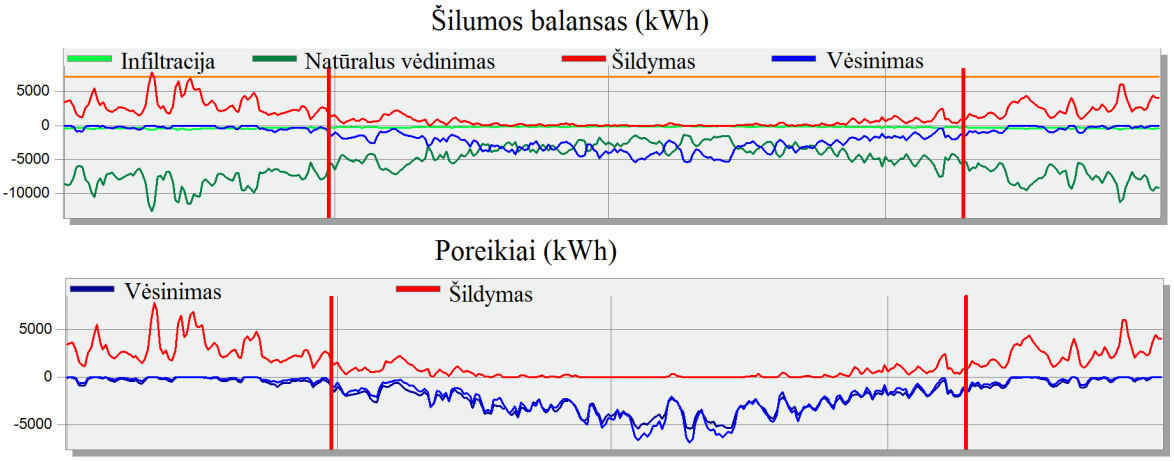


	1 var.	2 var.	3 var.
Apšvietimas	75698	75698	2626148
Šildymas	6397852	6031686	525274
Vėsinimas	-1387319	-1365076	-2669852

30 pav.Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 3var.)

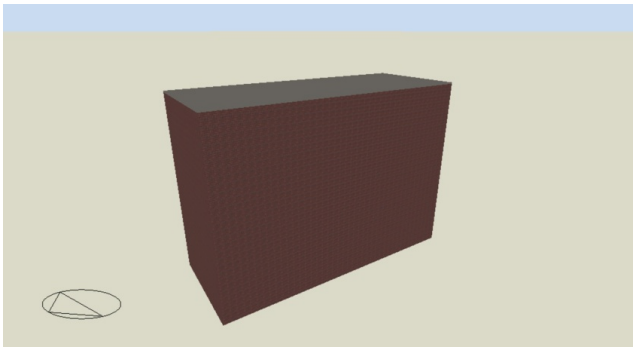
Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).

Apšvietimo sistemos pritekiai, kultivacinėse patalpose turi didelę įtaką, kultivacinių patalpų šilumos režimams. 30 pav, pateiktas šilumos srautų pasiskirstymas nagrinėjamuose šiltnamiuose. Neįstiklintame šiltnamyje, net ir šaltuoju metų laiku, būtinas vėsinimas, nes apšvietimo šilumos pritekiai tokie dideli, kad reikia ne šildyti, o vėsinti patalpas. 31 pav. patektas šilumos balanso grafikas, šiame šiltnamyje, matyti, jog šildymas reikalingas žiemos metu, kai apšvietimo sistema negali padengti šilumos nuostolių, tačiau ištisus metus reikalingas vėsinimas. Šiame šiltnamyje (3var.) vėsinimo poreikis yra 48-49 % didesnis, nei įstiklintuose šiltnamiuose (1var, 2 var.). Vertinant šildymo sistemos poreikį 1variante ir 2 variante, šildymo poreikiai yra 91-92 % didesni nei 3 variante. Tačiau pastarajame variante labai dideli šilumos pritekiai nuo dirbtinio apšvietimo yra 97% didesni nei kituose.

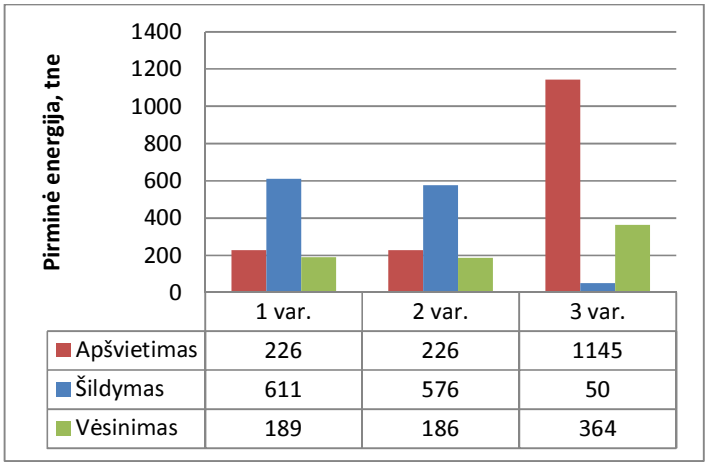


31 pav. Šilumos balanso neįstiklintame šiltnamyje grafikas (3var.)

Nagrinėjant šiuos variantus būtina įvertinti pirminės energijos poreikį, tuomet galima sulyginti energijos sąnaudų dedamąsias (33 pav.). Suminis pirminės energijos poreikis, stikliniame šiltnamyje yra 1027 tne, iš dalies įstiklintame šiltnamyje 989 tne, šiltnamyje be stiklinių atitvarų 1559 tne. Matyti, jog 3 variante pirminės energijos poreikis skiriasi 34-37%, lyginat su kitais dviem variantais.



32 pav. Neįstiklinto šiltnamio kompiuterinis modelis



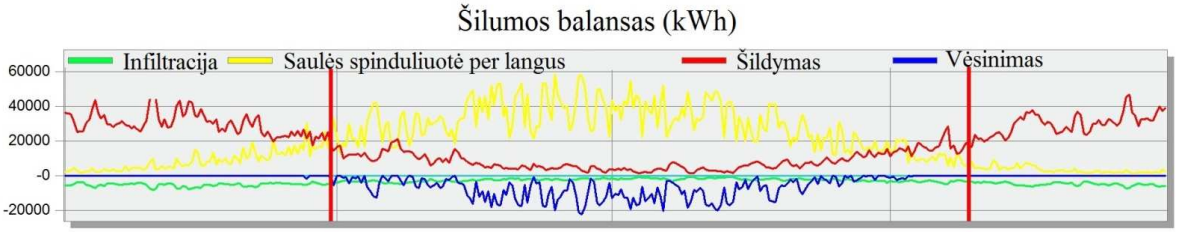
	1 var.	2 var.	3 var.
Apšvietimas	226	226	1145
Šildymas	611	576	50
Vėsinimas	189	186	364

33 pav. Pirminės energijos reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui palyginimas (1 var. 2var. 3var.) Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).

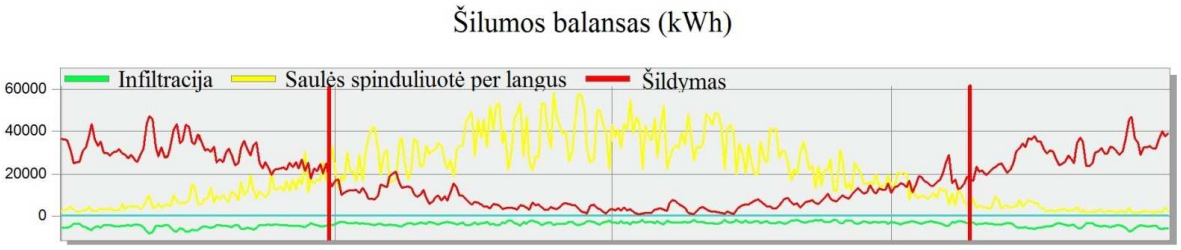
Taigi, remiantis minėtomis išvadomis, šiltnamio be stiklų konstrukcinis sprendimas (3var.) atmetamas, ieškant optimalaus konstrukcinio sprendimo. Šis variantas šiame baigiamajame darbe toliau plačiau nebus nagrinėjamas.

8.3 SAULĖS PRITEKIAI STIKLINIAME ŠILTNAMYJE

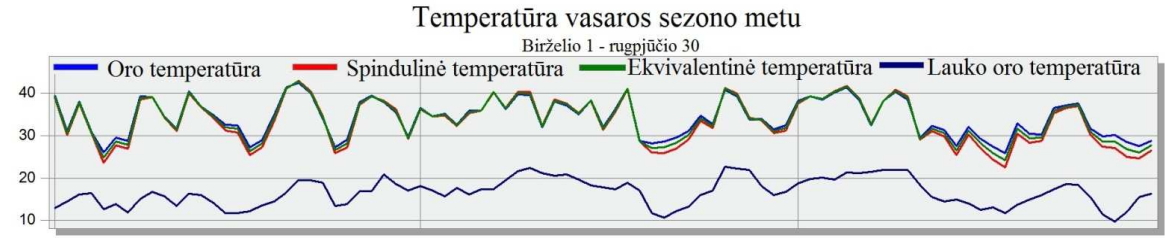
Stikliniuose ir dalinai įstiklintuose šiltnamiuose dirbtinis apšvietimas sudaro nežymią energijos, didžioji šilumos pritekių dalis – dėl saulės spinduliavimo per skaidres atitvaras. Saulės energija čia ir šviesos ir šilumos šaltinis (34 pav. ir 35 pav.), paveiksluose matyti, kad šilumos poreikis šiltnamyje kinta: žiemą didėja, nesant dideliems saulės pritekiams. Vasarą – šilumos poreikiai mažiausi, tačiau išauga vėsinimo poreikis. Tai matyti 34 pav., todėl norint palaikyti maksimalią optimalią temperatūrą, sėkmingam derliaus užauginimui, reikalinga mechaninė vėsinimo sistema. Tačiau, tokios sistemos eksploatacija brangi, ir dažniausiai Lietuvoje jos nenaudojamos, tokio atvejo šilumos balansas vaizduojamas 35 pav. Tačiau tokiame modelyje, *DesignBuilder* programos pateikiami rezultatai rodo, jog vidutinė vasaros (nuo birželio 1d. iki rugpjūčio 31d.) temperatūra kultivacinėse patalpose yra 31ºC, o neretai pakyla ir virš 40ºC (36 pav.). Taigi, teoriniu atveju, vėsinimas tokiame kultivacinės paskirties statinyje būtinas. Toliau nagrinėjamuose šiltnamiuose vėsinimo poreikis bus nagrinėjamas kaip energijos poreikių dalis. Šiame darbe nenagrinėtos šiltnamių užtemdymo, uždengimo, langų varstymo galimybės, nagrinėjami konstrukciniai sprendimai ir įstiklinimo variantai.



34 pav. Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai, esant vėsinimo sistemai (1 var.)



35 pav.Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai , kai neprojektuojama vėsinimo sistema (1 var.)



36 pav. Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai , kai neprojektuojama vėsinimo sistema (1 var.)

8.4 ENERGIJOS POREIKIŲ KITIMAS KEIČIANT STIKLINES ATITVARAS:

Atsižvelgiant į tai, jog stikliniame (1var.) ir iš dalies įstiklintame šiltnamyje (2var.) didžiąją dalį sudaro energijos poreikiai šildymui ir vėsinimui. Jie yra dideli dėl mažų šiluminių varžų, nuspręsta padidinti įstiklintų atitvarų savybes ir įvertinti kaip tai įtakoja šilumos režimus šiltnamyje. Pasirinkti keletas skirtingų įstiklinimo variantų:

4 variantas. Visiškai įstiklintas šiltnamis, konstrukcija primena 1variantą. Šiuo atveju dvigubas įstiklinimas, oro tarpą užpildant argono dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=1,514 W/m²K). (Priedas Nr.1)

5 variantas. Iš dalies įstiklintas šiltnamis, kai vertikalios atitvaros neįstiklintos, konstrukcija primena 2 variantą. Šiuo atveju įstiklinimas, kaip 4 variante, dvigubas su argonu (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=1,514 W/m²K).

Nuspręsta patikrinti, kaip energijos poreikius įtakoja argono užpildymas, tam pasirinkti įstiklinimo 6 ir 7 variantai:

6 variantas. Visiškai įstiklintas šiltnamis, konstrukcija kaip 1 variante. Įstiklintas dvigubu stiklu, oro tarpas neužpildomas dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=2,761 W/m²K).

7 variantas. Iš dalies įstiklintas šiltnamis, konstrukcija kaip 2 variante. Įstiklintas dvigubu stiklu, kai oro tarpas neužpildomas dujomis (du stiklai 3 mm., tarpas 13mm.; U=2,761 W/m²K).

Didinat stiklinės atitvaros sluoksnių skaičių, mažėja atitvaros šilumos perdavimo koeficientas. Todėl nagrinėti dar du variantai, kai įstiklinimas – trigubi stiklai:

8 variantas. Visiškai įstiklintas šiltnamis, konstrukcija kaip 1 variante. Įstiklinimas - trigubas stiklas su dviem oro tarpais (trys stiklai 3 mm., su tarpai po 13mm.; U=1,778 W/m²K).

9 variantas. Iš dalies įstiklintas šiltnamis, konstrukcija kaip 2 variante. Įstiklinimas trigubas su dviem oro tarpais (trys stiklai 3 mm., su tarpai po 13mm.; U=1,778 W/m²K).

Lietuvoje populiariausi sprendimai šiltnamiams yra: viengubas stiklinis įstiklinimas, polietileno plėvelės. Tačiau Europoje vis plačiau naudojamas polikarbonatas šiltnamio įstiklinimui. Tai lengvesnė už stiklą medžiaga, kurią lengviau montuoti, paprastesni šiltnamio konstrukcijų tvirtinimo elementai, geras laidumas šviesai. Polikarbonatinio įstiklinimo minusu galima laikyti nedidelį ilgaamžiškumą. Remiantis gamintojų nurodytais garantiniais terminais, kurių vidurkis apie 10 metų. Renkantis tokį sprendimą, būtina įvertinti trumpesnį eksploatacijos periodą. Dėl šios medžiagos populiarumo nuspręsta įvertinti ir šią alternatyvą stikliniam įstiklinimui.

10 variantas. Visiškai įstiklintas pastatas, konstrukcija kaip 1 variante. Įstiklinimas – polikarbonatas 25mm. storio, U=1,7 W/m²K

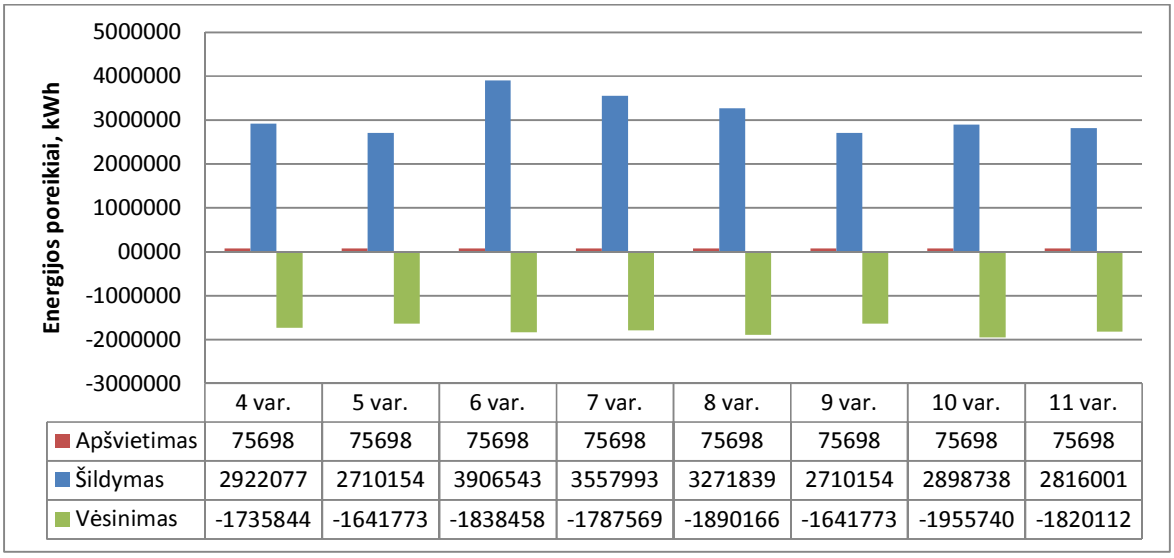
11 variantas. Dalinai įstiklintas pastatas, konstrukcija kaip 2 variante. Įstiklinimas – polikarbonatas 25mm. storio, U=1,7 W/m²K

Šioje dalyje nagrinėjama įstiklinimo įtaka energijos poreikiams, minėtuose aštuoniuose variantuose. Nagrinėjant 37 pav., kuriame pateikti energijos poreikiai minėtuose naujuose įstiklinimo variantuose. Analizuojant šildymo poreikius matyti, jog „blogiausias“ variantas, tai yra atvejis kai šilumos poreikis didžiausias, šiuo atveju yra 6 varianas t.y. dvigubo įstiklinimo variantas, kai oro tarpas neužpildytas dujomis. „Geriausias“ statinys, kuriame energijos sąnaudos mažiausios šildymui, yra 5 ir 9 variantas. Šiais atvejais *DesignBuilder* programa suskaičiuoti šildymo poreikiai yra lygūs kai šiltnamis yra dalinai įstiklintas, įstiklinimas – argono dujomis užpildytas stiklo paketas ir kai yra dalinai įstiklintas šiltnamis, trigubo įstiklinimo, be dujų užpildymo. „Blogiausias“ ir „geriausias“ variantai skiriasi 31 %.

Analizuojant šiuos įstiklinimo variantus, visoms įstiklinimo rūšims priskirti po du konstrukcijų sprendimai, kai statinys stiklinis, ir kai jis dalinai įstiklintas. Visais atvejais dalinai įstiklintame šiltnamyje šilumos poreikiai yra mažesni, nei visiškai įstiklintame. Iš dalinai įstiklintų variantų mažiausiai energijos reikia minėtuose 5 ir 9 variante, o vertinat tik visiškai stiklinius variantus, mažiausios energijos sąnaudos šildymui yra polikarbonatu įstiklintame šiltnamyje. Taigi, jei rinktumėmės klasikinės konstrukcijos šiltnamį, kai visas šiltnamis sudarytas iš skaidrių atitvarų, geriausias variantas – kai įstiklinimui naudojamas polikarbonatas.

Vertinat vėsinimo galios poreikį, matyti, jog mažiausiai vėsos reikia, tais pačiais atvejais, kaip ir vertinant šildymo poreikį. Abiem atvejais tinkamiausi yra 5-tas ir 9-tas variantas.

Didžiausias vėsinimo poreikis trigubais stiklais įstiklintame šiltnamyje, kai visas šiltnamis stiklinis. Taigi, stebint vėsinimo ir šildymo poreikių kitimą matyti jog tinkamiausias yra 5 ir 9 variantas. Šie variantai dalinai įstiklinti, naudojant skirtingą įstiklinimą, tačiau programa gauti šildymo ir vėsinimo poreikiai čia sutampa.



	4 var.	5 var.	6 var.	7 var.	8 var.	9 var.	10 var.	11 var.
Apšvietimas	75698	75698	75698	75698	75698	75698	75698	75698
Šildymas	2922077	2710154	3906543	3557993	3271839	2710154	2898738	2816001
Vėsinimas	-1735844	-1641773	-1838458	-1787569	-1890166	-1641773	-1955740	-1820112

37 pav.Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai (1 var. 2var. 4var. 5var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).

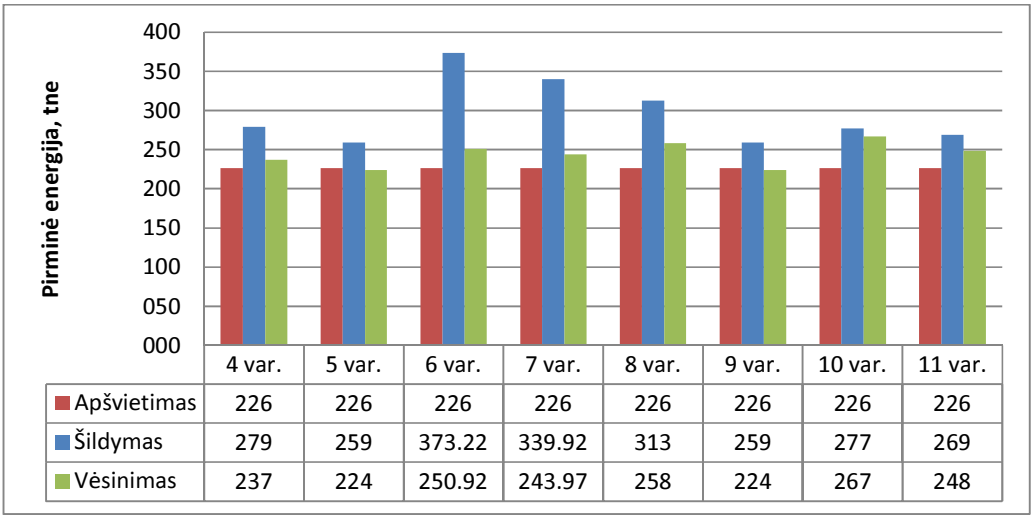
Vertinat energijos poreikių kitimą įvertinti ir pirminės energijos poreikiai nagrinėjamiems aštuoniems atvejams. Kaip matyti, 37 pav. lyginat su 38 pav.(kuriame pateikti poreikiai kWh). Šalčio poreikis pirminės energijos grafike tampa reikšmingesnis, jis sudaro didesnę procentinę visų pastato poreikių dalį, nei nagrinėjant energijos poreikius vėsai ir šildymui atskirai. Taip nutinka, nes perskaičiuojant poreikius į pirminę energiją, buvo priimtos tokios prielaidos:

1. Šiltnamiams šiluma tiekiama iš dujinės katilinės, kurios efektyvumo koeficiantas priimtas 90 %.
2. Vėsinimo sistemoje, užsiduota, jog vėsiname kondicionieriais kurių naudingumas COP=2; elektrinės, kurioje gaminama elektros energija efektyvumas yra 35%, nuostoliai elektros tinkluose priimti 10%.
3. Apšvietimo sistemoje, elektrinės efektyvumas taip pat 35%, o nuostoliai tinkluose 10%.
4. Kuro konversijos koeficientas 11,63.

Akivaizdu, jog pagaminti 1 kWh vėsos, naudojant kondicionierius, reikia sunaudoti žymiai daugiau pirminės energijos, nei pagaminti vieną 1 kWh šilumos, pagaminti 1 kWh elektros apšvietimui reikia sunaudoti daugiau pirminės energijos, nei gaminant vėsą, o Taip pat ir šilumą. Priėmus užsiduotas prielaidas gauname:

1. 1 MWh šilumos sunaudojama 0,096 tne.
2. 1MWh vėsos sunaudojama 0,136 tne.
3. 1MWh elektros apšvietimui sunaudojama 0,273 tne.

Pirminės energijos poreikiai gali būti sudėti, ir palyginti suminiai pirminės energijos poreikiai nagrinėjamais atvejais. 38 pav. pateikti pirminės energijos poreikiai negrinėtiems 8 įstiklinimo atvejams. Nagrinėjant šį paveikslą matyti, jog lyginant su 37 pav. šildymo vėsinimo ir apšvietimo dedamosios suvienodėja. 37 pav. šilumos poreikiai turi didžiausią energijos poreikių dalį, tačiau įvertinus pirminės energijos požiūriu, matyti, jog vėsinimo, šildymo ir apšvietimo sistemų poreikiai yra vienodai svarbūs. Taip pat matyti, jog pirminės energijos poreikis šildymo sistemoje ypač išsiskiria 6 ir 7 variante. Šiuose variantuose naudojamas įstiklinimas yra mažiausios šiluminės varžos iš 8 vertinamų šioje baigiamojo darbo dalyje, kai naudojamas dvigubas įstiklinimas, o oro tarpas neužpildytas dujomis. 33 pav. buvo pateikti pirminės energijos poreikiai 1, 2, 3 variantuose. Matyti, kuo didesnis šilumos perdavimo keoficientas, tuo didesnė šildymo dedamoji pirminės energijos poreikių grafike.

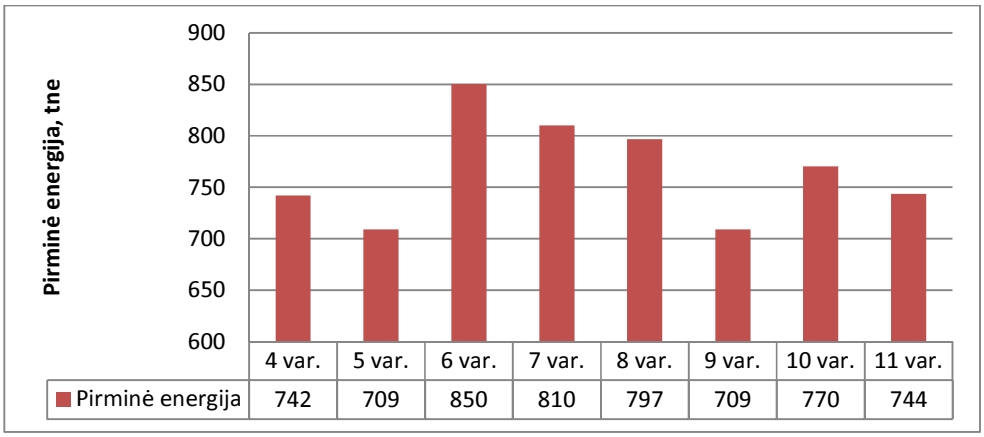


	4 var.	5 var.	6 var.	7 var.	8 var.	9 var.	10 var.	11 var.
Apšvietimas	226	226	226	226	226	226	226	226
Šildymas	279	259	373.22	339.92	313	259	277	269
Vėsinimas	237	224	250.92	243.97	258	224	267	248

38 pav. Pirminės energijos, reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui, palyginimas (4 var.– 11var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).

39 pav. matyti, kad nagrinėjant pasirinktus aštuonis atvejus, kai „pagerintos“ stiklinių atitvarų savybės, mažiausias pirminės energijos poreikis tenka 5 variantui – dalinai įstiklintas šiltnamis su dvigubu įstiklinimu, užpildytu argono dujomis. Taip pat 9 variantas – dalinai įstiklintas šiltnamis, su trigubu įstiklinimu. Šie variantai yra energetiškai efektyviausi iš nagrinėtųjų. Mažiausias energetinis efektyvumas pasiekiamas esant didžiausiam šilumos perdavimo koeficientui, t.y. 6 ir 7 variante, kai įstiklinimas yra dviejų stiklų.



39 pav. Reikalingos pirminės energijos palyginimas (4var.-11var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).

8.5 ENERGIJOS POREIKIŲ KITIMAS KEIČIANT NEĮSTIKLINTAS ATITVARAS

Atlikus modeliavimą matyti, kad esant iš dalies įstiklintam šiltnamiui, energijos poreikiai visais atvejais mažiausi. Todėl nuspręsta padidinti neįstiklintų atitvarų šiluminę varžą ir rasti kaip tuomet kinta energijos sąnaudos šiltnamiuose. Pasirinktos „sumuštinio“ (sandwich) tipo daugiasluoksnes plokštes. Tokių sienos konstrukcijų pranašumai: lengvas ir greitas montavimas, galimybė pasirinkti atitvaras su gera šilumine izoliacija. Pasirinkti konstrukciniai elementai, „sandwich“ tipo, daugiasluoksnės plokštės), sienelės storis 200 mm., U=0,1 W/m²K. Ankstesniuose skaičiavimuose neįstiklinta atitvara buvo naudojama U=0,3 W/m²K (pasirinkta atsižvelgiant į Lietuvoje galiojančius norminius dokumentus).

Renkantis įstiklinimo konstrukciją, pasirinka kaip 4 ir 5 variante, nes ankstesnėse išvadose minėta, jog esant argono dujomis užpildytam stiklo paketui, energijos sąnaudos šiltnamyje yra mažiausios. Taip pat dėl polikarbonato populiarumo Europoje, nuspręsta dar vieną variantą nagrinėti esant tokiam įstiklinimui. Toliau analizuojami tokie variantai:

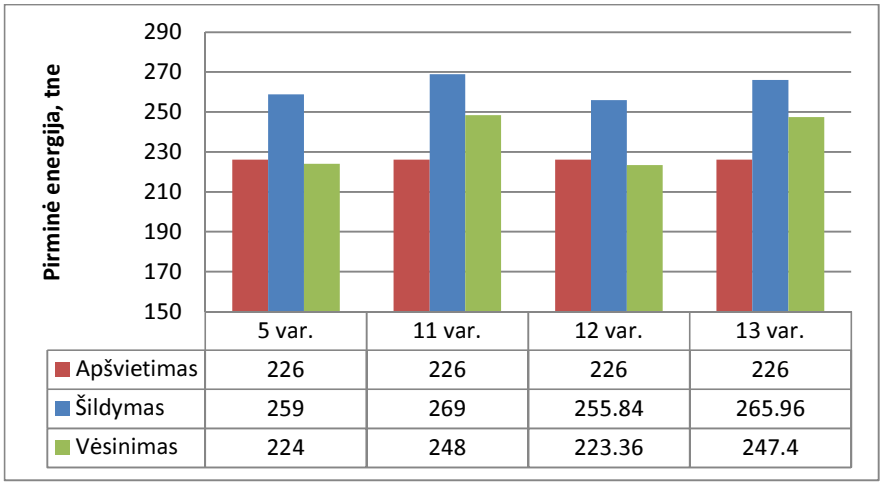
12 variantas. Dalinai įstiklintas pastatas, kai neįstiklintos atitvaros – „sandwich“ tipo (U=0,1 W/m²K). Įstiklinimas – dvigubo stiklo paketas, kai oro tarpas užpildytas argono dujomis, U=1,514 W/m²K.

13 variantas. Dalinai įstiklintas pastatas, kai neįstiklintos atitvaros – „sandwich“ tipo (U=0,1 W/m²K). Įstiklinimas – polikarbonatas 25mm. storio, U=1,7 W/m²K

Palyginimui vertinami šie variantai lyginant juos su tokio paties tipo šiltnamiais, tik kai neįstiklintų atitvarų (sienų) elementai kitokie, įstiklinimas toks pats, kaip matyti iš 40 pav. lyginat 5 variantą su 12 variantu, kai įstiklinimas abiem atvejais yra užpildytas argono dujomis, matyti, jog sienų šiluminės savybės, didelio energijos sąnaudų kitimo nelemia, pirminės energijos kiekis šildymui kinta 1,2 %, vėsinimui tik 0,3 %. Esant 11 ir 13 variantams, kai

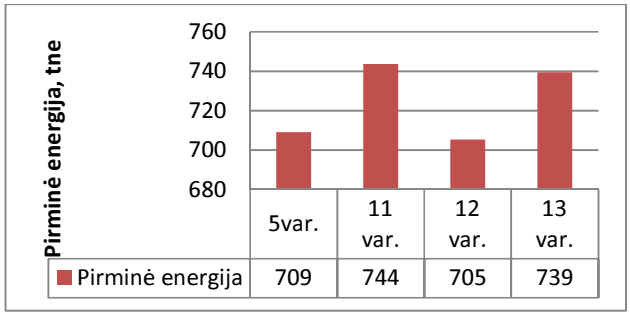
įstiklinimas polikarbonato plokštėmis; 13var. sienoms naudojamos daugiasluoksnės “sandwich” tipo plokštės, šildymo pirminės energijos skirtumas 1,1 %, vėsinimo 0,4 %.

Lyginant suminius pirminės energijos poreikius 41 pav., šiuose pastatuose, matyti, jog esant „sandwich“ tipo daugiasluoksnėms plokštėms, kurios naudojamos 12 ir 13 variantuose, pirminės energijos sutaupymas nežymus. Argono atvejai 5 ir 12 variantai, ir polikarbonato atvejai 11 ir 13 atvejis, pokytis tik 1 %.



40 pav. Pirminės energijos reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui palyginimas (5 var. 11var. 12var. 13var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).



41 pav. Reikalingos pirminės energijos palyginimas (5 var. 11var. 12var. 13var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).

Matyti, jog keičiant neįstiklintas atitvaras, energijos sąnaudos kinta nedaug. Tai nulemia dideli įstiklinimo plotai, nes didžiausi šilumos nuostoliai yra per stiklines atitvaras, didžiausi vėsinimo poreikiai, dėl didelių saulės spinduliavimo šiluminių pritekių į šiltnamį. Tačiau, kaip buvo matyti, iš bandymo modeliuoti šiltnamį be stiklinių atitvarų rezultatų, dideli įstiklinimo plotai šiltnamyje būtini, dėl būtinybės užtikrinti reikalingą apšvietimą.

Vertinant kultivacinių patalpų konstrukcinius sprendimus, nustatyta, jog mažiausi energijos poreikiai yra kai šiltnamis įstiklintu stogu. Išnagrinėjus įstiklinimo variantus matyti, kad renkantis įstiklinimą ypač svarbu įvertinti energijos poreikius (kWh) bei pirminės energijos

poreikius (tne). Lyginant visus minėtus trylika variantų (42 pav, 43 pav, 44 pav.), galima padaryti tokias išvadas:

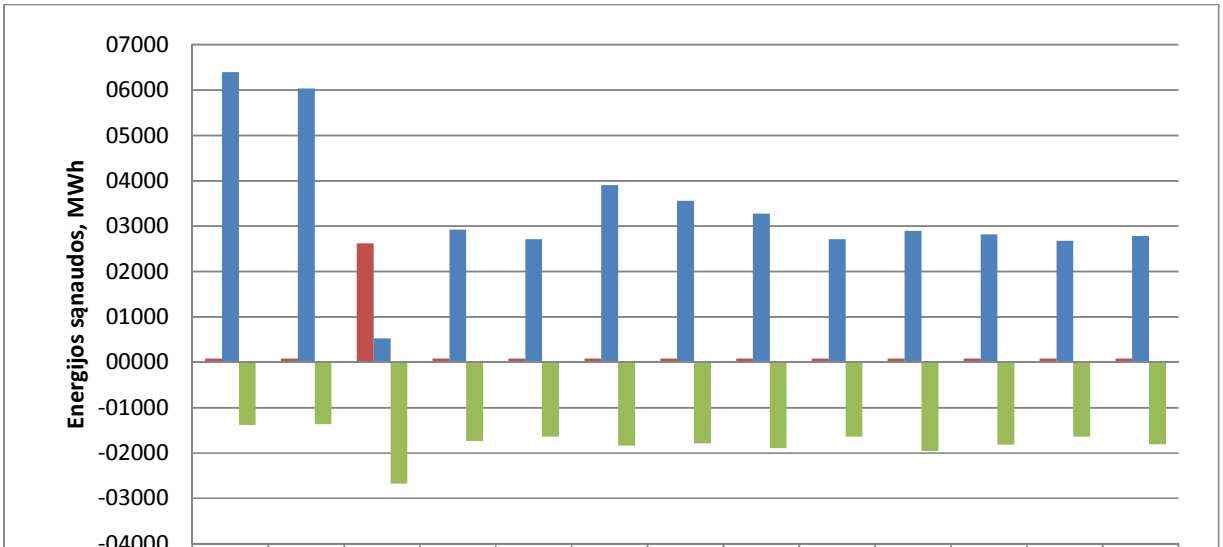
1. Didžiausi šilumos pritekiai dėl dirbtinio apšveitimo yra 3 var. kai šiltnamis neįstiklintas, šiuo atveju, net žiemos metu reikalingas vėsinimas perkaitimo panaikinimui.

2. Esant 1 ir 2 variantui, kai šiltnamiai įstiklinti viengubu stiklu 6 mm. reikalingi didžiausi energijos kiekiai šildymui, bet mažiausi vėsinimo poreikiai.

3. Efektyviausias energetiniu požiūriu įstiklinimas yra užpildytas argono dujomis. Tokie variantai buvo skaičiuoti trys: visiškai stiklinis, dalinai įstiklintas(kai neįstiklintos atitvaros U=0,3 W/m²K) ir kai neįstiklintos atitvaros sudarytos iš daugiasluoksnių plokščių U=0,1 W/m²K. Energetiškai efektyviausias pastarasis variantas.

4. Mažinant atitvarų šilumos perdavimo koeficientą, poveikis energijos poreikių mažėjimui yra labai ryškus.

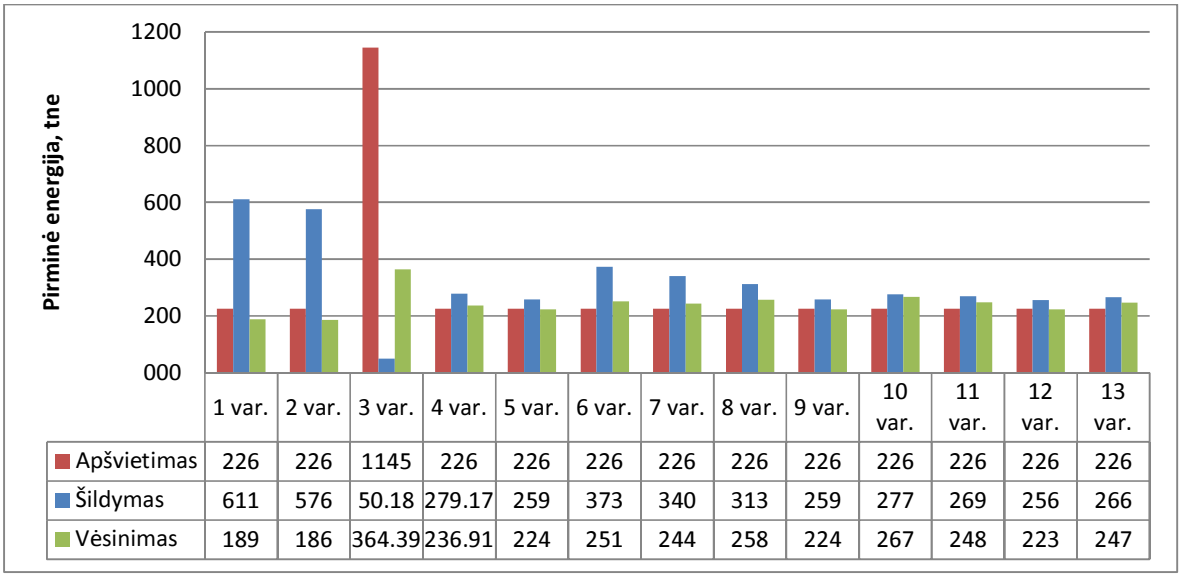
5. Keičiant neįstiklintų atitvaras, poveikis energijos poreikiams nežymus.



	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.	5 var.	6 var.	7 var.	8 var.	9 var.	10 var.	11 var.	12 var.	13 var.
Apšvietimas	76	76	2626	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Šildymas	6398	6032	525	2922	2710	3907	3558	3272	2710	2899	2816	2678	2784
Vėsinimas	-1387	-1365	-2670	-1736	-1642	-1838	-1788	-1890	-1642	-1956	-1820	-1637	-1813

42 pav. Kompiuterinio energijos srautų pasiskirstymo skaičiavimo rezultatai (1 var. – 13 var.)

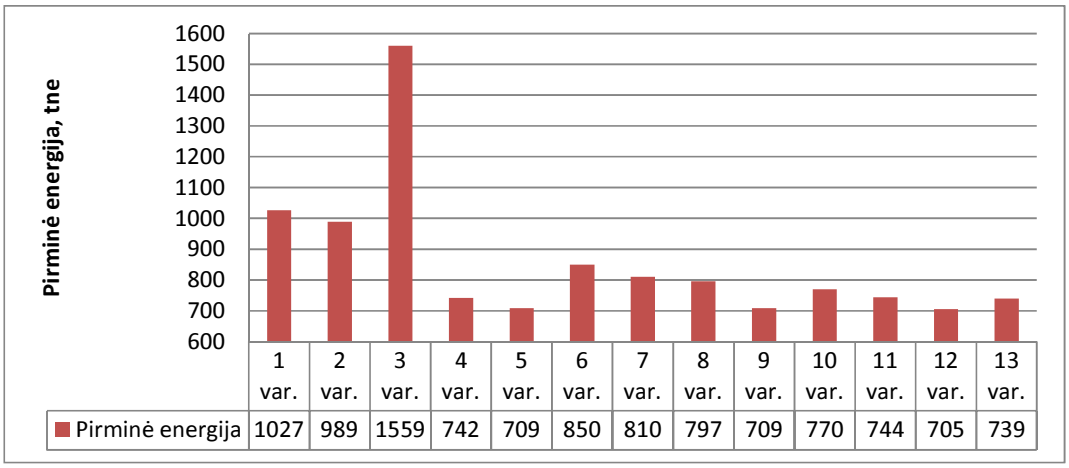
Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).



	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.	5 var.	6 var.	7 var.	8 var.	9 var.	10 var.	11 var.	12 var.	13 var.
Apšvietimas	226	226	1145	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226
Šildymas	611	576	50.18	279.17	259	373	340	313	259	277	269	256	266
Vėsinimas	189	186	364.39	236.91	224	251	244	258	224	267	248	223	247

43 pav. Pirminės energijos reikalingos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui palyginimas (1var.-13var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).



	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.	5 var.	6 var.	7 var.	8 var.	9 var.	10 var.	11 var.	12 var.	13 var.
Pirminė energija	1027	989	1559	742	709	850	810	797	709	770	744	705	739

44 pav. Pirminės energijos palyginimas (1var.-13var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.3* (5 lentelė).

8.6 KONSTRUKCINIAI MAZGAI

Magistrinio darbo prieduose yra nubraižyti penki brėžiniai su orientaciniais mazgais. Pirmuose trijuose brėžiniuose yra parodomi nagrinėjamų šiltnamių orientaciniai sprendimai. Konstruktyvas priimtas metalinės kolonos ir trikampė santvarinė sija iš stačiakampių vamzdinių profiliuočių, tarpusavyje sujungti nedidelių gabaritų stačiakampiais metaliniais vamzdžiais.

Pirmam brėžinyje pavaizduotas konstrukcinis sprendimas su dvigubu įstiklinimų ir panaudota aliuminio profilių (mažo šilumos laidumo) įstiklinimo sistema [22][23], kuri populiari gyvenamuose ir visuomeniniuose pastatuose. Taip pat naudojama ir žiemos sodams.

Antrajame brėžinyje pavaizduotas įstiklinimas iš polikarbonato plokščių. Ši medžiaga šiltnamiuose naudojama vis plačiau visame pasaulyje, dėl jos tinkamų savybių. Pastaraisiais metais pagerinta polikarbonato apsauga nuo saulės ultravioletinių spindulių leidžia pasiekti

didesni kaip 10 metų ilgaamžiškumą. Šis būdas dar gana naujas Lietuvoje, bet pasaulyje yra vienas pagrindinių šiltnamių stiklinimo būdų [20][21].

Trečiasis variantas pasirinktas, kai sienų šilumos perdavimo koeficientas mažas. Tai daugiasluoksnės „sandwitch“ tipo plokštės, naudojamos neįstiklintoms atitvaroms. Šiuo atveju pasiekiama didelė varža (200 mm šilumos perdavimo koeficientas 0,1 W/m^2 K). Parinkta Ruukki firmos daugiasluoksnės poliuretano užpildytos plokštės [24],[25].

Ketvirtas ir penktas brėžiniai analogiški, pateiktiems tipiniame projekte 810-95. Šis projektas rengtas, kai buvo mažai dėmesio skiriama energijos efektyvumui, todėl naudotas viengubas įstiklinimas [26].

8.7 EKONOMINĖ DALIS

Išnagrinėta trylika skirtingų konstrukcinių sprendimų, nustatyti energetiškai efektyviausi bei mažiausiai energetiškai efektyvūs. Tačiau, pramoniniai šiltnamiai yra dideli objektai, ir jų įrengimas ir statybos išlaidos yra didelės. Todėl būtina įvertinti nagrinėjamų šiltnamių konstrukcijų kainą.

PASTABA: Darbe nenagrinėjama mikroklimato palaikymo sistemų kaina, apšvietimo sistemos kaina. Vertinama tik konstrukcijų kaina. Įstiklinimo kaina vertinama, pagal įstiklinimo rūšį ir rinkoje esančių panašių gaminių kainą vienam m², ar m³. Šis baigiamasis darbas yra analitinis, ir skirtas geriausio konstrukcinio sprendimo paieškai, bei tokių sprendimų apžvalgai. Šiame darbe neruošiami tikslūs projektai, todėl tiksli projekto vertė nenustatyta. Kainos yra orientacinės.

Šilumos kaina skaičiavimui, priimama kai šilumos šaltinis yra nuosava katilinė, kurioje įrengtas dujinis katilas, ir kurio vidutinis efektyvumo koeficientas šildymo sezono metu lygus 0,90. Sezoninis kuro poreikis apskaičiuojamas:

$$\beta_{sez} = \frac{Q}{Q_z^n \cdot \varepsilon_{ks}} \qquad (26)$$

Čia:

Q- šilumos kiekis, kWh;

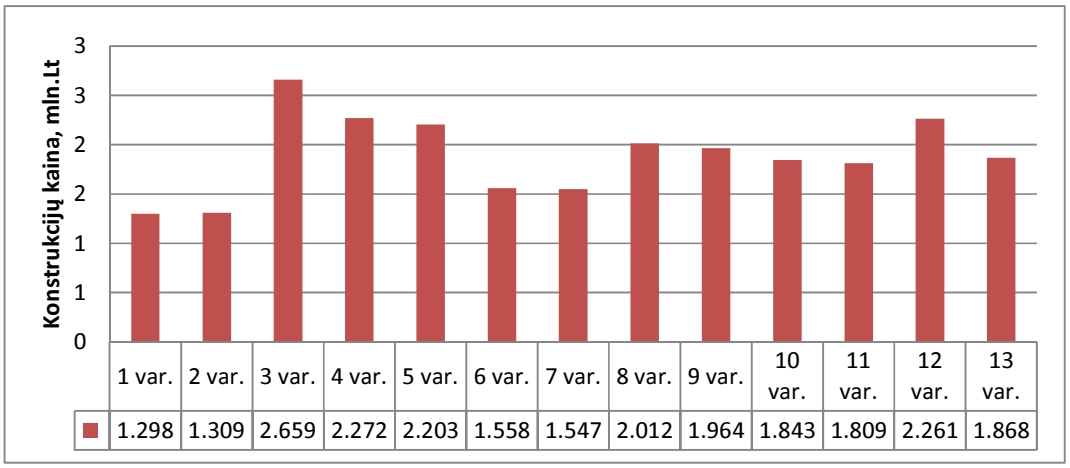
Q_z^n- kuro žemutinė degimo šiluma, kJ/n.m3;

ε_{ks}- sezoninis katilo efektyvumo koeficientas.

„Lietuvos dujų“ skelbiama dujų kaina yra 1,74 Lt/m3., elektros kaina 0,46 Lt/kWh. Apskaičiuotos išlaidos energijai pateiktos 47 pav. ir 46 pav ir priede Nr.5.

Priede Nr.6 pateikti konstrukcijų kainų skaičiavimai, prielaidos bei rezultatai. 45 pav. pateiktos kainos, kiek apytiksliai pinigų reikėtų investuoti į skirtingų šiltnamių konstrukcijas. Taigi, matyti, kad brangiausias šiltnamis būtų 3 variantas, kai atitvaros neįstiklintos, tačiau, buvo

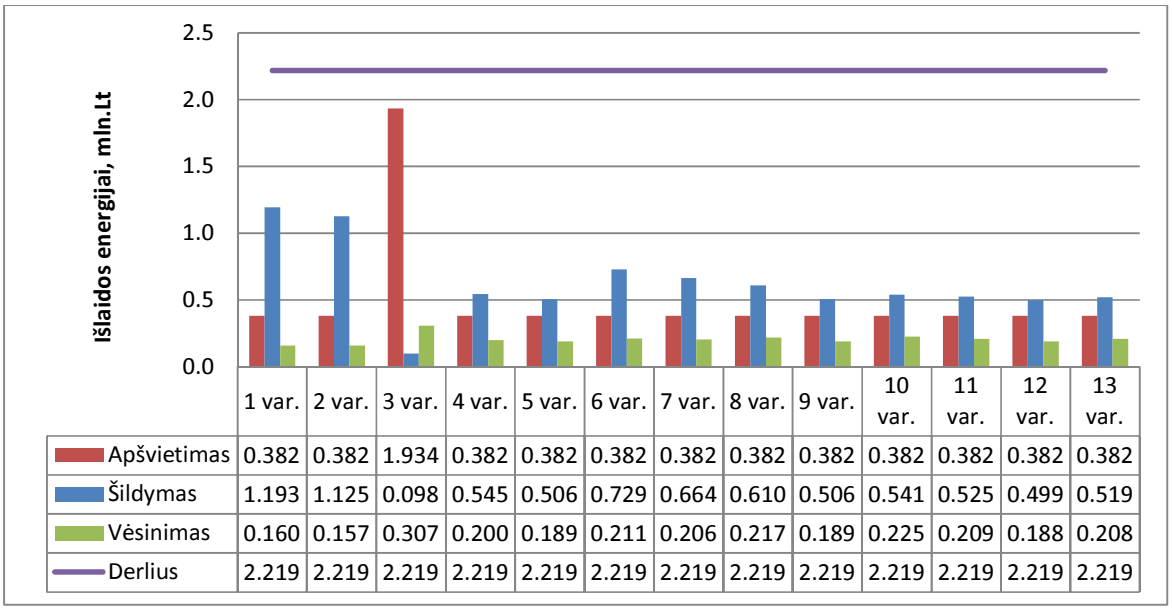
nuspręsta šio šiltnamio variantą atmesti, dėl didelių energijos poreikių. Šis variantas yra neparankus, nei energetiniu, nei ekonominiu požiūriu.



45 pav. Šiltnamio konstrukcijų kaina, skirtingiems variantams (1-13var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.5* (7 lentelė).

Mažiausios investicijos reikalingos į viengubu stiklu įstiklinus šiltnamius, 1 ir 2 variantas, tačiau šiais atvejais reikalingos didžiausios išlaidos energijai (47 pav.). Todėl sumažėja pelnas gaunamas užauginus derlių. 46 pav. ir 47 pav. mėlyna linija pažymėta, kiek pinigų gaunama už užaugintus agurkus (pasirinktą produkciją).



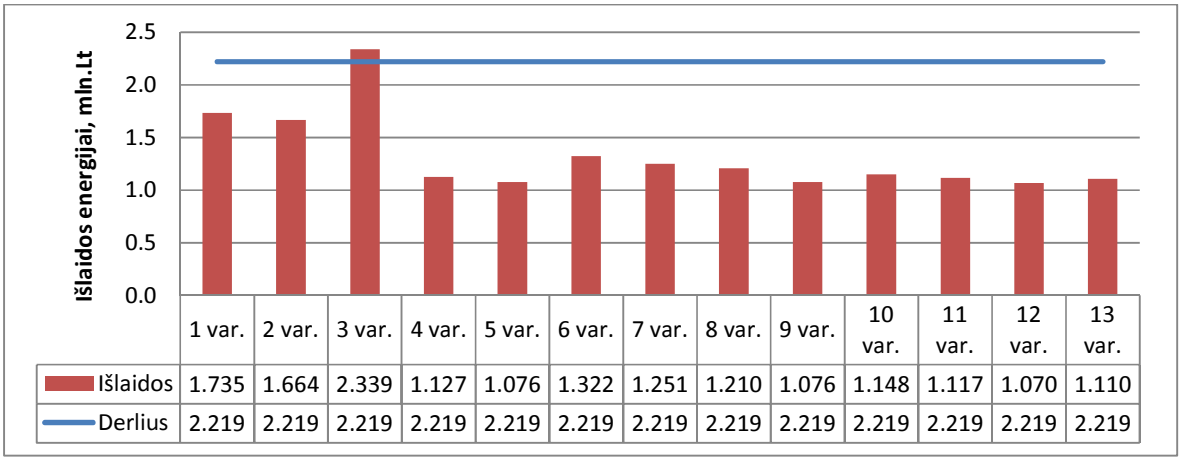
46 pav. Išlaidos šilimui, vėsinimui ir apšvietimui (1var.-13var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.5* (7 lentelė).

Tinkamomis mikroklimato sąlygomis šiltnamyje užauga apie 45 kg/m² agurkų per vienerius metus. Agurkų kaina nuolat kinta, todėl įvertinta vidutinė agurkų kaina 2011metai [3]. Ji lygi 4,93 Lt/kg. Kinta nuo 7 Lt/kg žiemos metu, iki 1 Lt/kg vasaros metu. Šiltnamyje kurio plotas 1 ha. Užauginama 450000 kg/metus agurkų. Jie parduodami už 2 218 500Lt. Ši kaina 46

pav. ir 47 pav. pažymėta vertikalia linija. Skirtumas tarp uždirbtų pinigų ir išlaidų energijai – gautas pelnas.

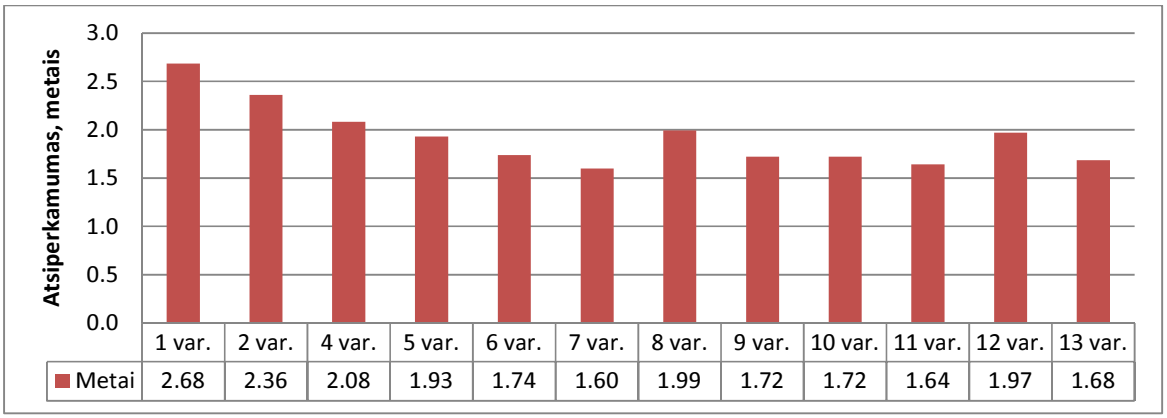
Tinkamiausio įstiklinimo bei konstrukcinio sprendimo paieškai nuspręsta įvertinti konstrukcinių sprendimų atsiperkamumą. Norint sužinoti per kiek metų atsipirks šiltnamis, skaičiuojamas paprastasis atsiperkamumo laikas: investicijų kainą padalinus iš per metus gaunamo derliaus kainos.



	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.	5 var.	6 var.	7 var.	8 var.	9 var.	10 var.	11 var.	12 var.	13 var.
Išlaidos	1.735	1.664	2.339	1.127	1.076	1.322	1.251	1.210	1.076	1.148	1.117	1.070	1.110
Derlius	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219	2.219

47 pav. Išlaidos energijai (1var.-13var.)

Rezultatai pateikti *Priede Nr.4* (6 lentelė).



	1 var.	2 var.	4 var.	5 var.	6 var.	7 var.	8 var.	9 var.	10 var.	11 var.	12 var.	13 var.
Metai	2.68	2.36	2.08	1.93	1.74	1.60	1.99	1.72	1.72	1.64	1.97	1.68

48 pav. Atsiperkamumas, metais. (Per kiek metų atsipirks konstrukcijų kainą, įvertinus išlaidas energijai, ir derlių)

48 pav. pateiktos atsiperkamumo metų skaičiavimo vertės. 3 var. šiltnamio investicijos yra neatsiperkančios, nes kaip matyti iš 47 pav. išlaidos energijai viršija gaunamas pajamas. Analizuojant 48 pav. matyti, kad visų šiltnamių modelių atsiperkamumo laikas svyruoja nuo 1,60m. iki 2,7m. ilgiausias atsiperkamumo laikas yra esant viengubo 6 mm. stiklo įstiklinimui, kaip šiltnamis visiškai įstiklintas 1var. ir 2var. kai šiltnamis iš dalies įstiklintas. Trumpiausias šiltnamio konstrukcijos atsiperkamumas 1,60 m. tai 7 variantas (dalinai įstiklintas šiltnamis), kai skaidrių atitvarų dvigubas stiklas yra neužpildomas dujomis. Šis variantas nebuvo pats

energetiškai efektyviausias, kaip matyti iš 47 pav., tačiau išlaidos tokių konstrukcijų išlaidos nėra didelės 45 pav.

Nedaug atsiperkamumas skiriasi šiltnamių įstiklintų polikarbonatu. 1,64 m. 11-tojo varianto ir 1,68 m. 13-tojo varianto. Abu šie variantai dalinai įstiklinti tokių pačių šiluminių savybių polikarbonato plokštėmis, tačiau 11-tajame variante neįstiklintos atitvaros – įprastos konstrukcijos, o 13-tame variante daugiasluoksnės „sandwich“ tipo.

Atlikus atsiperkamumo skaičiavimą matyti, kad ekonomiškiausi variantai, kai šiltnamis dalinai įstiklintas. Lyginant 45 pav. ir 48 pav. matyti, kaip didinant konstrukcijos kainą, didėja atsiperkamumas.

9. IŠVADOS

Šiame baigiamajame magistro darbe susipažinta su šiltnamio mikroklimatą užtikrinančiomis sistemomis ir mikroklimato parametrais. Prieš modeliuojant ar projektuojant tokios paskirties pastatus, būtina susipažinti su pagrindiniais agronomijos principais. To neįvertinus, energijos sąnaudų pobūdis būtų kitoks. Todėl sprendžiant projektavimo klausimus kultivacinės paskirties patalpoms, būtina bendradarbiauti įvairių krypčių specialistams – energetikams, agronomams, statybininkams ir kitiems.

Išnagrinėjus šiltnamių konstrukcinius sprendimus bei įvairius šiltnamių įstiklinimo variantus ir susipažinus su mikroklimato parametrų užtikrinimo sistemomis galima padaryti tokias pagrindines baigiamojo darbo išvadas:

1. Įvertinus sezoniškumo kaitą Lietuvoje, dirvožemių pasiskirstymą, išlaidas transportavimui. Nustatyta optimali vieta šiltnamių projektavimui – vidurio Lietuva.

2. Išnagrinėjus tris šiltnamių konstrukcijų variantus: stiklinis šiltnamis, dalinai įstiklintas ir be stiklinių aitvarų, atmesta šiltnamių be stiklų projektavimo idėja, nes šiuo atveju reikalinga apšvieta – 10000 lx., energijos pritekiai dėl apšvietimo 75 W/m², net ir šaltuoju metų laiku būtinas vėsinimas, nes apšvietimo šilumos pritekiai tokie dideli, kad reikia ne šildyti, o vėsinti patalpas.

3. Išanalizavus dviejų tipų šiltnamių (stiklinis šiltnamis ir dalinai įstiklintas) po keturis variantus nustatyta, kad mažiausias energetinis efektyvumas pasiekiamas, kai naudojamas dviejų stiklų įstiklinimas, o didžiausias energetinis efektyvumas, kai šiltnamis įstiklinamas – argono dujomis užpildytu dvigubu stiklo paketu; arba naudojamas trigubas stiklas, be dujų užpildymo. Energetiniu požiūriu „blogiausias ir geriausias“ variantas skiriasi 31 %, vertinant jų energijos poreikius šildymui.

4. Visais atvejais dalinai įstiklintame šiltnamyje šilumos poreikiai yra mažesni, nei visiškai įstiklintame, todėl palyginti keli neįstiklintų atitvarų variantai, pakeičiant atitvaras „sumuštinio“ (sandwich) tipo daugiasluoksnėmis plokštėmis. Nustatyta, jog keičiant neįstiklintų atitvarų varžą, energijos sąnaudos kinta nedaug, nes rezultatą nulemia dideli vertikalūs įstiklinimo plotai.

5. Įvertinus šiltnamių konstrukcijų atsipirkimo laiką, nustatyta, kad greičiausiai atsiperkantis konstrukcinis sprendimas yra dvigubas įstiklinimas, kai oro tarpas neužpildytas dujomis (1,6 metų). Nedaug skiriasi ir dalinai įstiklintas variantas su polikarbonato plokštėmis. Šiltnamis įstiklintas viengubu stiklu atsipirktų per ilgiausią laiką, t.y. 2,7 metus.

10. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Pr. Svetika, M. Baranauskienė. Lauko ir šiltadaržių daržininkystė, Vilnius: Mokslas 1983, 277p.
2. Pr. Svetika, M. Baranauskienė. Daržininkystė, Vilnius: Mokslas 1986, 237p.
3. P. Bluzmanas, S. Borusas, J. Dagys ir kt. Augalų fiziologija. Vilnius: Mokslas, 1991. 419p.
4. V. Šlapakauskas, G. Aniulytė, A. Dastikaitė ir kt. Botanika ir mikrobiologijos pagrindai. Vilnius: Mokslas, 1980. 303p.
5. J. Rugytė, I. Andriuškevičienė. Gėlės šiltnamiuose. Vilnius: Spauda, 1991. 239p.
6. В.И.Бодров, М.В.Бод ров, Е.Г.Ионычев, М.Н.Кучеренко „МИКРОКЛИМАТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ“ ННГАСУ, 2008.
7. A. Balandis, R. Kaminskas, G. Vaickelionis. Statybinių medžiagų chemija. I dalis. Silikatų ir stiklo chemija. Kaunas: Technologija. 2006. 204p.
8. Mariaus Bružo magistrinis darbas „Šiltnamio kultivacinių patalpų mikroklimato automatizavimo galimybės” Vilnius: VGTU, 2003.
9. Valstybinis žemėtvarkos institutas. Žemėtvarkos darbai. Vilnius, 2006.158p.
10. L.Kulienė, J.Tomkus. Bendroji fonologija. Vilnius:Mokslas 1990, 159p.
11. Lietuvos žemės ūkis. Valstybinis leidybos centras, Vilnius 1995, 167p.
12. Statybinė klimatologija RSN 156-94, 1995m;
13. Energy efficiency in Buildings. CIBSE Guide F; 2004;
14. Statybos techninis reglamentas STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui“.
15. Both, A. 2000. *Some Thoughts on Supplemental Lighting for Greenhouse Crop Production* [interaktyvus]. New Brunswick. [žiūrėta 2012 m. vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://aesop.rutgers.edu/~horteng/ppt/papers/SUPPLIGHTINGPAPER.PDF>.
16. Dickersom, W. 1996 Greenhouse Vegetable Production [interaktyvus]. New Mexico. [žiūrėta 2012 m. vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://aces.nmsu.edu/pubs/_circulars/circ556.pdf>.
17. N.I. Kurdiumovas, K.G.Malyševskis. Protingas šiltnamis. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://gardenis.eu/site/files/Failai/protingas_siltnamis.pdf

18. J. Jankauskienė. Augalų tręšimas anglies dvideginiu. Mano ūkis 2007/7. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.manoukis.lt/print_forms/print_st_z.php?s=1315&z=63
19. Ab Alfaintek Oy. CO2 production. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.alfaintek.eu/en/production/industrial-solutions/co2-generator
20. Tuplex katalogas ir polikarbonato montavimo instrukcija [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.tuplex.lt/lt/st_1.htm
21. Polikarbonato aprašymai, montavimo instrukcija. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: https://www.sundancesupply.com/index2.html
22. Aliuminio stiklo konstrukcijų pavyzdiniai brėžiniai. Brošiūros, katalogai. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.schueco.com/web/lt/partner/fassaden/brochures/aliuminis/fasadai_ir_stiklinai_stogai
23. Aliuminio stiklo konstrukcijų pavyzdiniai brėžiniai. Brošiūros, katalogai. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.schueco.com/web/lt/partner/fassaden/brochures/aliuminis/ziemos_sodai
24. Daugiasluoksnių plokščių informacija, parametrai. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.ruukki.lt/Produktai-ir-paslaugos/Statybai/Daugiasluoksnes-plokstes/Energy-sandwich-panels-for-external-walls/Daugiasluoksnes-plokstes-SP2E-PU-AIR#tab4
25. Daugiasluoksnių plokščių montavimo ir projektavimo pavyzdžiai ir nurodymai. [žiūrėta 2012 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.ruukki.com/Products-and-solutions/Building-solutions/Detail-drawings-and-design-tools
26. Tipinis projektas 810-95. Šiltnamių konstrukciniai mazgai.
27. Onder Ozgener, Arif Hepbasli „Saulės ir grunto - vandens šilumos siurblio, šiltnamio šildymo sistemos, eksperimentinis tyrimas" ("Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study") . //Building and environment. 2005
28. S. Kurpaska; Z. Slipek; B. Bozek; J. Fraczek „Modeliavimas šilumos ir drėgmės, šildymui šiltnamio substrato ,naudojant požeminius vamzdžius."("Simulation of Heat

and Moisture Transfer in the Greenhouse Substrate due to a Heating System by Buried Pipes"). // Biosystems Engineering. 2004

29. C. Kittas, T. Bartzanas „Šiltnamių mikroklimato efekyvumas priklausomai nuo skirtingų ventiliatoriaus configuracijų" ("Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations"). // Building and environment. 2007
30. A. Ganguly, S. Ghosh „Modeliavimas ir analizė, natūralaus ir mechaninio vėdinimo sutapdinimo, šiltnamyje." (Modeling and analysis of a fan–pad ventilated floricultural greenhouse).// Energy and Buildings. 2007

KITI ŠALTINIAI:

1. Pokalbis su doc., dr. Bronislavu Narbučiu,.
2. Pokalbis su ūkininku Algimantu Žemaičiu.

PRIEDAI

Priedas Nr.1

3 lentelė. Šildymo sistemos galingumai, gauti kompiuteriniu ir analitiniu būdu

Nr.	Šiltnamio aprašymas	Kompiuteriniu skaičiavimu gauta galia, kW	Analitiniu skaičiavimu gauta galia, kW	Paklaida, %
1 variantas	Viengubas + stiklinis	5428	5267	3.0
2 variantas	Viengubas + dalinai stiklinis	5065	5005	1.2
3 variantas	Plytinis	1067	1030	3.5
4 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+stiklinis	1875	2359	20.5
5 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+dalinai stiklinis	1665	1703	2.2
6 variantas	Dvigubas stiklas + oras +stiklinis	2642	2699	2.1
7 variantas	Dvigubas stiklas + oras +dalinai stiklinis	2177	2119	2.7
8 variantas	Trigubas stiklas +oras +stiklinis	1927	2438	21.0
9 variantas	Trigubas stiklas +oras +dainai stiklinis	1778	1800	1.2
10 variantas	Polikarbonatas + stiklinis	1903	2415	21.2
11 variantas	Polikarbonatas+ dalinai stiklinis	1740	1772	1.8
12 variantas	"Sumuštinis" + argonas + dalinai	1656	1693	2.2
13 variantas	"Sumuštinis" + Polikarbonatas + dalinai	1731	1762	1.8

Priedas Nr.2

4 lentelė. Galios skaičiavimo dedamosios, kW

Nr.	Šiltnamio aprašymas	Kompiuterinis skaičiavimas						Analitinis skaičiavimas				
		įstiklinimas, kW	sienos, kW	gruntas, kW	stogas, kW	infiltracija, kW	mechaninis vėdinimas, kW	įstiklinimas, kW	neįstiklintos atitvaros, kW	gruntas, kW	infiltracija, kW	mechaninis vėdinimas, kW
1 variantas	Viengubas + stiklinis	4994.7	0.04	57.0	4.03	373.22	0	4279.16	0	439.68	548.33	
2 variantas	Viengubas + dalinai stiklinis	4614.74	14	58.0	5.91	372.22	0	4002.25	14.93	439.68		
3 variantas	Plytinis	0	73.43	6.9	10.93	401.78	573.84	482				547
4 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+stiklinis	1348.69	0.04	66.6	4.32	456.16	0	1371	0	439.68		
5 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+dalinai stiklinis	1205.02	14.36	67.0	5.96	372.22	0	699.95	14.93	439.68		
6 variantas	Dvigubas stiklas + oras +stiklinis	2175.3	0.04	63.1	4.29	399.14	0	1710.58	0	439.68		
7 variantas	Dvigubas stiklas + oras +dalinai stiklinis	1773.36	14.33	64.6	6.15	319.05	0	1115.75	14.93	439.68		
8 variantas	Trigubas stiklas +oras +stiklinis	1314.35	0.04	66.9	4.32	541.69	0	1450.05	0	439.68		
9 variantas	Trigubas stiklas +oras +dainai stiklinis	1291.45	15.26	66.7	6.32	399.14	0	797.68	14.93	439.68		
10 variantas	Polikarbonatas + stiklinis	1433.96	0.04	66.0	4.31	399.14	0	1427.13	0	439.68		
11 variantas	Polikarbonatas+ dalinai stiklinis	1280.4	14.34	66.7	5.96	372.22	0	784.35	14.93	439.68		
12 variantas	Sumuštinis + argonas + dalinai	1205.09	6.11	67.1	5.97	372.22	0	699.95	4.98	439.68		
13 variantas	Sumuštinis + polikarbonatas + dalinai	1280.47	6.1	66.8	5.96	372.22	0	764.41	4.98	439.68		

Priedas Nr.3

5 lentelė. Šildymo, vėsinimo ir elektros (apšvietimui) poreikiai kW, ir pirminės energijos poreikiai, tne.

Nr.	Variantas	Šildymas, kWh	Pirminės energijos šildymui, tne	Vėsinimas, kWh	Pirminės energijos vėsinimui, tne	Elektra, apšvietimui	Pirminės energijos, apšvietimui, tne	Suminis pirminės energijos poreikis, tne
1 variantas	Viengubas + stiklinis	6397852	611.24	1387319	189.35	830448	226.10	**1026.69**
2 variantas	Viengubas + dalinai stiklinis	6031686	576.26	1365076	186.31	830448	226.10	**988.67**
3 variantas	Plytinis	525274	50.18	2669852	364.39	4204800	1144.82	**1559.39**
4 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+stiklinis	2922077	279.17	1735844	236.91	830448	226.10	**742.19**
5 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+dalinai stiklinis	2710154	258.92	1641773	224.07	830448	226.10	**709.10**
6 variantas	Dvigubas stiklas + oras +stiklinis	3906543	373.22	1838458	250.92	830448	226.10	**850.25**
7 variantas	Dvigubas stiklas + oras +dalinai stiklinis	3557993	339.92	1787569	243.97	830448	226.10	**810.00**
8 variantas	Trigubas stiklas +oras +stiklinis	3271839	312.59	1890166	257.98	830448	226.10	**796.66**
9 variantas	Trigubas stiklas +oras +dainai stiklinis	2710154	258.92	1641773	224.07	830448	226.10	**709.10**
10 variantas	Polikarbonatas + stiklinis	2898738	276.94	1955740	266.93	830448	226.10	**769.97**
11 variantas	Polikarbonatas+ dalinai stiklinis	2816001	269.04	1820112	248.42	830448	226.10	**743.55**
12 variantas	Sumuštinis + argonas + dalinai	2677841	255.84	1636521	223.36	830448	226.10	**705.30**
13 variantas	Sumuštinis + polikarbonatas + dalinai	2783795	265.96	1812640	247.40	830448	226.10	**739.46**

Priedas Nr.4

6 lentelė. Sunaudota energija ir jos kaina, skirtinguose šiltnamiuose

Nr.	Variantas	Šildymas, kWh	Kaina Lt/metus	Vėsinimas, kWh	Kaina Lt/metus	Elektra, apšvietimui, kWh	Kaina Lt/metus	Suma mln.Lt/metus
1 variantas	Viengubas + stiklinis	6397852	1193394	693660	159542	830448	382006	**1.7349**
2 variantas	Viengubas + dalinai stiklinis	6031686	1125093	682538	156984	830448	382006	**1.6641**
3 variantas	Plytinis	525274	97980	1334926	307033	4204800	1934208	**2.3392**
4 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+stiklinis	2922077	545056	867922	199622	830448	382006	**1.1267**
5 variantas	Dvigubas stiklas + Argonas+dalinai stiklinis	2710154	505526	820887	188804	830448	382006	**1.0763**
6 variantas	Dvigubas stiklas + oras +stiklinis	3906543	728689	919229	211423	830448	382006	**1.3221**
7 variantas	Dvigubas stiklas + oras +dalinai stiklinis	3557993	663674	893785	205570	830448	382006	**1.2513**
8 variantas	Trigubas stiklas +oras +stiklinis	3271839	610297	945083	217369	830448	382006	**1.2097**
9 variantas	Trigubas stiklas +oras +dainai stiklinis	2710154	505526	820887	188804	830448	382006	**1.0763**
10 variantas	Polikarbonatas + stiklinis	2898738	540703	977870	224910	830448	382006	**1.1476**
11 variantas	Polikarbonatas+ dalinai stiklinis	2816001	525270	910056	209313	830448	382006	**1.1166**
12 variantas	Sumuštinis + argonas + dalinai	2677841	499499	818261	188200	830448	382006	**1.0697**
13 variantas	Sumuštinis + polikarbonatas + dalinai	2783795	519262	906320	208454	830448	382006	**1.1097**

7 lentelė. Konstrukcijų kainos skaičiavimas ir prielaidos

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
1.variantas	Stiklas 6mm.	12980	25	324500
	Konstrukcija			649000
	Žemės darbai			324500
			suma	1298000
			1.298	**mln.**

1 varianto prielaidos:

1. Konstrukcijos kainuoja dvigubai daugiau nei stiklas. Konstrukcijos, tai tvirtinimo elementai, kolonos, kiti konstrukciniai elementai.

2. Žemės darbų vertė, tai pusė konstrukcijų vertės.

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
2.variantas	Stiklas 6mm.	11921	25	298025
	Konstrukcija			596050
	Žemės darbai			324500
	Neįstiklintos atitvaros	1059	85	90015
			suma	**1308590**
			1.309	**mln.**

2 varianto prielaidos:

1. Konstrukcijos kainuoja dvigubai daugiau nei stiklas. Konstrukcijos, tai tvirtinimo elementai, kolonos, kiti konstrukciniai elementai.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
3variantas	Sienos	4200	85	357000
	Perdangos	11000	120	1320000
	Konstrukcija			680000
	Pamatai			102000
	Stogas	1000	200	200000
			suma	**2659000**
			2.659	**mln.**

3 varianto prielaidos:

1. Konstrukcijos tai sijos, kolonos, pamatai (karkasinio namo principas).

2. Pamatai sudaro 15 % konstruktyvo kainos

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
4 variantas	Argonu užpildytas, stiklo paketas	12980	100	1298000
	Konstrukcija			649000
	Žemės darbai			324500
			suma	**2271500**
			2.272	**mln.**

4 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 1 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

7 lentelės tęsinys. Konstrukcijų kainos skaičiavimas ir prielaidos

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
5.variantas	Argonu užpildytas, stiklo paketas	11921	100	1192100
	Konstrukcija			596050
	Žemės darbai			324500
	Neįstiklintos atitvaros	1059	85	90015
			suma	**2202665**
			2.203	**mln.**

5 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 2 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
6.variantas	Dvigubas įstiklinimas	12980	45	584100
	Konstrukcija			649000
	Žemės darbai			324500
			suma	**1557600**
			1.558	**mln.**

6 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 1 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
7.variantas	Dvigubas įstiklinimas	11921	45	536445
	Konstrukcija			596050
	Žemės darbai			324500
	Neįstiklintos atitvaros	1059	85	90015
			suma	**1547010**
			1.547	**mln.**

7 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 2 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
8.variantas	Trigubas įstiklinimas	12980	80	1038400
	Konstrukcija			649000
	Žemės darbai			324500
			suma	**2011900**
			2.012	**mln.**

8 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 1 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

7 lentelės tęsinys. Konstrukcijų kainos skaičiavimas ir prielaidos

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
9 variantas	Trigubas įstiklinimas	11921	80	953680
	Konstrukcija			596050
	Žemės darbai			324500
	Neįstiklintos atitvaros	1059	85	90015
			suma	**1964245**
			1.964	**mln.**

9 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 2 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
10 variantas	Polikarbonatas	12980	87	1129260
	Konstrukcija			389400
	Žemės darbai			324500
			suma	**1843160**
			1.843	**mln.**

10 varianto prielaidos:

1. Konstrukcijų vertė yra 60% pirmojo varianto konstrukcijų vertės

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
11 variantas	Polikarbonatas	11921	87	1037127
	Konstrukcija			357630
	Žemės darbai			324500
	Neįstiklintos atitvaros	1059	85	90015
			suma	**1809272**
			1.809	**mln.**

11 varianto prielaidos:

1. Konstrukcijų vertė yra 60% antrojo varianto konstrukcijų vertės

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
12 variantas	Argonu užpildytas, stiklo paketas	11921	100	1192100
	Konstrukcija			596050
	Žemės darbai			324500
	Daugiasluoksnės plokštės	1059	140	148260
			suma	**2260910**
			2.261	**mln.**

12 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 2 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

7 lentelės tęsinys. Konstrukcijų kainos skaičiavimas ir prielaidos

Varianto Nr.	Rūšis	Plotas	Kaina Lt/m2	Kaina
13 variantas	Polikarbonatas	11921	87	1037127
	Konstrukcija			357630
	Žemės darbai			324500
	Daugiasluoksnės plokštės	1059	140	148260
			suma	**1867517**
			1.868	**mln.**

13 varianto prielaidos:

1. Konstrukcija kainuoja kiek ir 2 variante.

2. Žemės darbų vertė, tokia pat kaip pirmojo varianto

ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS

Rasa Vitkauskaitė[1], Sabina Paulauskaitė[2]
[1]magistrantė, [2]docentė.
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
el. p. [1]rasa.vitkauskaite@gmail.com; [2]sabina.paulauskaite@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjama šiltnamio konstrukcinių sprendimų šilumos poreikiams įtaka. Analizuoti atvejai: stiklinis šiltnamis, šiltnamis įstiklintu stogu ir šiltnamis be stiklinių atitvarų. Nustatyta ir palyginta, kaip skiriasi energijos poreikiai šildymui ir dirbtiniam apšvietimui esant skirtingiems konstrukciniams sprendimams. Nagrinėtas energijos poreikis esant skirtingoms atitvarų šiluminėms savybėms. Atlikti ir palyginti analitinių ir kompiuterine programa *DesignBuilder* gauti skaičiavimo rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: šiltnamių konstrukciniai sprendimai, energijos sąnaudos, aitvarų šiluminės savybės, *DesignBuilder*.

Įvadas

Mažo šiluminio inertiškumo pastatai išsiskiria dideliu energijos suvartojimu šildymui bei vėsinimui. Įprasta manyti – kuo daugiau pastato atitvarų yra įstiklinta, tuo mažesnis energetinis efektyvumas gali būti pasiektas jame. Atskiras stiklinio pastato atvejis – šiltnamis. Tai ištisus metus daug energijos sąnaudų reikalaujantis pastatas: šaltuoju metų laiku juos reikia šildyti, šiltuoju – vėsinti, vėdinti. Įstiklintų paviršių įtaką energijos suvartojimui pastatuose, skirtuose žmogaus poreikiams tenkinti, nagrinėjo ne vienas autorius. Tačiau šiltnamiuose energijos sąnaudų pobūdis skiriasi, palyginti su administraciniais ar gyvenamaisiais pastatais, dėl mikroklimato parametrų specifikos. Jų, priklausomai nuo auginamos produkcijos rūšies, reikia užtikrinti net trylika (Rugytė 1991; Šlapakauskas 1980), kai tuo tarpu žmonėms pritaikytuose pastatuose tik tris: temperatūrą, oro judėjimo greitį ir drėgmę.

Straipsnyje išskirtinis dėmesys skiriamas šilumos, vėsos bei dirbtinio apšvietimo sunaudojamam energijos kiekiui. Šilumos režimų pobūdis šiltnamiuose ir žmonėms pritaikytuose pastatuose ypač skiriasi. Čia didelę reikšmę energijos sąnaudoms sudaro reikiamo apšvietimo ir drėgmės režimo palaikymas.

Lietuvoje atskirų standartų, pritaikytų šiltnamių skaičiavimui, nėra, todėl vadovautasi užsienio literatūroje pateikiamomis skaičiavimo metodikomis. Atlikti ir palyginti analitinių ir kompiuterine programa *DesignBuilder* gauti skaičiavimo rezultatai.

Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – skirtingos konstrukcijos šiltnamiai, kurių plotas 1ha. Skaičiavimuose priimta prielaida, kad šiltnamiai yra vidurio Lietuvoje, skaičiuotinos lauko oro temperatūros šaltuoju metų laiku -22ºC, šiltuoju 24,2 ºC (RSN 156-94; 1995). Priimta prielaida, kad šiltnamyje auginama produkcija – agurkai, todėl reikalingi užtikrinti pagrindiniai parametrai yra tokie: kultivacinių patalpų oro temperatūra 24–28 ºC dieną, ir 18–20 ºC naktį; santykinė oro drėgmė 80–90 % (Dickersom 1996). Reikalinga minimali apšvieta – 10000 lx. Palyginti keli konstrukciniai sprendimai: šiltnamis be langų, stiklinis šiltnamis ir iš dalies įstiklintas šiltnamis, kurių pagrindinės charakteristikos tokios:

- šiltnamis be stiklinių atitvarų. Bendras plotas 10000 m². Pasirinktas neįprastas sprendimas – dešimties aukštų šiltnamis, stačiakampio gretasienio formos (50 x 20 x 35 m). Sienų šilumos perdavimo koeficientas $U = 0{,}35 W/(m^2 K)$. Šiuo atveju pastate būtinas dirbtinis apšvietimas;
- stiklinis blokinis šiltnamis šlaitiniais stogais. Tai vieno aukšto įprastos konstrukcijos šiltnamis, kurio išoriniai matmenys 140 x 71 m, vidutinis aukštis 3,5 m;
- šiltnamis įstiklintu stogu. Pasirinktas konstrukcinis sprendimas, panašus į prieš tai minėtą, tik šiuo atveju vertikaliosios atitvaros nėra įstiklintos, stogas (šlaitai) įstiklintas. Šiam variantui palyginti papildomai 4 įstiklinimo atvejai su skirtingomis šiluminėmis charakteristikomis.

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

Tyrimo metodika

Stiklinių šiltnamių šilumos poreikiams apskaičiuoti buvo remtasi metodika šiltnamių skaičiavimui (Бодров 2008).

Šiltnamio šildymo sistemos galia nustatoma iš šiluminio balanso lygties:

$$Q = \Sigma Q_a + Q_g + Q_{in} \quad (1)$$

čia: ΣQ_a – šilumos srautas šiltnamyje dėl nuostolių per išorines atitvaras; Q_g – šilumos srautas į gruntą; Q_{in} – šilumos srautas dėl infiltracijos ir natūralaus vėdinimo.

Šilumos nuostoliai per išorines atitvaras, lygūs sumai nuostolių per vertikaliąsias atitvaras ir šlaitus:

$$\Sigma Q_a = Q_v + Q_{st} \quad (2)$$

Šilumos srautas per vertikaliąsias atitvaras – tai apatiniosios ir viršutiniosios atitvarų dalies šilumos srautų suma:

$$Q_v = Q_{ad} + Q_{vd.} \quad (3)$$

čia: Q_{ad} -šilumos srautas per vertikaliąsias atitvaras, nuo dirvos paviršiaus iki šildymo prietaisų viršaus skaičiuojamas įvertinant šilumos srautą konvekcijos ir spinduliavimo būdu:

$$Q_{ad} = Q_{konvekcija} + Q_{spinduliavimo} \quad (4)$$

Šilumos nuostoliai į gruntą skaičiuojami pagal empirinę formulę:

$$Q_g = [32{,}8\lambda_d + 4{,}27 - (11{,}5\lambda_d + 2{,}9)] \cdot A \quad (5)$$

čia: λ_d –.grunto šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K); A – šiltnamio plotas, m².

Šilumos srautas dėl infiltracijos ir natūralaus vėdinimo:

$$Q_{in} = G_{\text{inf}} \cdot c(t_i - t_{iš}) \quad (6)$$

čia: G_{inf} – infiltruojamo oro kiekis, kg/h; c-oro savitoji šiluma, J/(kg·K)

Lietuvoje šiltnamių nuostolių skaičiavimas nėra reglamentuotas ir atskiros metodikos jų skaičiavimams nėra. Tačiau apskaičiavus šildymo sistemos galią pagal Lietuvoje galiojančius reglamentus (STR 2.09.04:2008), galutiniai rezultatai skiriasi 5–10 %, lyginant su anksčiau pateikta skaičiavimo metodika.

Šiltnamių dirbtinio apšvietimo skaičiavimas atliekamas remiantis metodu, pateiktu (CIBSE 2004):

$$E = \frac{F \cdot n \cdot N \cdot MF \cdot UF}{A} \quad (7)$$

čia: E – vidutinė reikalinga apšvieta, lx; F – pradinis lempos šviesos srautas, lm; n – lempų skaičius šviestuve; N – šviestuvų kiekis patalpoje; A – patalpos plotas, m² MF – atsargos koeficientas įvertinantis lempų keitimo ir šviestuvų valymo periodiškumą; UF – šviestuvo panaudojimo koeficientas darbo paviršiaus atžvilgiu.

Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Analizuojant įvairios paskirties pastatus, matyti, kad didžiąją dalį energijos sąnaudų sudaro šildymas ir vėsinimas. Šilumos sąnaudos dažniausiai priklauso nuo atitvarų šiluminės varžos ir inertiškumo. Todėl, kaip buvo minėta, analizei pasirinkti keli šiltnamių konstrukcinių spendimų variantai:

1) šiltnamis be stiklinių atitvarų;
2) šiltnamis įstiklintu stogu;
3) stiklinis šiltnamis.

Iš pažiūros atrodytų, jog šiltnamyje be stiklų energijos sąnaudos mažiausios. Tai matyti iš šiluminės galios skaičiavimo rezultatų (1 pav.). Tačiau, nagrinėjant kultivacinių patalpų energijos sąnaudas, būtina apskaičiuoti ir dirbtiniam apšvietimui reikalingos energijos kiekį bei įvertinti šilumos pritekius.

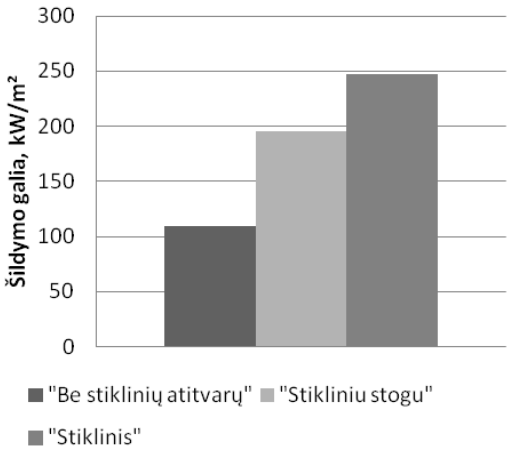
Analizuojant šiltnamio be stiklų variantą, reikalinga apšvieta – 10000 lx (Both, A. 2000). Verta paminėti, jog administraciniuose pastatuose reikalinga apšvieta – 300–500 lx. Taigi energijos poreikis, reikalingas augalų apšvietimui, yra 20 kartų didesnis, todėl ir apšvietimo įtaka pastato energijos suvartojimui yra gerokai didesnė. Skaičiavimams pasirinktos lempos HID High Pressure Sodium PHILIPS MASTER SON-T PIA+ 600W, skirtos šiltnamiams. Pradinis lempos šviesos srautas – 88000 lm. Naudojami šviestuvai HORTUS wide ORSe 600W. Skaičiavimuose įvertinta, kad atsargos koeficientas, įvertinantis lempų keitimo ir šviestuvų valymo periodiškumą, yra 0,8, o šviestuvo panaudojimo koeficientas darbo paviršiaus atžvilgiu lygus 0,9. Apskaičiavus šviestuvų skaičių (7 formulė), gauta, kad 1ha šiltnamyje be langų reikia 1600 vnt. šviestuvų, t. y. kiekviename aukšte po 160 vnt. Vienos lempos elektrinė galia – 600 W, pasirinktos HID didelio intensyvumo dujų išlydžio lempos, kurių efektyvumo koeficientas – 0,22, t. y. 78 % energijos paverčiama šiluma ir 22 % šviesa. Apskaičiuoti energijos pritėkiai dėl apšvietimo yra lygūs 75 W/m². Per parą apšvietimas įjungiamas dvylikai valandų, tiek reikia norint sėkmingai užauginti derlių.

Stikliniame šiltnamyje augalų priežiūrai ir produkcijos padidinimui rekomenduojama papildoma apšvieta – 2000 lx. Atlikus analogiškus skaičiavimus šilumos pritė-

kiai dėl dirbtinio apšvietimo stikliniuose šiltnamiuose yra 15 W/m². Tai yra penkis kartus mažiau, nei šiltnamyje be stiklinių atitvarų.

Iš dalies įstiklintame šiltnamyje, kai stogas šlaitinis ir stiklinis, reikalinga papildoma apšvieta – 2000 lx., t. y. tokia pat kaip ir stikliniame šiltnamyje, nes vertikaliosios atitvaros užtemdo nežymiai.

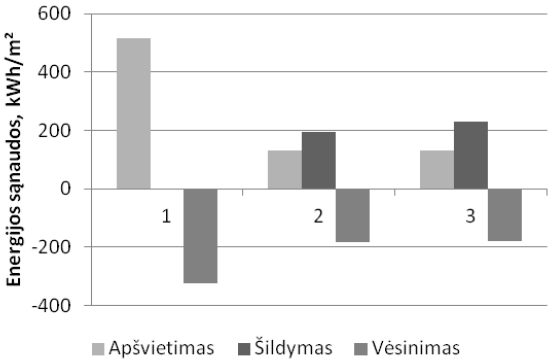
Sumodeliavus šiltnamius kompiuterine programa *DesignBuilder*, nubraižyti atitinkamų konstrukcijų pastatai, numatyti reikiami vidaus bei lauko oro parametrai ir gauta reikalinga šiltnamiuose šiluminė galia, energijos sąnaudos šildymui bei vėsinimui, šilumos pritėkiai dėl apšvietimo. Nustačius šildymo sistemos galią (1pav.), matyti, kad vienam kvadratiniam metrui stikliniame šiltnamyje reikalinga galia yra 21 % didesnė už šiltnamio su stikliniu stogu ir 56 % didesnė už šiltnamio be stiklinių atitvarų. Pastaruoju atveju, kai šiltnamis yra „be langų“, daugiau nei pusė šilumos reikia vėdinimo sistemos oro pašildymui, nes infiltracija ir natūralus vėdinimas artimi nuliui. Įvertinus tik šilumos nuostolius, šis variantas (šiltnamis be langų) būtų energetiškai efektyviausias.



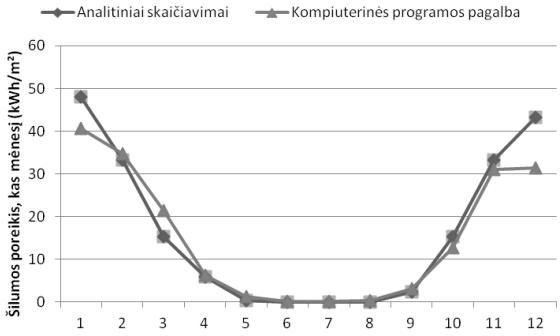
1 pav. Projektinė šildymo sistemos galia šiltnamiuose: be stiklų, įstiklintu stogu ir stikliniame

Nemažiau svarbu įvertinti energijos poreikius šiltnamių apšvietimui bei šilumos pritekius į patalpas. Išnagrinėjus šiltnamių apšvietimo specifiką ir įvertinus, kiek šilumos skleidžia lempos (2 pav.), matyti jog, esant pirmajam variantui, kai šiltnamis be langų, reikalingas toks apšvietimas, kad reikia ne šildyti, o tik vėsinti patalpas. Dirbtinio apšvietimo, kai pastatas be langų, skleidžiamos šilumos pritekiai yra daugiau kaip 500 kWh/m² per metus. Todėl akivaizdu, jog prielaida, kad efektyviausias energetiniu požiūriu yra pastatas be stiklų, šiuo atveju yra neteisinga. Tokio šiltnamio įrengimas kainuotų nepalyginti brangiau, o atsiperkamumas mažai tikėtinas.

Nagrinėjant kitus atvejus: stiklinį šiltnamį ir šiltnamį įstiklintu stogu, matyti, jog esant dirbtiniam apšvietimui (2000 lx.) šaltuoju metų laiku šiltnamyje reikiamą temperatūrą palaiko dvi sistemos: šildymo ir dirbtinio apšvietimo. Šiltuoju metų laiku šiuos šiltnamius reikia vėsinti, bet 43-44 % mažiau, nei šiltnamius be stiklų. Stiklinio šiltnamio šilumos poreikis yra 19 % didesnis nei šiltnamio įstiklintu stogu. Pastarojo šiltnamio vėsinimo poreikis yra 2 % didesnis už stiklinio, t. y. skirtumas labai nežymus. Varianto be stiklų vėsos poreikis patvirtina, jog prielaida, kad šiltnamis be stiklų energetiškai efektyviausias, neteisinga.



2 pav. Energijos sąnaudos apšvietimui, šildymui ir vėsinimui, 1ha. šiltnamiuose: 1 – be stiklų, 2 – įstiklintu stogu, 3 – stikliniame

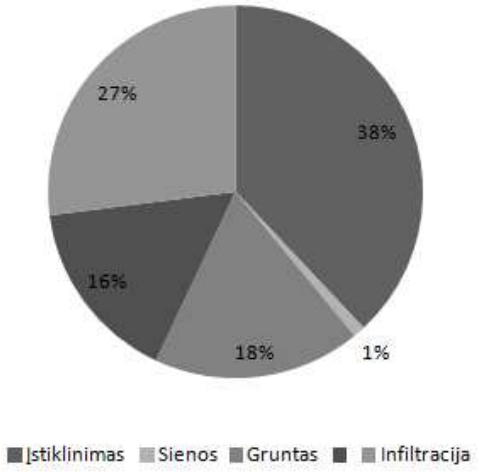


3 pav. Šilumos poreikio palyginimas, atlikus analitinius ir kompiuterinius skaičiavimus

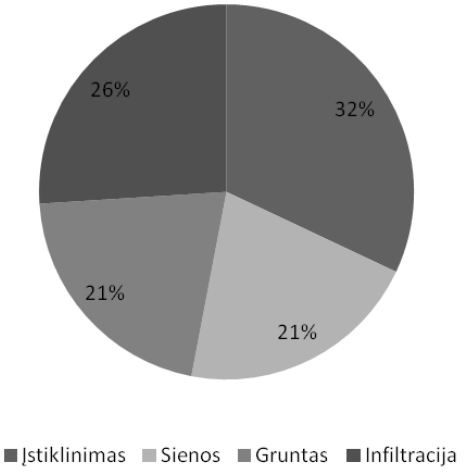
Nagrinėjant 2 pav. pateiktus rezultatus matyti, kad efektyviausias energetiniu požiūriu yra šiltnamis, kurio vertikaliosios atitvaros neįstiklintos, t. y. įstiklintas tik stogas. Detaliau nagrinėti šio varianto skaičiavimo rezultatai gauti, skaičiuojant analitiškai ir kompiuterine pro-

grama. 3 pav. pateiktas šilumos poreikio kitimas per metus. Matyti, kad galutiniai rezultatai skiriasi nedaug.

Kompiuteriniai skaičiavimai išskiria atskirą dedamąją – nuostolius dėl natūralaus vėdinimo, tuo tarpu analitiniai skaičiavimai vertina tik infiltraciją. Įstiklinimo, infiltracijos ir į gruntą nuostolių dalys šiuose skaičiavimuose skiriasi nedaug. Todėl galima manyti, jog didelė dalis nuostolių per sienas kompiuterinėje programoje priskiriama natūralaus vėdinimo daliai.



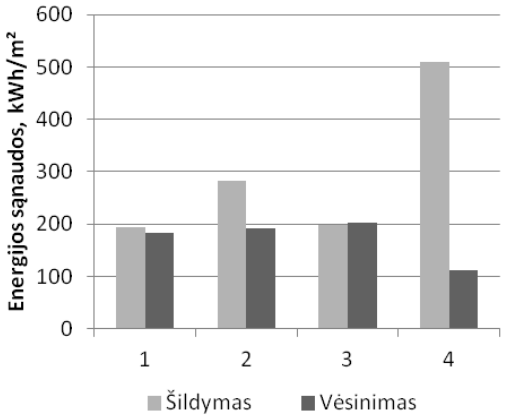
4 pav. Projektinio šildymo sistemos srauto pasiskirstymas dėl atskirų šilumos nuostolių rūšių pagal kompiuterinės programos *Design Builder* skaičiavimo rezultatus (šiltnamis iš dalies įstiklintas)



5 pav. Projektinio šildymo sistemos srauto pasiskirstymas dėl atskirų šiluminių nuostolių rūšių pagal analitinio skaičiavimo rezultatus (šiltnamis iš dalies įstiklintas)

Taip pat palygintos šilumos sąnaudos esant skirtingoms įstiklinimo charakteristikoms (6 pav.). Šiuo atveju pasirinkti iš dalies įstiklinto šiltnamio variantai:

1) dvigubas stiklas – 3 mm, oro tarpas 13 mm pripildomas argono dujų;
2) dvigubas stiklas – 3 mm ir 13 mm oro tarpas;
3) trigubas stiklas – 3 mm su dviem oro tarpais po 13mm.
4) Viengubas stiklas – 6 mm.



6 pav. Energijos sąnaudos šiltnamyje, kai keičiamos įstiklintų atitvarų savybės: 1. 3 mm stiklas+argono dujos+3 mm stiklas; 2. 3 mm stiklas +oras +3 mm stiklas; 3. 3 mm stiklas su dviem oro tarpais; 4. vieno sluoksnio 6 mm. stiklas

Matyti, kad didžiausios šilumos sąnaudos yra tuomet, kai šiltnamis yra įstiklintas viengubu stiklu, t. y. daugiau kaip 500 kWh/m², tačiau šiuo atveju energijos sąnaudos vėsinimui mažiausios, nes dėl mažo atitvarų inertiškumo šilumos sklidimo į lauką srautas žymiai didesnis tiek vasarą, tiek žiemą. Lyginant kitus įstiklinimo atvejus, matyti, kad vėsinimo poreikių kitimas yra labai nežymus. Mažiausiai šilumos reikia, esant dviejų stiklų įstiklinimui, kai oro tarpas tarp stiklų pripildytas argono dujomis. Tokio įstiklinimo atveju energijos sąnaudos šildymui sumažėja 32 %, lyginant su dviejų stiklų įstiklinimu, kai oro tarpas neužpildomas dujomis. Argonu užpildytas atitvaras lyginant su trijų stiklų įstiklinimu (su oro tarpais) skirtumas yra vos keli procentai, šilumos poreikis skiriasi 3 %. Esant 3. tipo įstiklinimui, šilumos sąnaudos sumažėja 30 %, lyginant su dvigubu įstiklinimu, su oro tarpu ir 60 % lyginant su viengubo stiklo įstiklinimu. Ekonomiškiausias sprendimas – trigubo įstiklinimo atitvaros su oro tarpais, kai pasirinktas variantas šiltnamis su įstiklintu stogu, nes argonu įstiklintos konstrukcijos gerokai brangesnės.

Išvados

1. Palyginus tris šiltnamių konstrukcinių sprendimų variantus galima teigti, kad investicijos į „šiltnamį be langų“ didelės, ir neatsiperkančios dėl penkis kartus padidėjusių sąnaudų apšvietimui, lyginant su stikliniu šiltnamiu.

2. Vertinant energijos suvartojimą šiltnamiuose šalia šildymo, vėsinimo poreikių būtina įvertinti sąnaudas apšvietimui. Šiltnamiuose be stiklinių atitvarų apšvietimo sąnaudos 5 kartus didesnės, todėl dėl didelių šilumos pritekių (kurie siekia 500 kWh/m² per metus) nereikalingas šildymas, o vėsinimo sąnaudos didesnės 43–44 % nei įstiklintuose šiltnamiuose.

3. Stiklinio šiltnamio šilumos poreikis yra 19 % didesnis, nei šiltnamio su įstiklintu stogu, o vėsinimo poreikis abiem atvejais nežymus. Todėl efektyviausias energetiniu požiūriu yra šiltnamis, kurio vertikaliosios atitvaros neįstiklintos, o stogas (šlaitai) įstiklintas.

4. Palyginus skirtingų šiluminių savybių įstiklinimo variantus šiltnamyje su įstiklintu stogu, nustatyta, kad dviejų stiklų argonu užpildytų atitvarų ir trijų stiklų įstiklinimo (su oro tarpais) variantų skirtumas yra keli procentai, todėl įvertinus tokios konstrukcijos kainą, ekonomiškiausias sprendimas – trigubo įstiklinimo atitvaros su oro tarpais. Esant tokiam įstiklinimui, šilumos sąnaudos sumažėja 30 %, lyginant su dvigubu įstiklinimu, su oro tarpu ir 60 % lyginant su viengubo stiklo įstiklinimu.

Literatūra

Energy efficiency in Buildings. CIBSE Guide F; 2004;

Both, A. 2000. *Some Thoughts on Supplemental Lighting for Greenhouse Crop Production* [interaktyvus]. New Brunswick. [žiūrėta 2012 m. vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://aesop.rutgers.edu/~horteng/ppt/papers/SUPPLIGHTINGPAPER.PDF>.

Dickersom, W. 1996 Greenhouse Vegetable Production [interaktyvus]. New Mexico. [žiūrėta 2012 m. vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://aces.nmsu.edu/pubs/_circulars/circ556.pdf>.

Rugytė,J; Andriuškevičienė,I. 1991. *Gėlės šiltnamiuose*. Vilnius: Spauda, 239p.

RSN 156-94 Statybinė klimatologija. Vilnius, 1995. 133 p.

STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui. . Vilnius, 2008.

Šlapakauskas,V; Aniulytė,G; Dastikaitė,A ir kt. 1980. *Botanika ir mikrobiologijos pagrindai.* Vilnius: Mokslas,. 303p.

Бодров, В; Бодров, М; Ионычев, Е; Кучеренко, М. *Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений.* Н.Новгород: ННГАСУ, 2008.

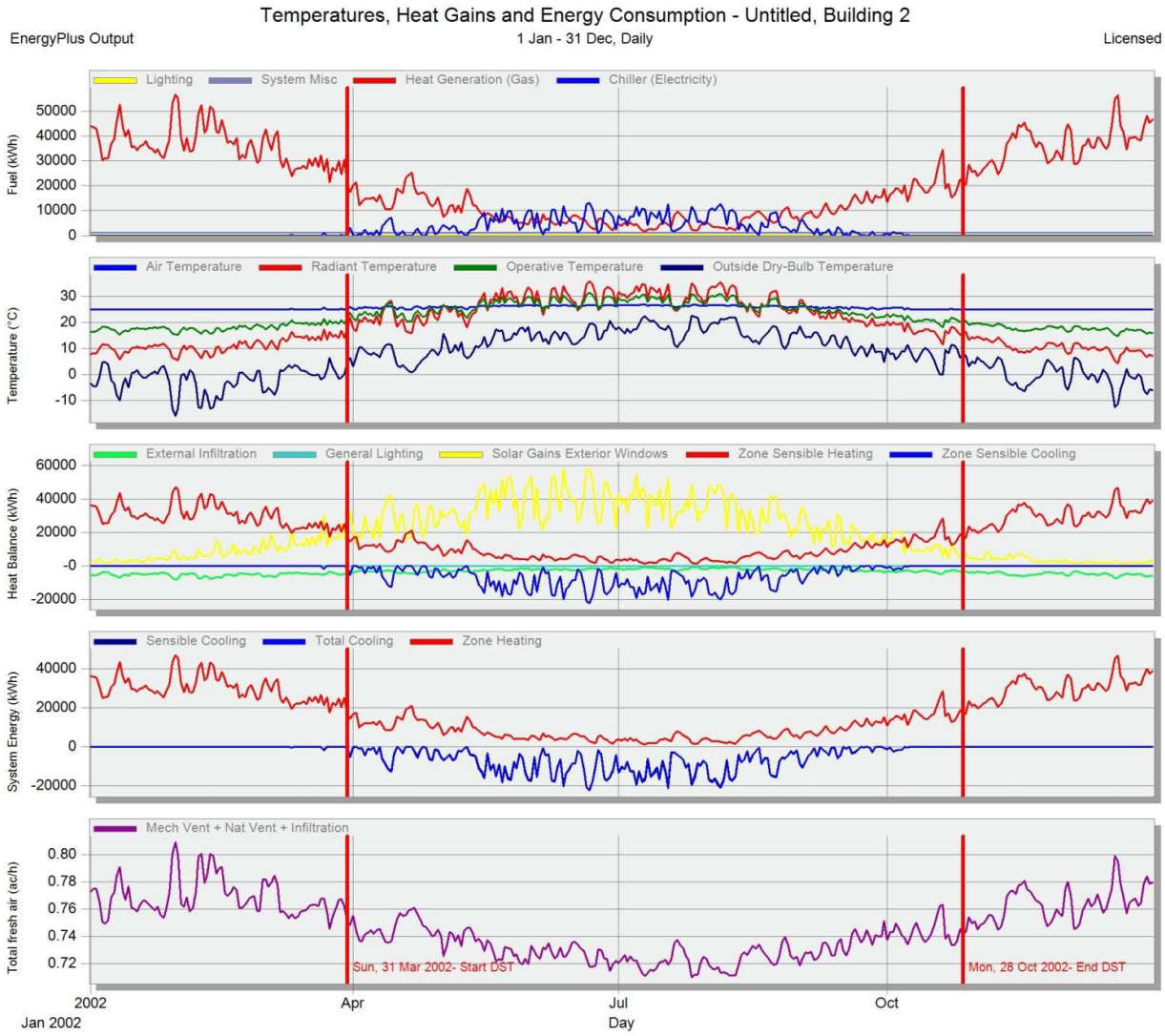
CONSTRUCTION SOLUTIONS IMPACT ON ENERGY DEMAND IN GREENHOUSES

R. Vitkauskaitė, S.Paulauskaitė

Summary

The article analyzes construction solutions impact on energy demand in greenhouses. Analyzed cases: glass greenhouse, greenhouse with glass roof and greenhouse without glazed partitions. In these various construction cases were determinated and compared energy demands for heating and artificial lighting. Also was evaluated impact of different wall constructions. Were accomplished and compared analytical calculation with computer programs DesignBuilder results.

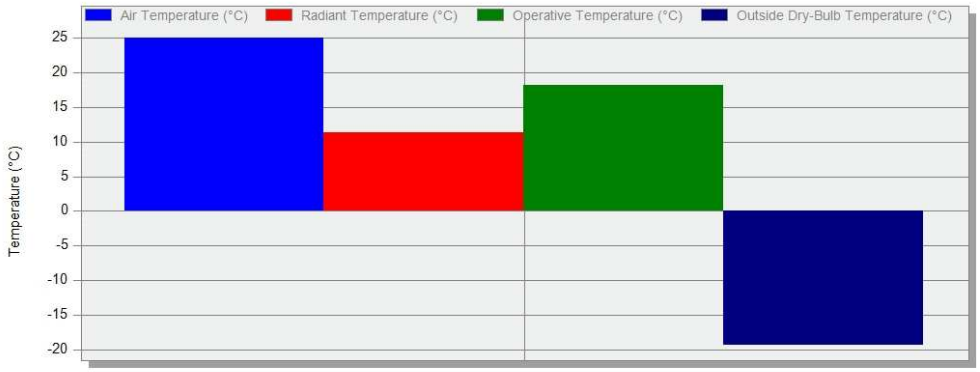
1 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.



1 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

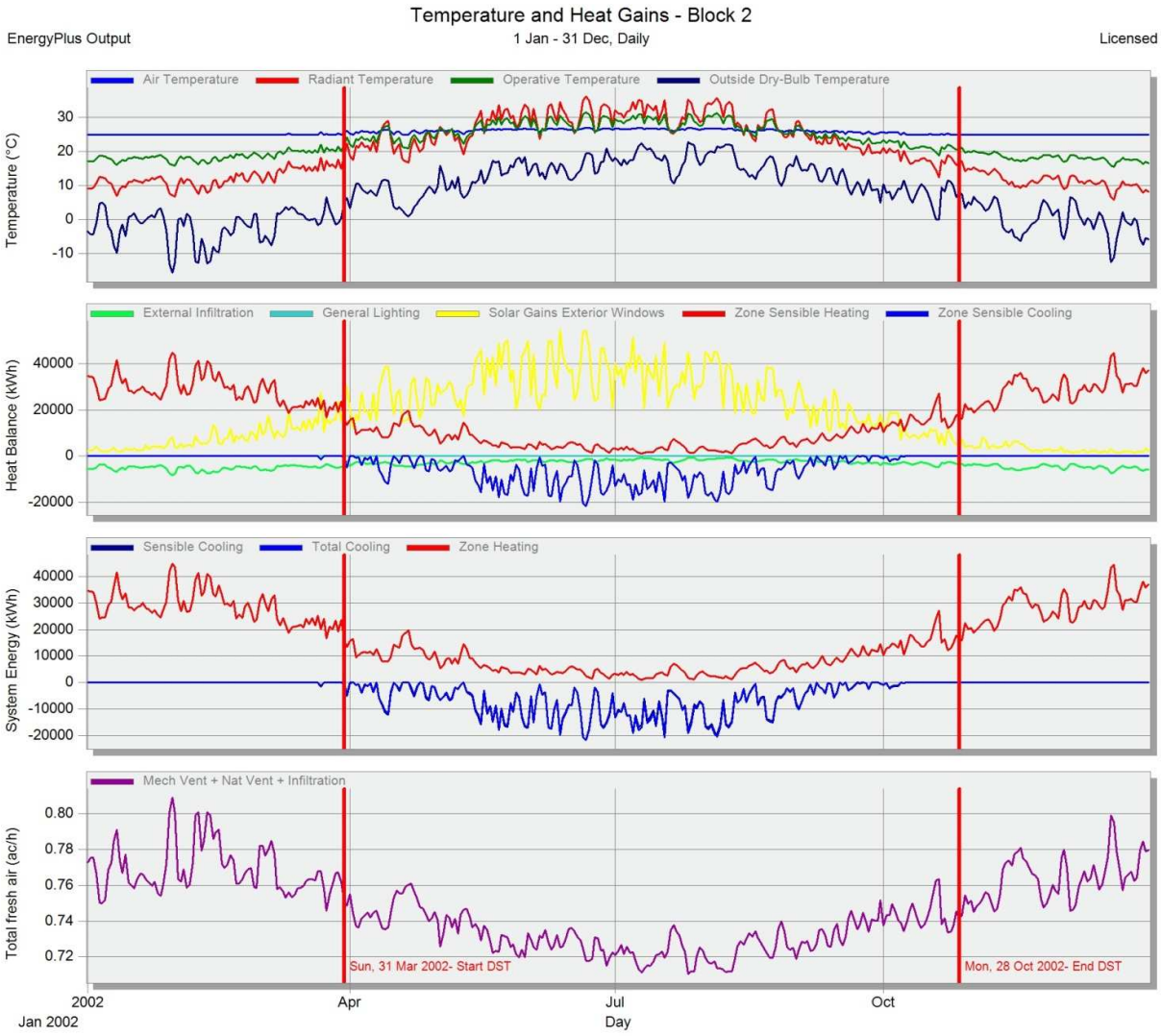
EnergyPlus Output Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	11.36
Operative Temperature (°C)	18.18
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Glazing (kW)	-4994.70
Walls (kW)	-0.04
Ground Floors (kW)	-56.56
Roofs (kW)	-4.03
External Infiltration (kW)	-372.22
Zone Sensible Heating (kW)	5427.63

2 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

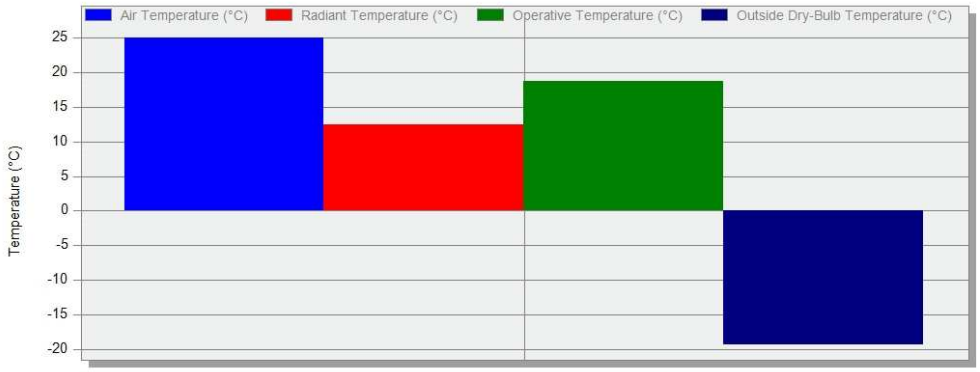


2 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

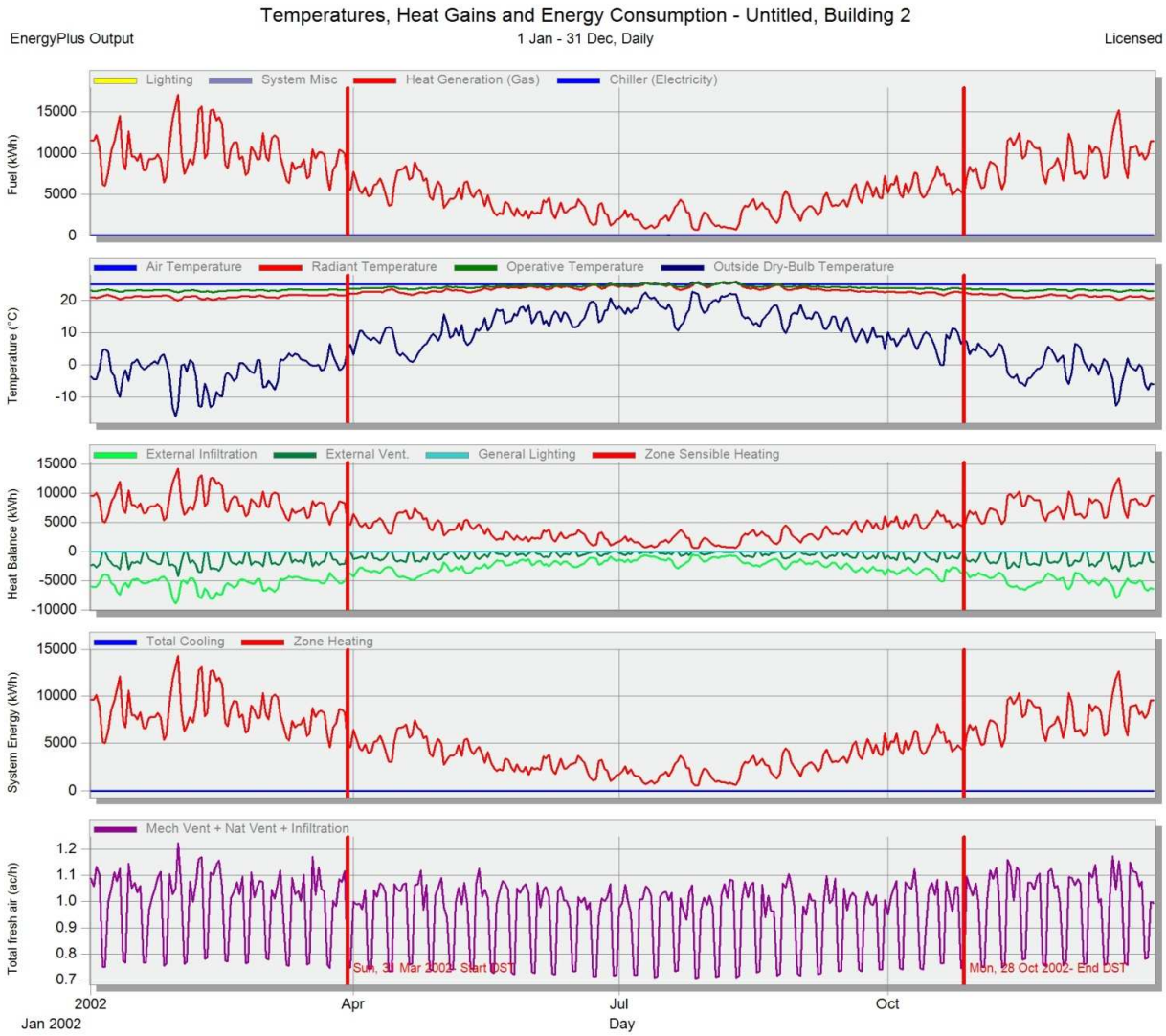
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	12.51
Operative Temperature (°C)	18.75
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Glazing (kW)	-4614.74
Walls (kW)	-14.00
Ground Floors (kW)	-57.96
Roofs (kW)	-5.91
External Infiltration (kW)	-372.22
Zone Sensible Heating (kW)	5064.79

3 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

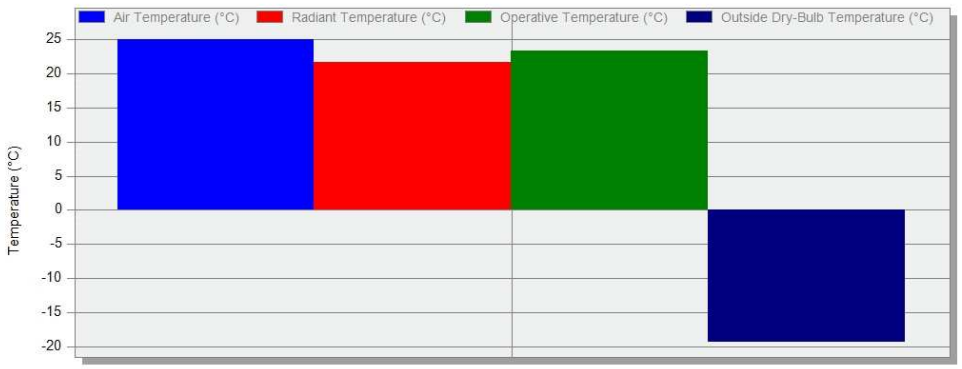


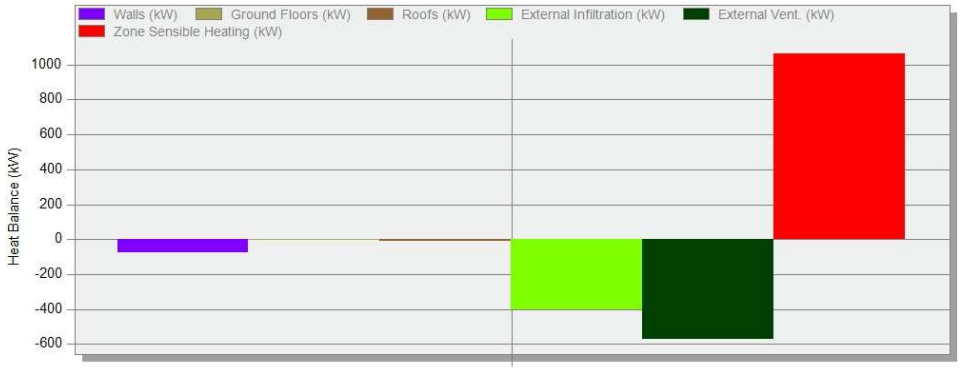
3 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

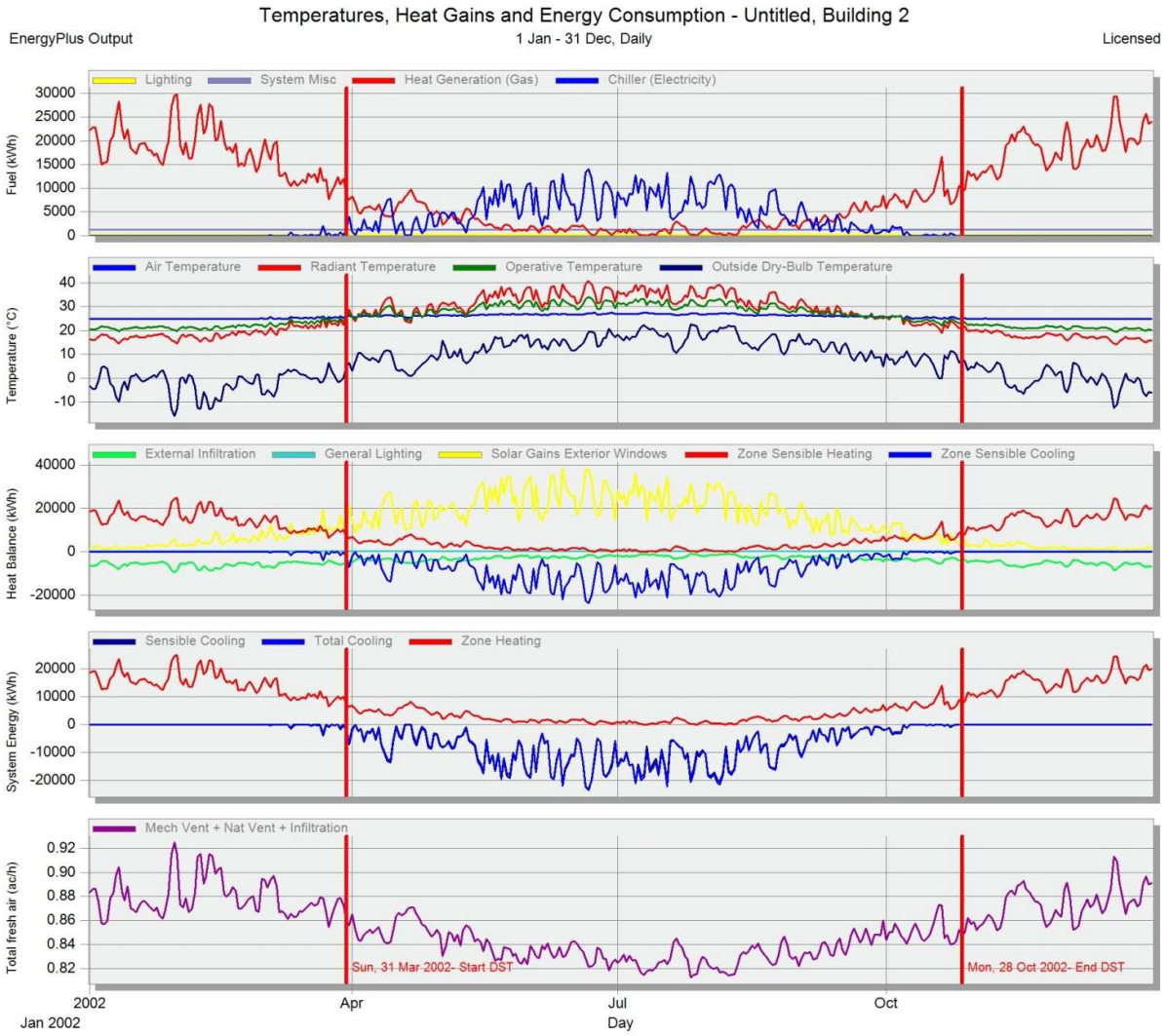
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	21.77
Operative Temperature (°C)	23.38
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Walls (kW)	-73.43
Ground Floors (kW)	-6.90
Roofs (kW)	-10.93
External Infiltration (kW)	-401.78
External Vent. (kW)	-573.84
Zone Sensible Heating (kW)	1066.87

4 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.



4 variantas. Energijos poreikių balansas.

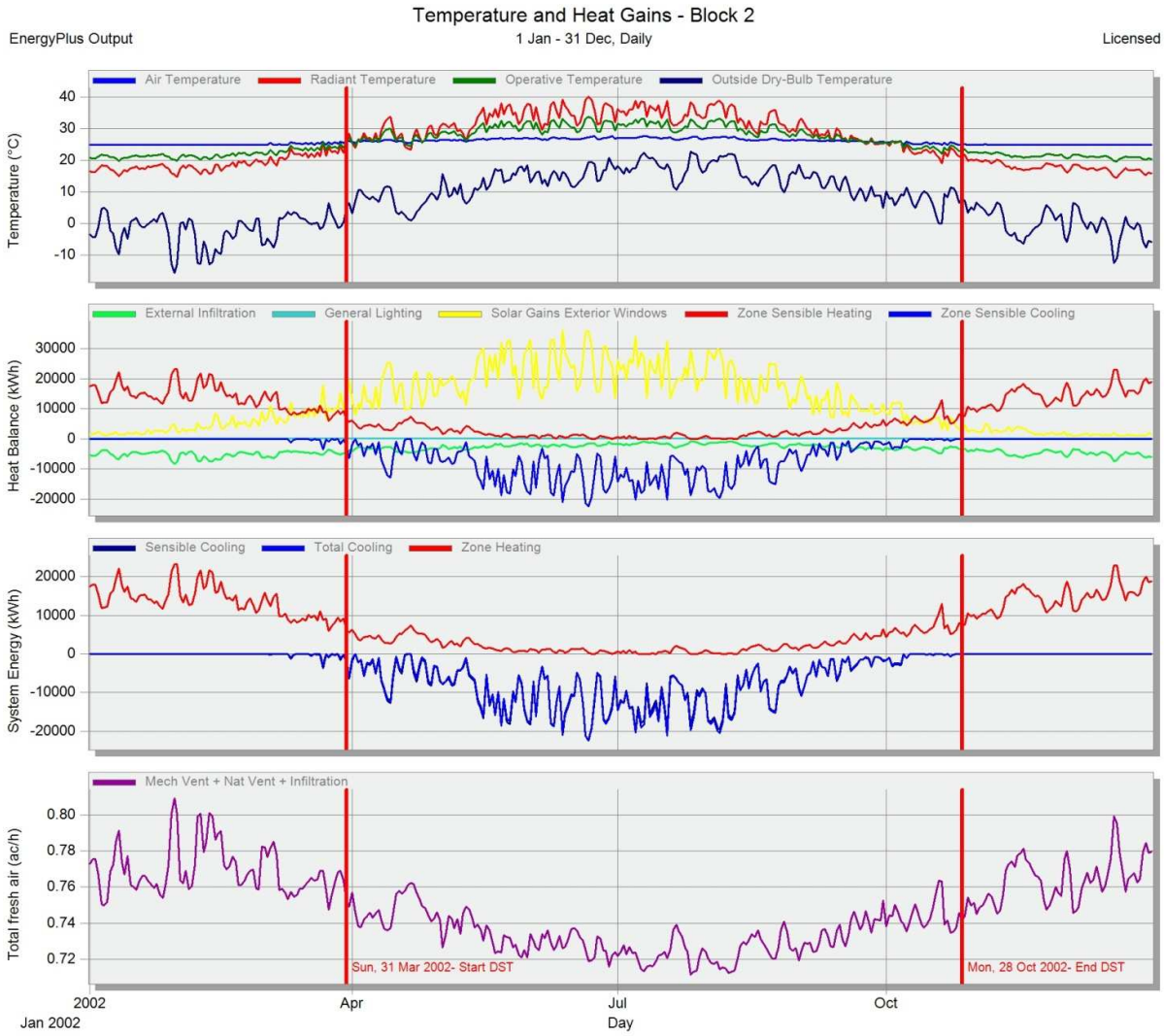
Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output Licensed



Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	18.77
Operative Temperature (°C)	21.89
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-22.00
Glazing (kW)	-1348.69
Walls (kW)	-0.04
Ground Floors (kW)	-66.57
Roofs (kW)	-4.32
External Infiltration (kW)	-456.16
Zone Sensible Heating (kW)	1875.79

5 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

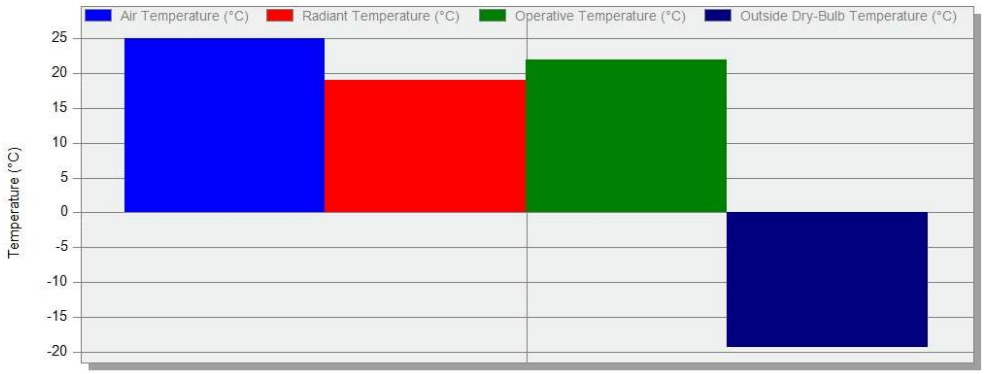


5 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

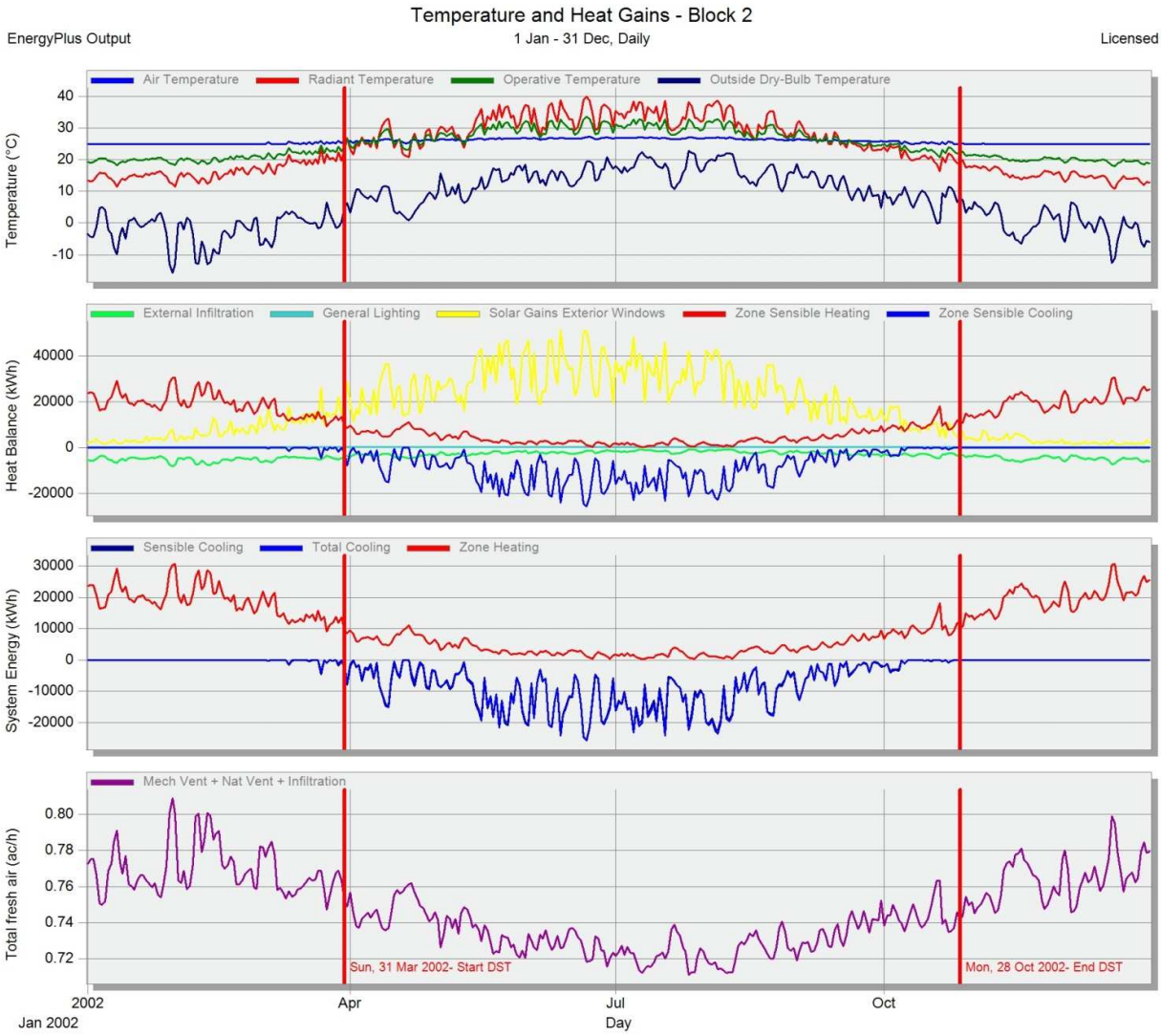
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	19.08
Operative Temperature (°C)	22.04
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Glazing (kW)	-1205.02
Walls (kW)	-14.36
Ground Floors (kW)	-67.04
Roofs (kW)	-5.96
External Infiltration (kW)	-372.22
Zone Sensible Heating (kW)	1664.56

6 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

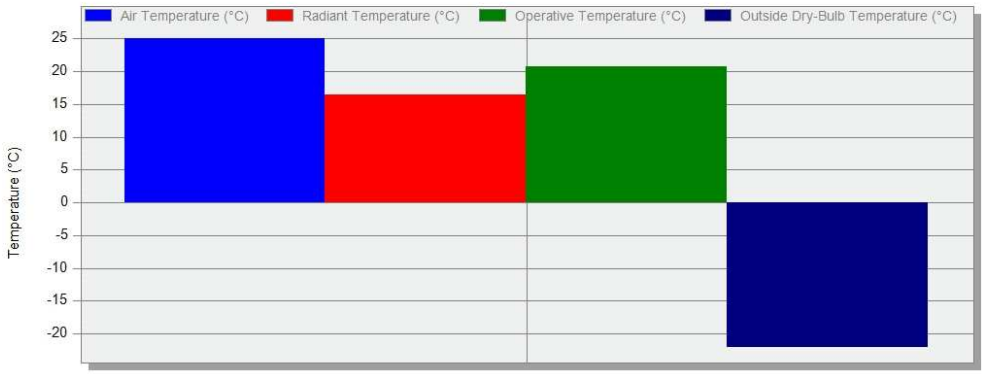


6 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

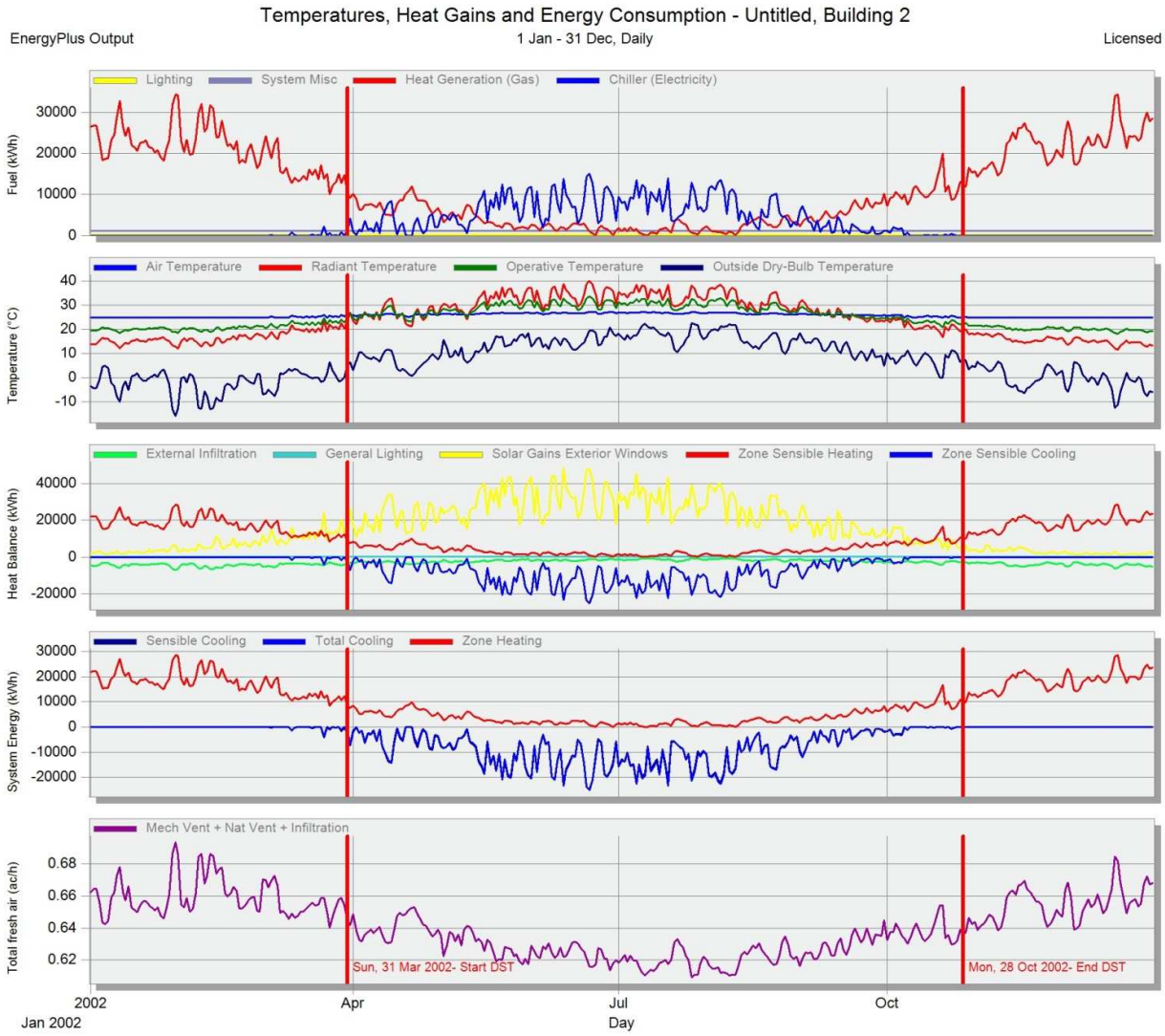
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	16.50
Operative Temperature (°C)	20.75
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-22.00
Glazing (kW)	-2175.30
Walls (kW)	-0.04
Ground Floors (kW)	-63.10
Roofs (kW)	-4.29
External Infiltration (kW)	-399.14
Zone Sensible Heating (kW)	2641.91

7 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

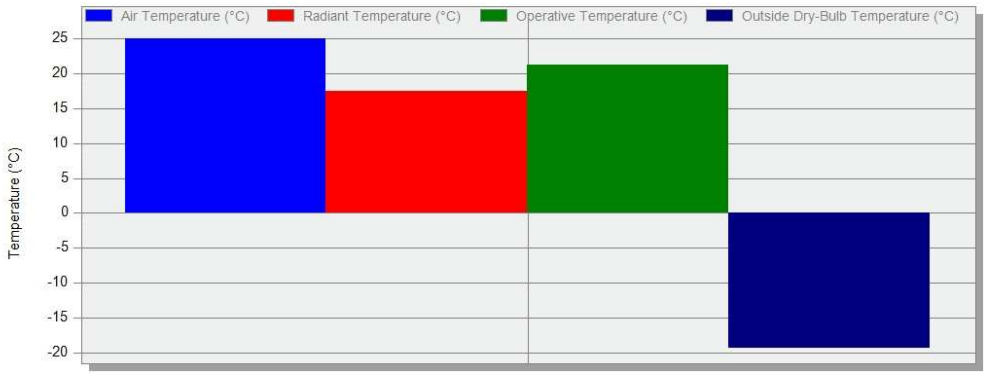


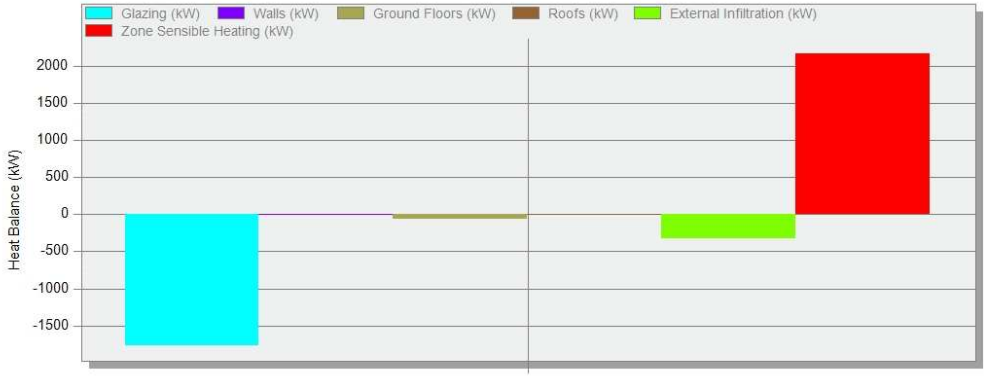
7 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

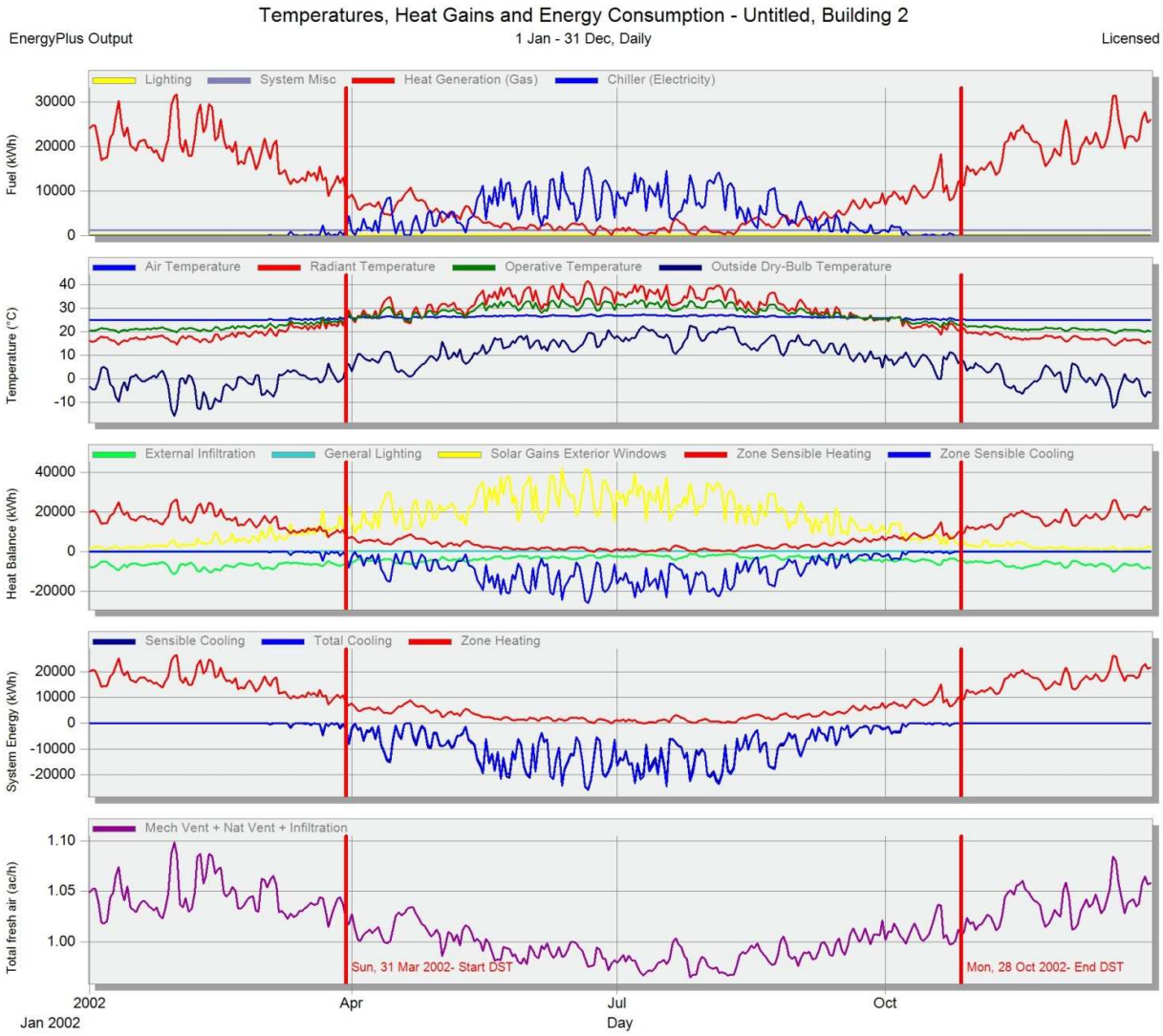
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	17.56
Operative Temperature (°C)	21.28
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Glazing (kW)	-1773.36
Walls (kW)	-14.33
Ground Floors (kW)	-64.62
Roofs (kW)	-6.15
External Infiltration (kW)	-319.05
Zone Sensible Heating (kW)	2177.46

8 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

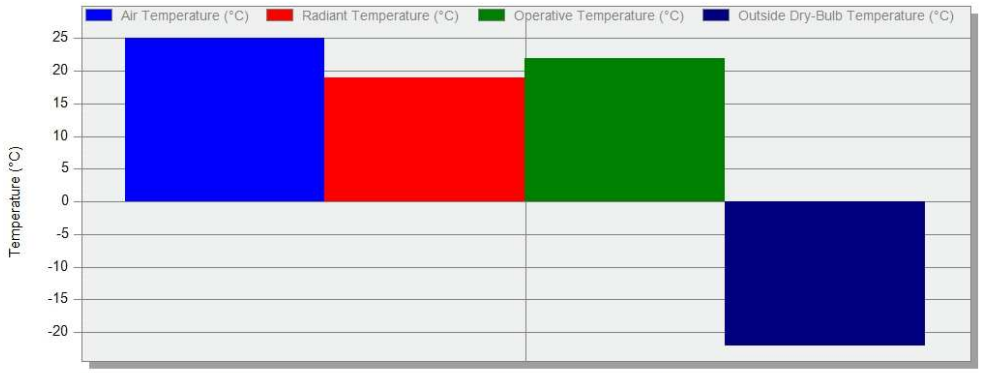


8 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

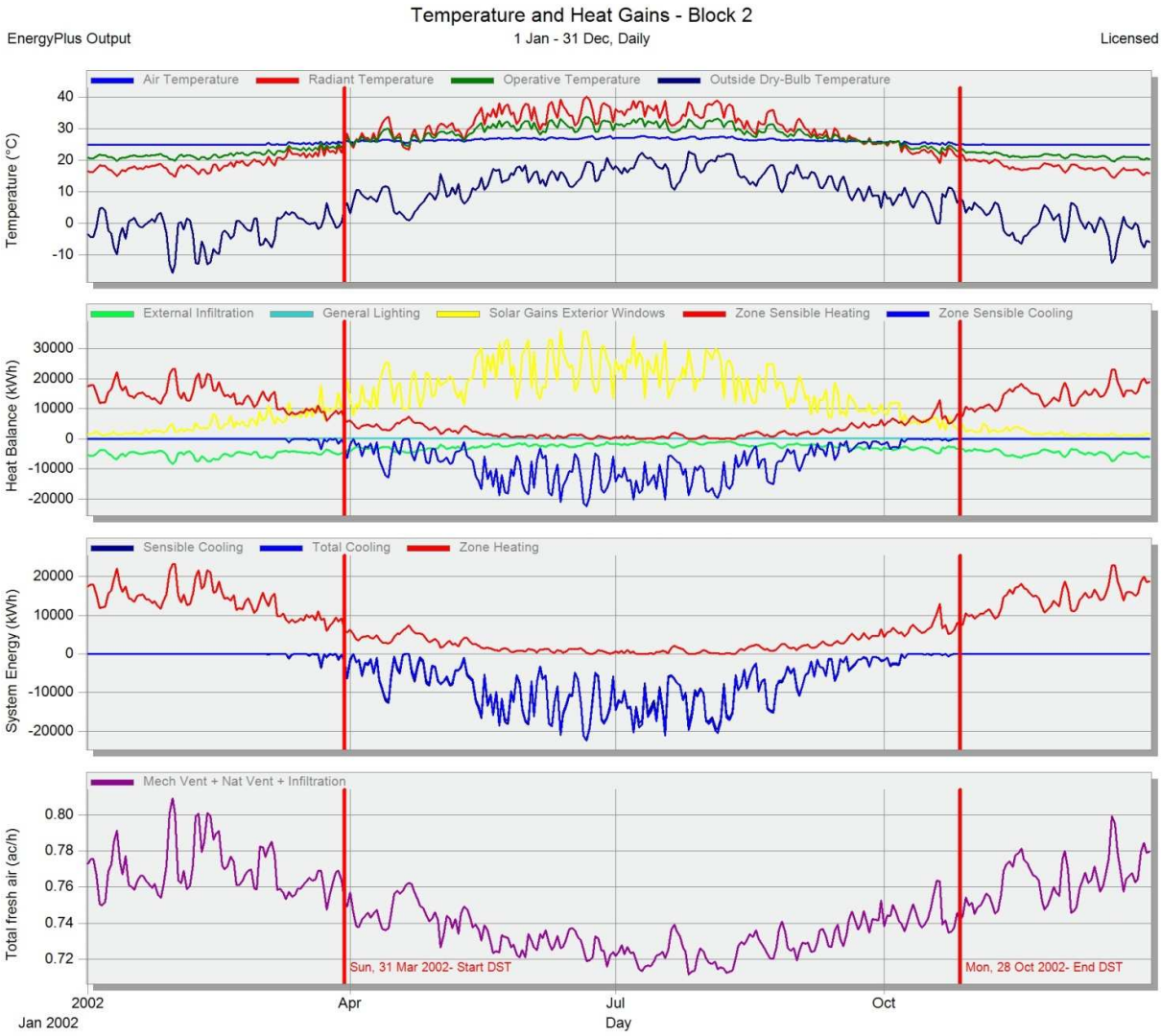
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	18.93
Operative Temperature (°C)	21.96
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-22.00
Glazing (kW)	-1314.35
Walls (kW)	-0.04
Ground Floors (kW)	-66.86
Roofs (kW)	-4.32
External Infiltration (kW)	-541.69
Zone Sensible Heating (kW)	1927.27

9 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

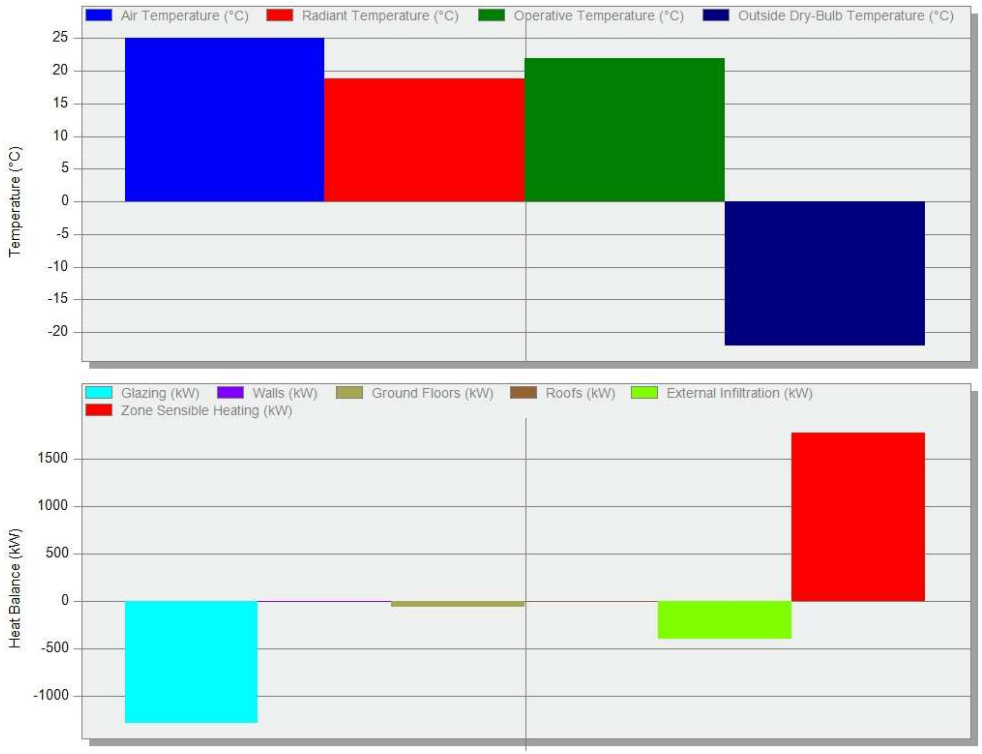


9 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

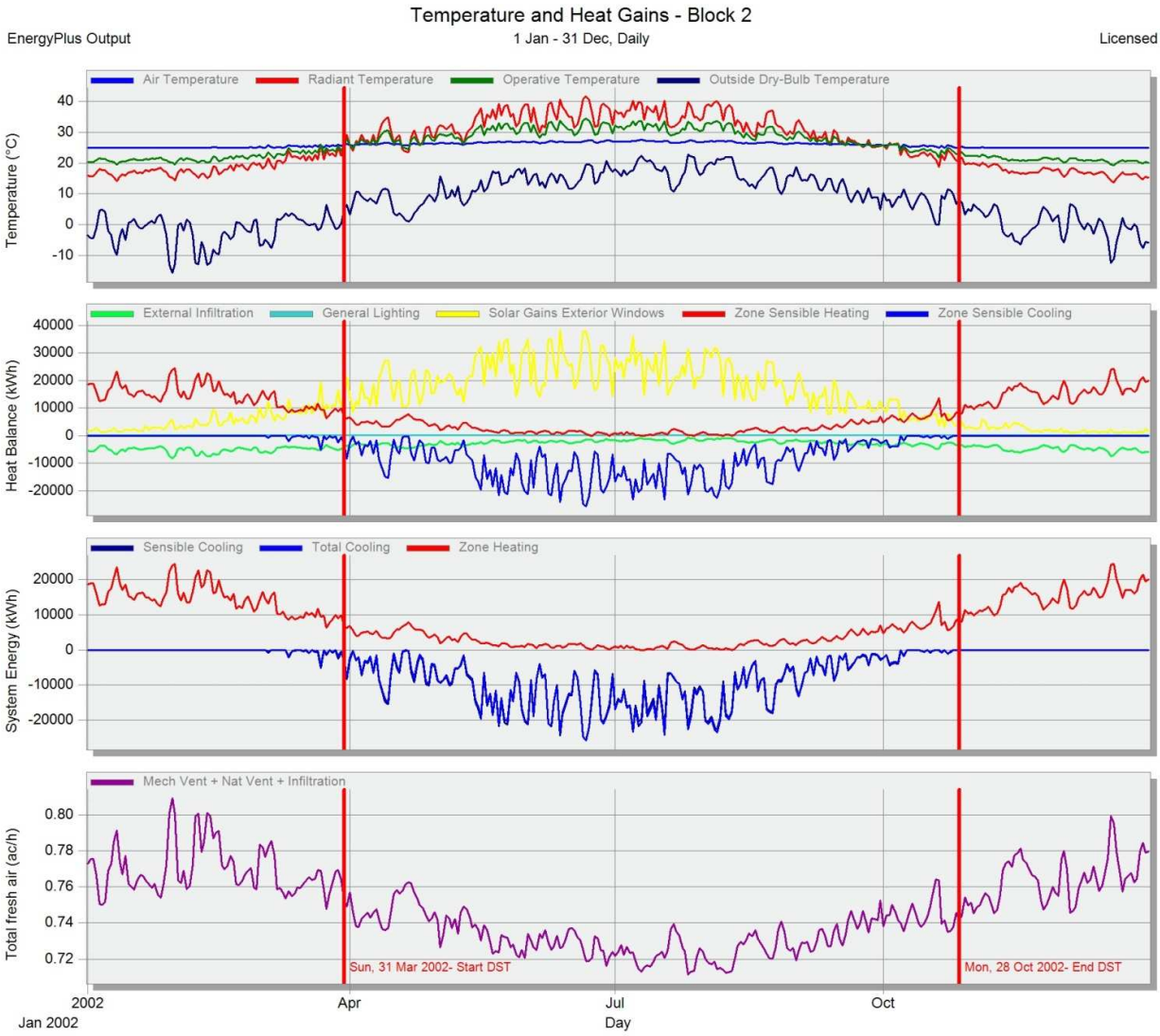
EnergyPlus Output

Licensed



Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	18.85
Operative Temperature (°C)	21.92
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-22.00
Glazing (kW)	-1291.45
Walls (kW)	-15.26
Ground Floors (kW)	-66.69
Roofs (kW)	-6.32
External Infiltration (kW)	-399.14
Zone Sensible Heating (kW)	1778.81

10 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

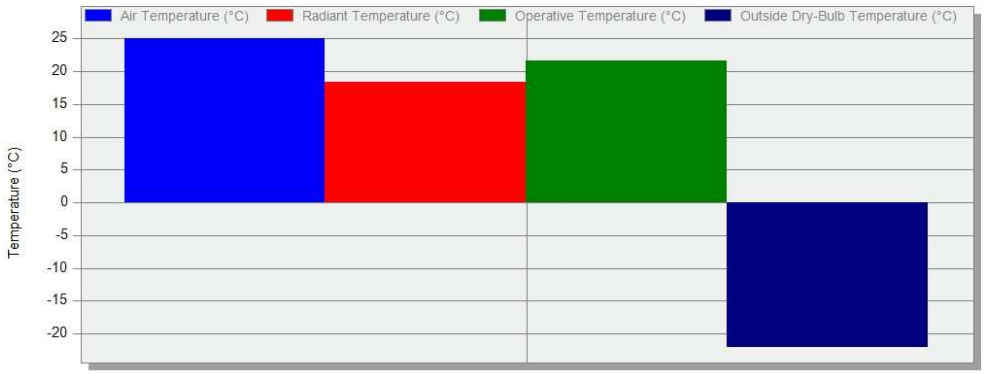


10 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

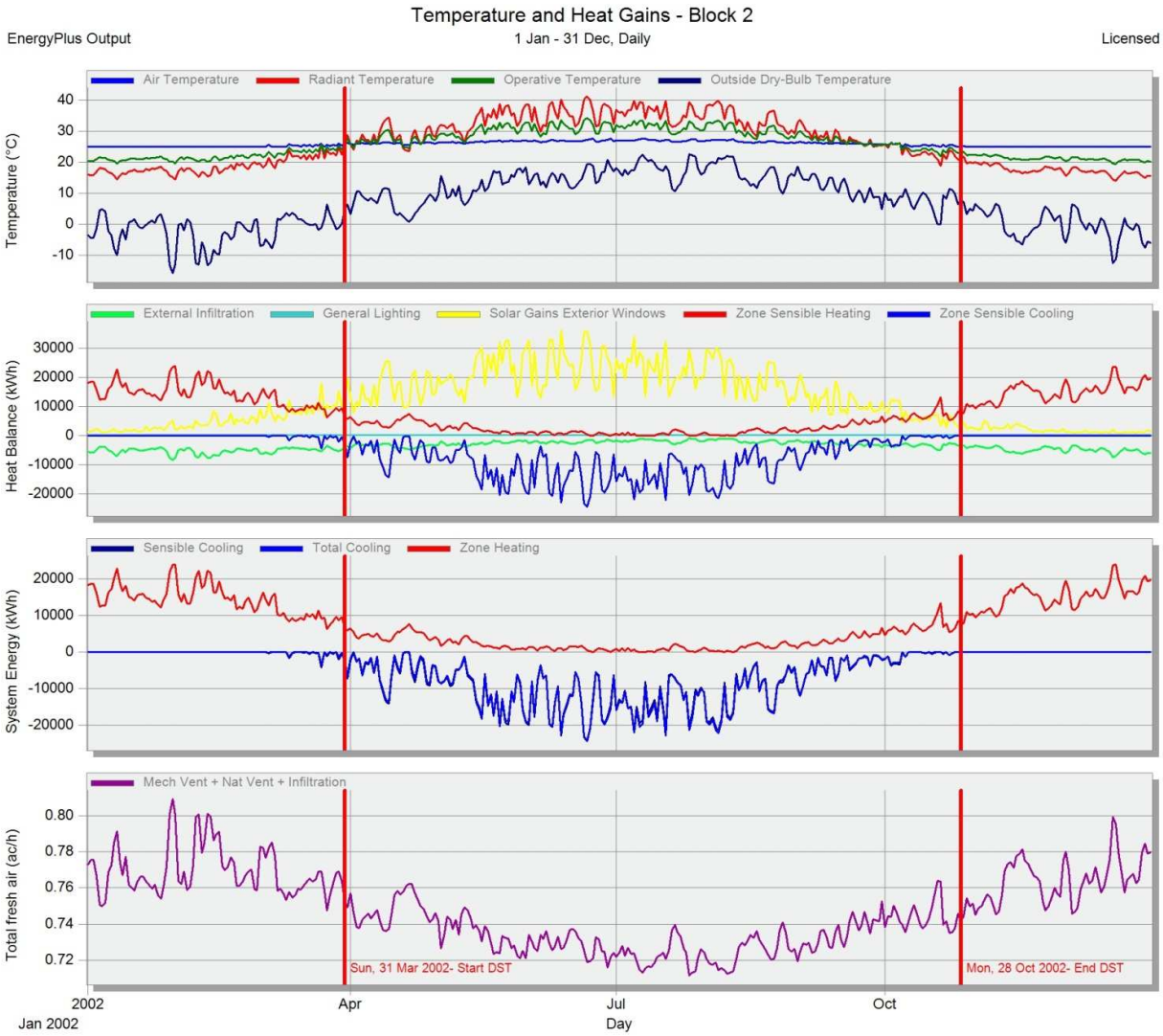
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	18.44
Operative Temperature (°C)	21.72
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-22.00
Glazing (kW)	-1433.96
Walls (kW)	-0.04
Ground Floors (kW)	-66.02
Roofs (kW)	-4.31
External Infiltration (kW)	-399.14
Zone Sensible Heating (kW)	1903.50

11 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

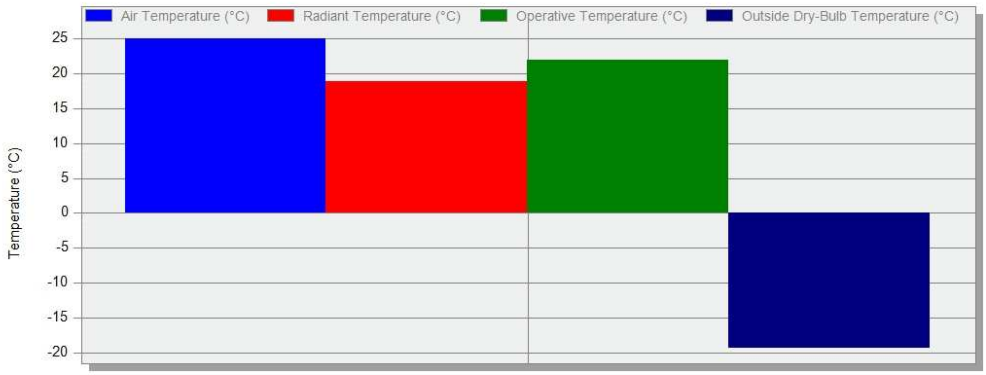


11 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

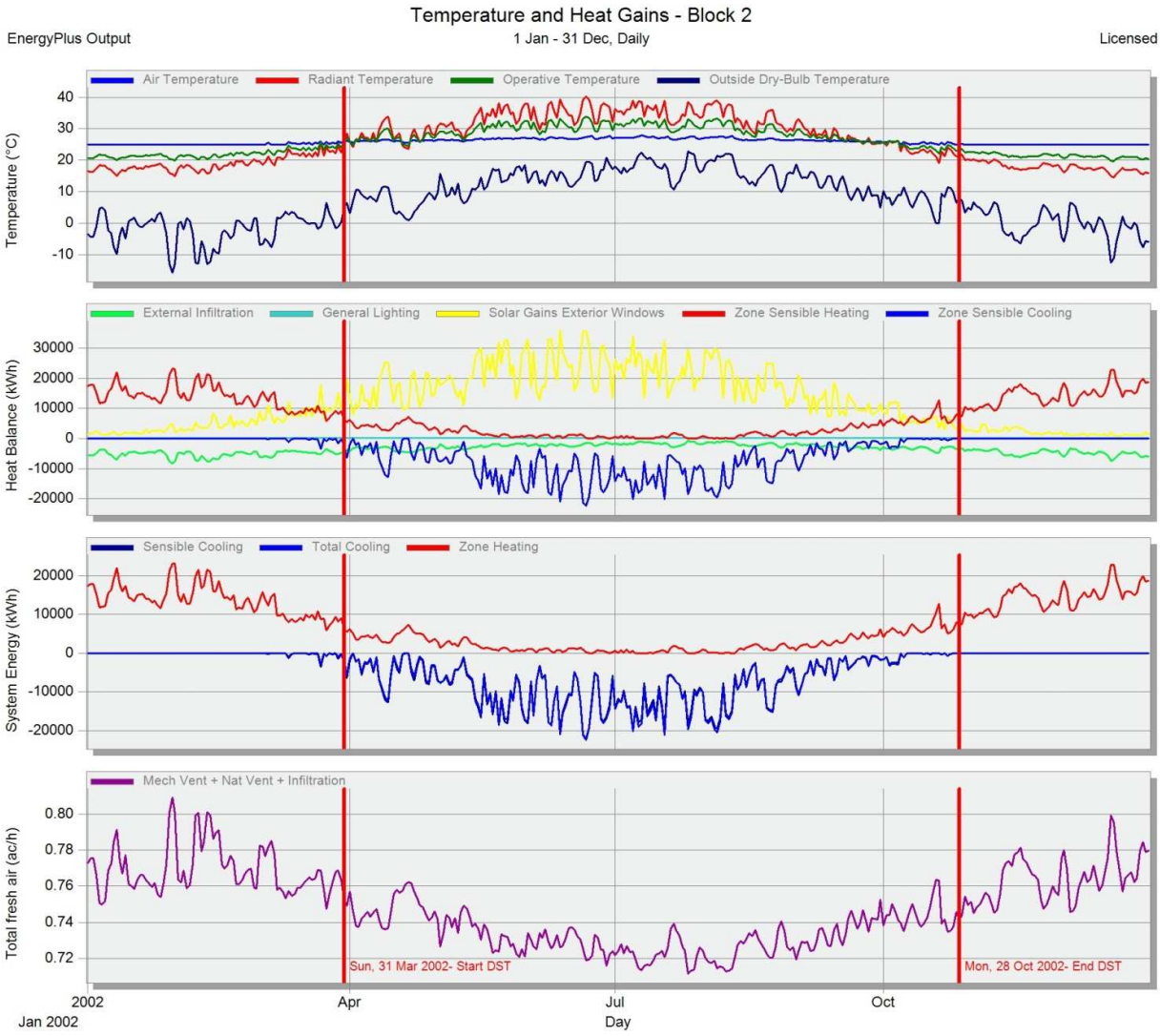
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	18.87
Operative Temperature (°C)	21.93
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Glazing (kW)	-1280.40
Walls (kW)	-14.34
Ground Floors (kW)	-66.70
Roofs (kW)	-5.96
External Infiltration (kW)	-372.22
Zone Sensible Heating (kW)	1739.58

12 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

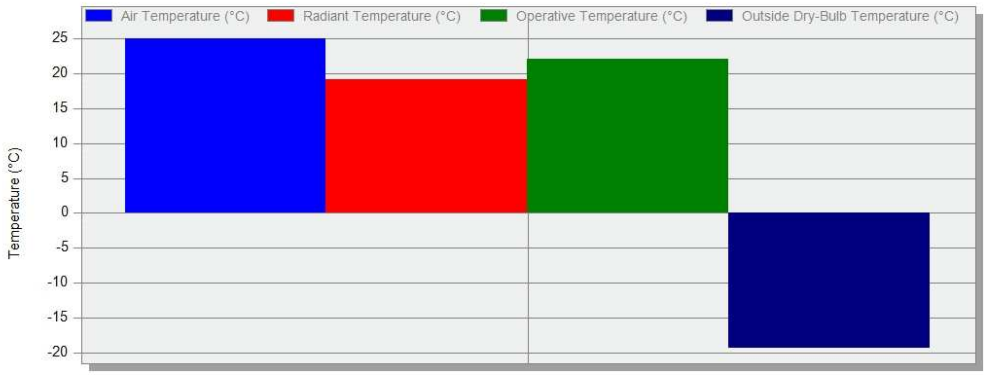


12 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

EnergyPlus Output

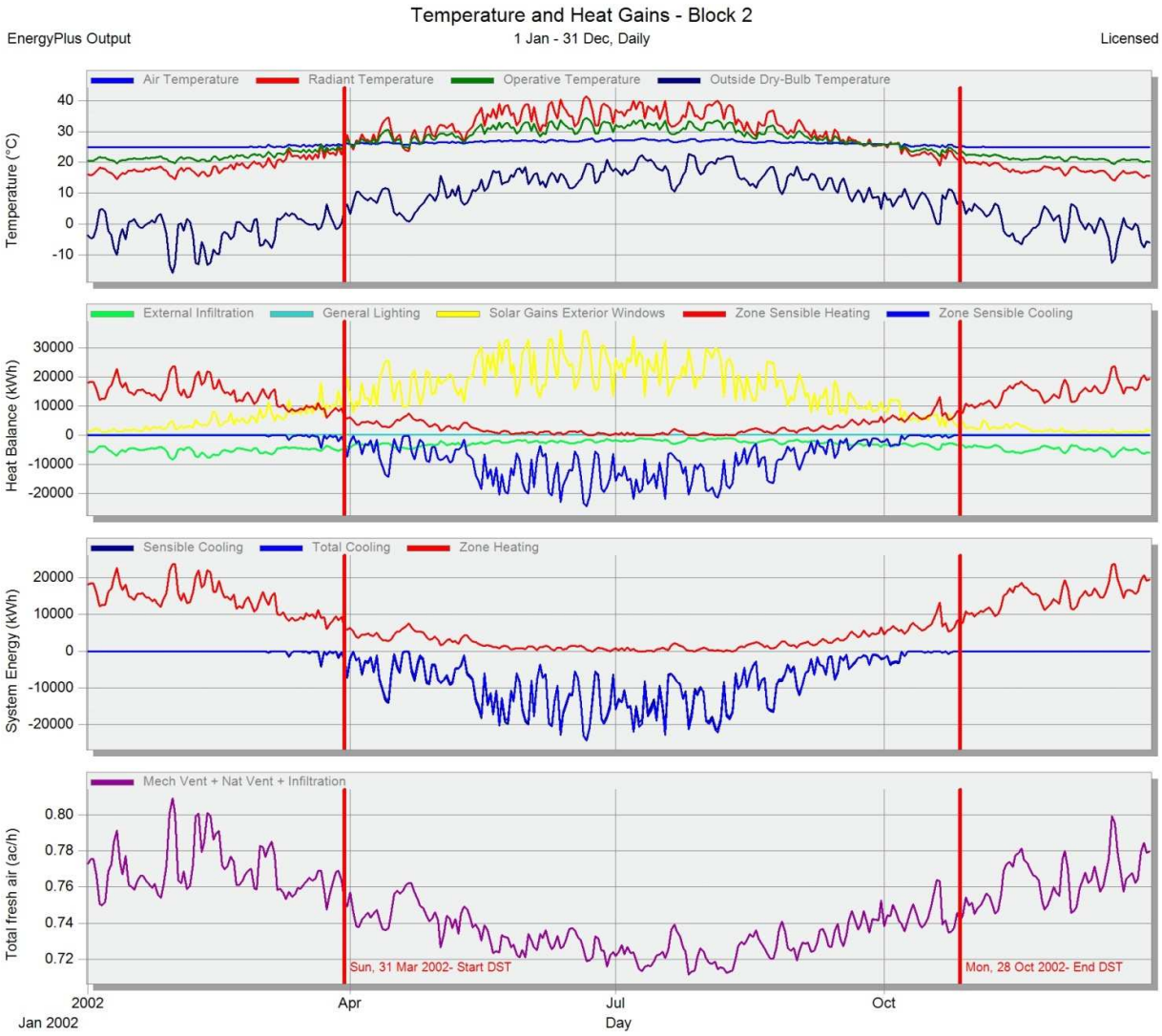
Licensed





Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	19.13
Operative Temperature (°C)	22.07
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Glazing (kW)	-1205.09
Walls (kW)	-6.11
Ground Floors (kW)	-67.13
Roofs (kW)	-5.97
External Infiltration (kW)	-372.22
Zone Sensible Heating (kW)	1656.47

13 variantas. Šiluminės galios balansas. Designbuilder išvesties duomenys.

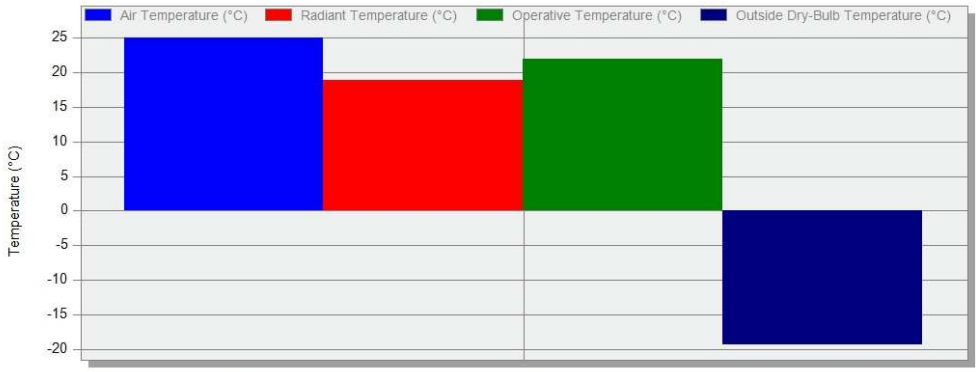


13 variantas. Energijos poreikių balansas.

Temperature and Heat Loss

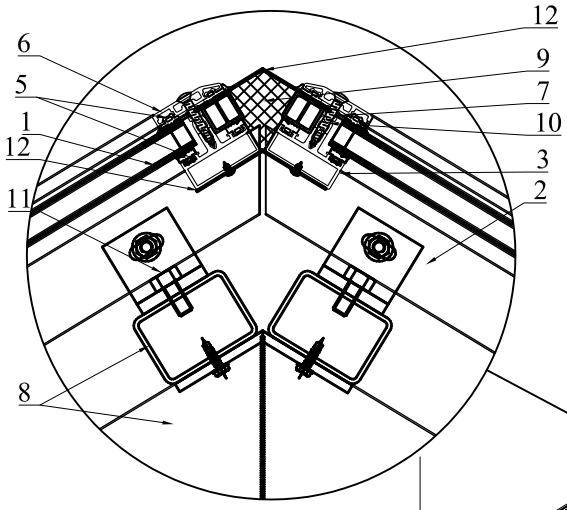
EnergyPlus Output

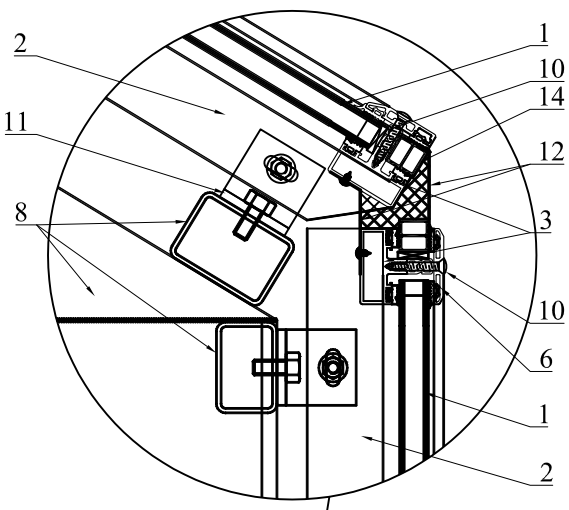
Licensed

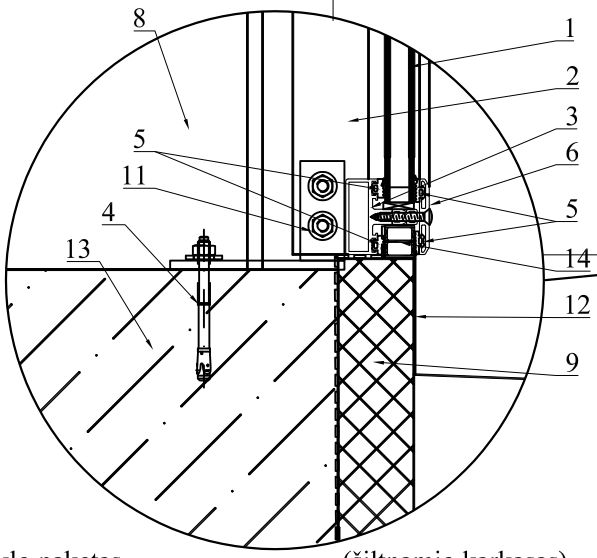




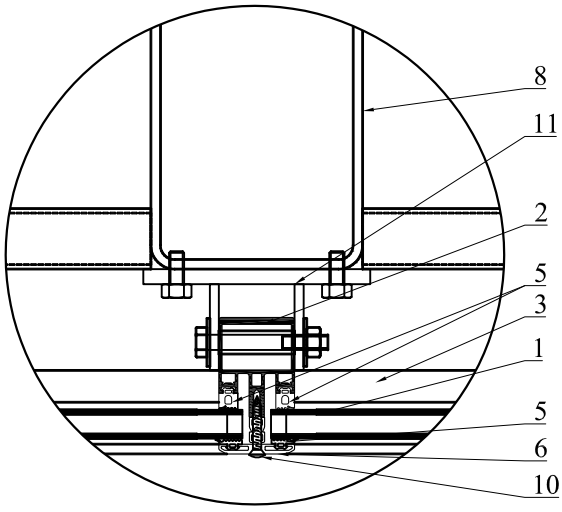
Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	18.92
Operative Temperature (°C)	21.96
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-19.30
Glazing (kW)	-1280.47
Walls (kW)	-6.10
Ground Floors (kW)	-66.78
Roofs (kW)	-5.96
External Infiltration (kW)	-372.22
Zone Sensible Heating (kW)	1731.50





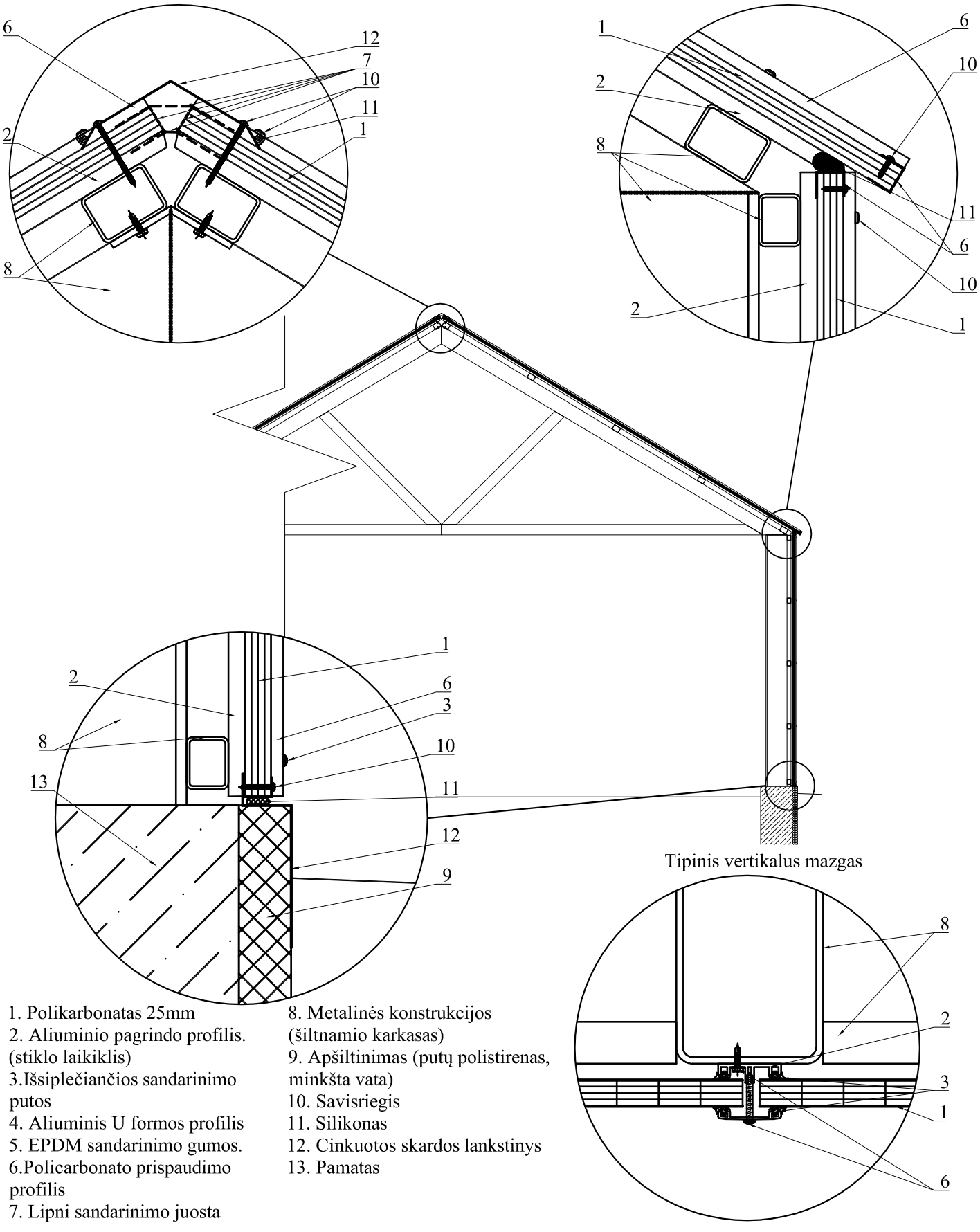


Tipinis vertikalus mazgas



1. Stiklo paketas
2. Vertikalus aliuminio profilis. (stiklo laikiklis)
3. Horizontalus aliuminio profilis (stiklo laikiklis)
4. Tvirtinimo varžtas betone
5. EPDM sandarinimo gumos.
6. Stiklo prispaudimo profilis
7. Lipni sandarinimo juosta
8. Metalinės konstrukcijos (šiltnamio karkasas)
9. Apšiltinimas (putų polistirenas, minkšta vata)
10. Savisriegis
11. Aliuminio profilių tvirtinimo detalės, varžtai.
12. Cinkuotos skardos lankstinys
13. Pamatas
14. PVC vamzdelis

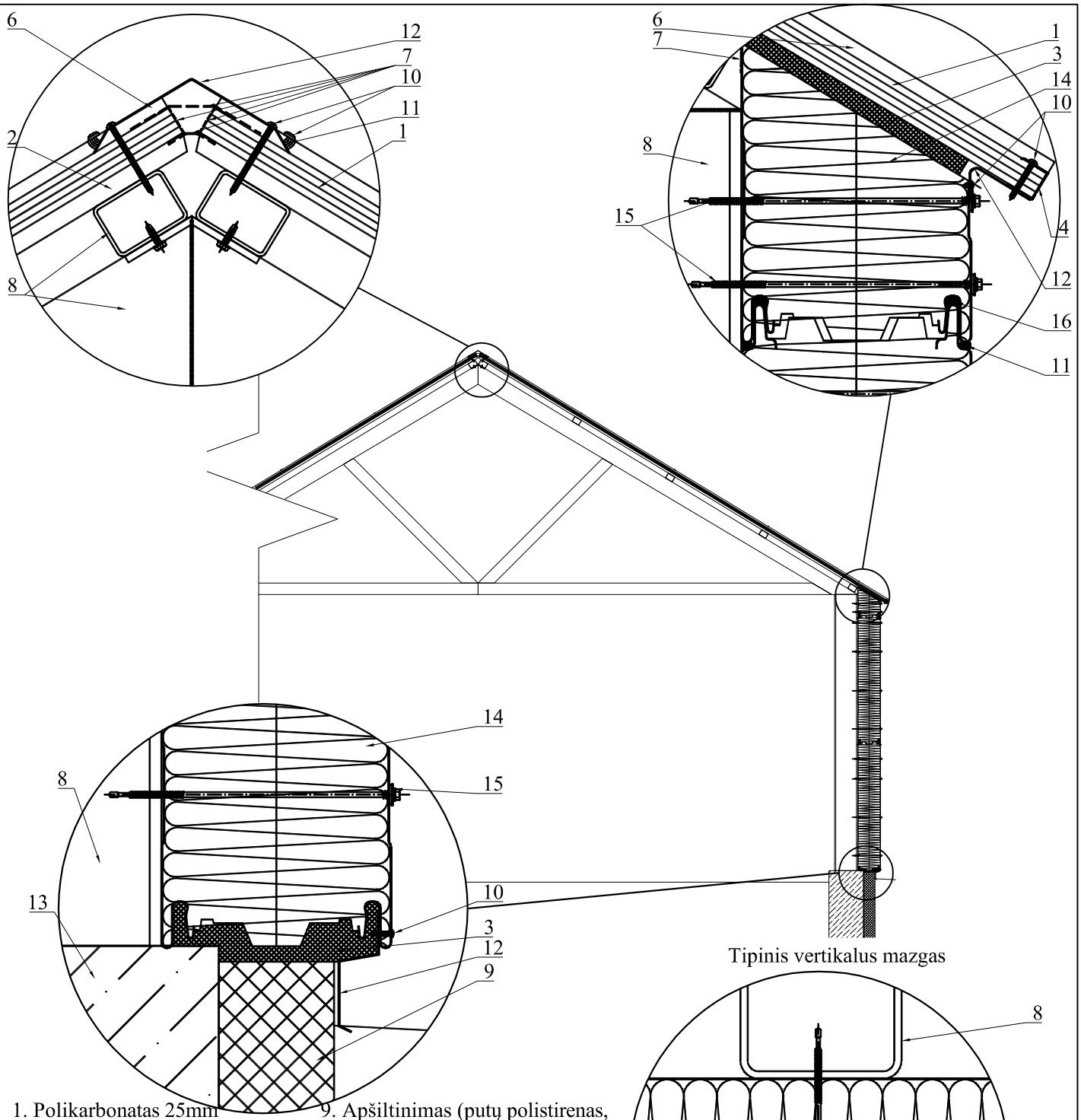
Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas				MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS	
Pareigos	V.Pavardė	Parašas	Data	**ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS**	Mastelis 1:50
Vadovas	S.Paulauskaitė				
Studentė	R.Vitkauskaitė				
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA				STIKLINIO ŠILTNAMIO KONSTRUKTYVO FRAGMENTAS ĮSTIKLINIMO SU STIKLU, MAZGAI M 1:5	LAPAS 1 / LAPŲ 5



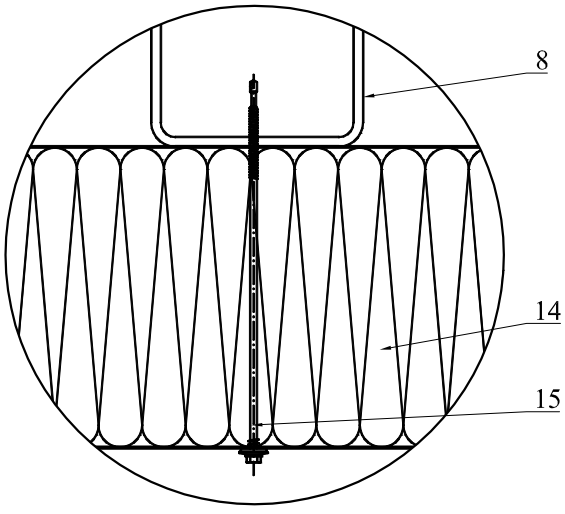
Tipinis vertikalus mazgas

1. Polikarbonatas 25mm
2. Aliuminio pagrindo profilis. (stiklo laikiklis)
3.Išsiplečiančios sandarinimo putos
4. Aliuminis U formos profilis
5. EPDM sandarinimo gumos.
6.Policarbonato prispaudimo profilis
7. Lipni sandarinimo juosta
8. Metalinės konstrukcijos (šiltnamio karkasas)
9. Apšiltinimas (putų polistirenas, minkšta vata)
10. Savisriegis
11. Silikonas
12. Cinkuotos skardos lankstinys
13. Pamatas

Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas			MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS
Pareigos	V.Pavardė	Parašas	Data
Vadovas	S.Paulauskaitė		
Studentė	R.Vitkauskaitė		
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA			ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS
			Mastelis 1:50
			STIKLINIO ŠILTNAMIO KONSTRUKTYVO FRAGMENTAS ĮSTIKLINIMO SU POLIKARBONATU, MAZGAI M 1:5
			LAPAS 2 / LAPŲ 5



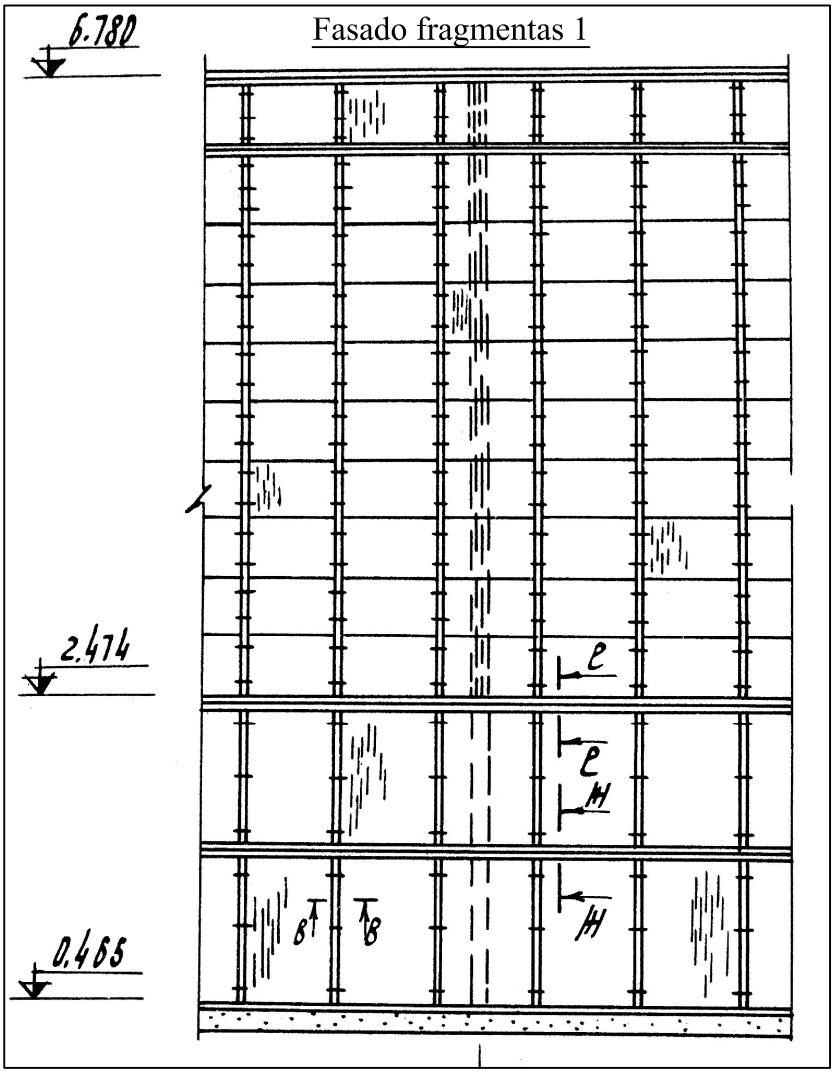
Tipinis vertikalus mazgas

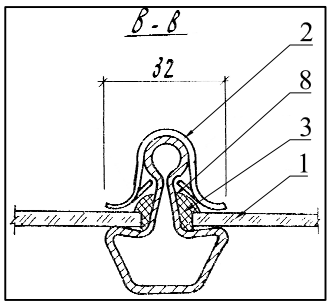


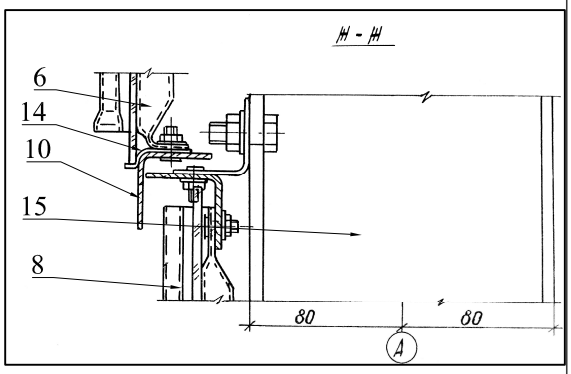
1. Polikarbonatas 25mm
2. Aliuminio pagrindo profilis. (stiklo laikiklis)
3.Išsiplečiančios sandarinimo putos
4. Aliuminis U formos profilis
5. EPDM sandarinimo gumos.
6.Policarbonato prispaudimo profilis
7. Lipni sandarinimo juosta
8. Metalinės konstrukcijos (šiltnamio karkasas)
9. Apšiltinimas (putų polistirenas, minkšta vata)
10. Savisriegis
11. Silikonas
12. Cinkuotos skardos lankstinys
13. Pamatas
14. Daugiasluoksnė plokštė SP2E PU (Ruukki) 200 mm
15. Daugiasluoksnė plokštės tvirtinimo varžtas - savisriegis.
16. Išsiplečianti tarpinė(butilo pagrindu)

Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas		MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS	
Pareigos	V.Pavardė	Parašas	Data
Vadovas	S.Paulauskaitė		
Studentė	R.Vitkauskaitė		
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA		ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS	Mastelis 1:50
		STIKLINIO ŠILTNAMIO KONSTRUKTYVO FRAGMENTAS ĮSTIKLINIMO SU POLIKARBONATU IR DAUGIASLUOKSNĖS PLOKŠTĖS SIENOM, MAZGAI M 1:5	LAPAS 3 / LAPŲ 5

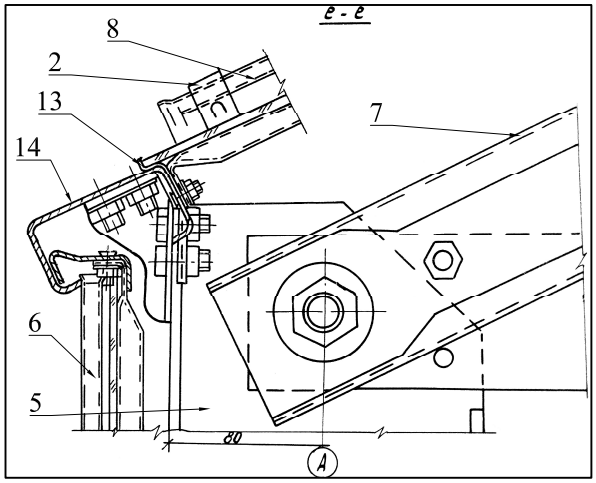
Fasado fragmentas 1





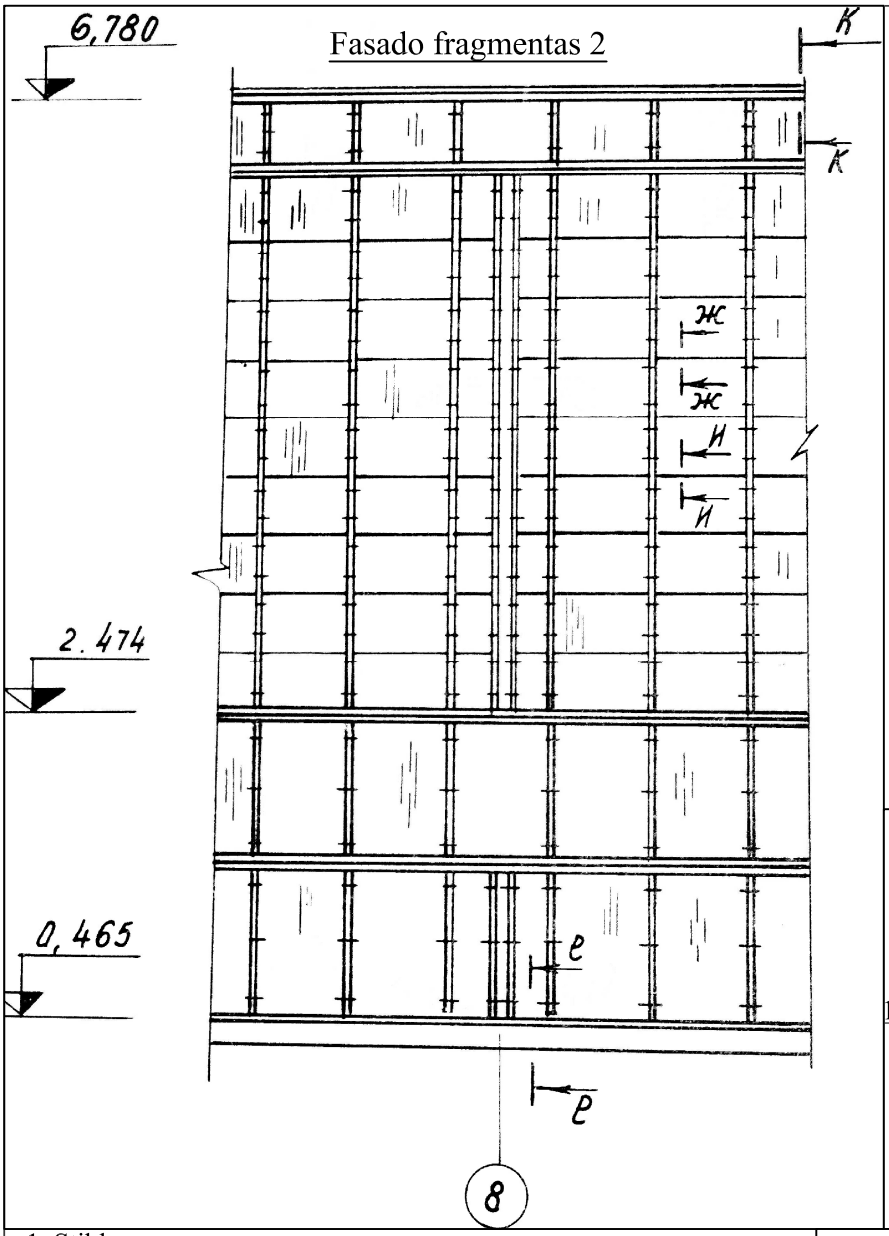


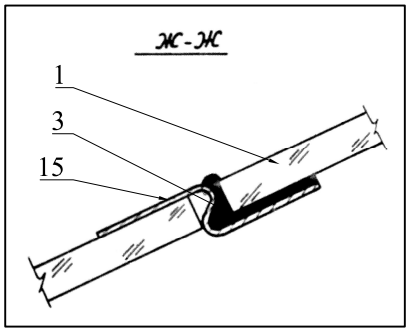
1. Stiklas
2. Stiklo prispaudimo lanstinys. (KL-1)
3. Hermetizuojanti mastika.
4. Skardos lankstinys stiklo sujungimui
5. Kolona
6. Varstoma dalis, langas.
7. Rygelis
8. Profiliuotis įjstiklinimui. (metalinis tarpiklis)
9. Varžtas
10. Atraminis kampuotis
11. Cokolinis kampuotis
12.Cokolinis cinkuotos skardos lankstinys t=1.5mm
13. Stiklo laikymo lankstinys (KL-4)
14. Karnizinis cinkuotos skardos lankstinys t=1.5mm
15. Skardos lankstinys (KL-2)
16. Skardos lankstinys (KL-5)
17. Sija lovinio profiliuočio.
18. Jungiamoji detalė

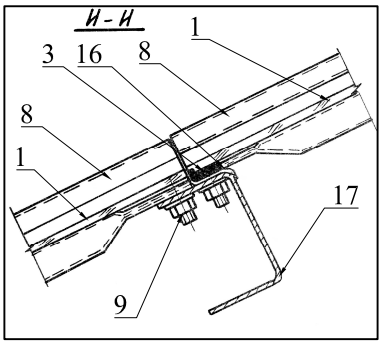


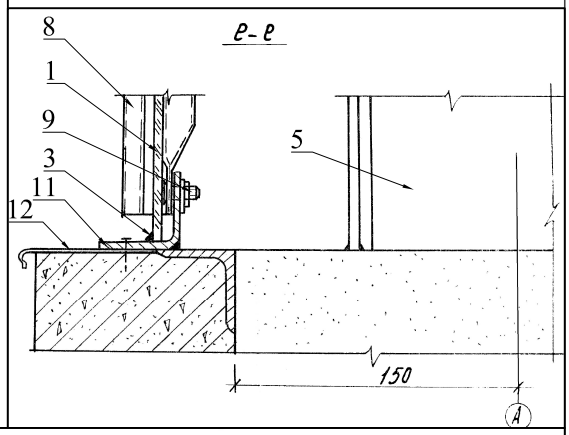
Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas			MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS
Pareigos	V.Pavardė	Parašas	Data
Vadovas	S.Paulauskaitė		
Studentė	R.Vitkauskaitė		
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA			ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS
			Mastelis 1:50
			STIKLINIO ŠILTNAMIO KONSTRUKTYVO FRAGMENTAS IŠ TIPINIO PROJEKTO 810-95 FASADO FRAGMENTAS 1, MAZGAI M 1:4, M 1:2
			LAPAS 4 / LAPŲ 5

Fasado fragmentas 2

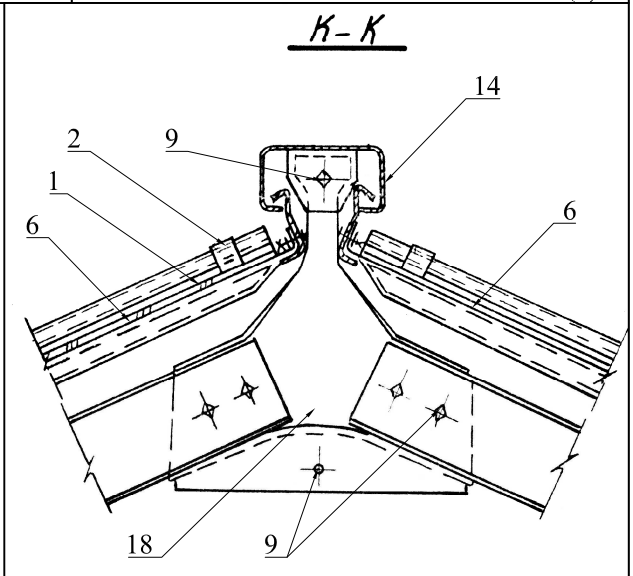








1. Stiklas
2. Stiklo prispaudimo lanstinys. (KL-1)
3. Hermetizuojanti mastika.
4. Skardos lankstinys stiklo sujungimui
5. Kolona
6. Varstoma dalis, langas.
7. Rygelis
8. Profiliuotis įstiklinimui. (metalinis tarpiklis)
9. Varžtas
10. Atraminis kampuotis
11. Cokolinis kampuotis
12.Cokolinis cinkuotos skardos lankstinys t=1.5mm
13. Stiklo laikymo lankstinys (KL-4)
14. Karnizinis cinkuotos skardos lankstinys t=1.5mm
15. Skardos lankstinys (KL-2)
16. Skardos lankstinys (KL-5)
17. Sija lovinio profiliuočio.
18. Jungiamoji detalė



Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas			MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS
Pareigos	V.Pavardė	Parašas	Data
Vadovas	S.Paulauskaitė		
Studentė	R.Vitkauskaitė		
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA			ŠILTNAMIŲ KONSTRUKCINIŲ SPRENDIMŲ ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS
			Mastelis 1:50
			STIKLINIO ŠILTNAMIO KONSTRUKTYVO FRAGMENTAS IŠ TIPINIO PROJEKTO 810-95 FASADO FRAGMENTAS 2, MAZGAI M 1:4, M 1:2
			LAPAS 5 / LAPŲ 5