

ENERGIJOS POREIKIŲ KITIMAS IŠ DALIES ĮSTIKLINTAME ŠILTNAMYJE

Rasa Vitkauskaitė¹, Sabina Paulauskaitė²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas:¹rasa.vitkauskaite@gmail.com; ²sabina.paulauskaite@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas energijos poreikių kitimas šiltnamyje. Pasirinktas šiltnamio konstrukcinis sprendimas – iš dalies įstiklintas šiltnamius. Tai toks šiltnamio variantas, kai įstiklintas statinio stogas, o vertikalios atitvaros neįstiklintos. Atlikti analitiniai skaičiavimai ir šiltnamius sumodeliuotas programa *DesignBuilder*. Nagrinėtas energijos poreikių kitimas per metus, temperatūrų kitimas, patalpų temperatūros režimas, naudojant minėtą kompiuterinę programą. Apžvelgti gauti rezultatai, diagramos, atlikta analizė, padarytos išvados.

Reikšminiai žodžiai: iš dalies įstiklintas šiltnamius, energijos sąnaudos, temperatūros režimas, *DesignBuilder*.

Įvadas

Šiltnamius – ištiesus metus daug energijos sunaudojantis statinys, 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. 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, Andriuskevičienė 1991; Šlapauskas *et al.* 1980), o žmonėms pritaikytuose pastatuose – tik tris: temperatūrą, oro judėjimo greitį ir drėgmę. Šilumos režimų pobūdis šiltnamiuose ir žmonėms pritaikytuose pastatuose ypač skiriasi. Šiuo atveju didelę reikšmę energijos sąnaudoms sudaro reikiamo apšvietimo ir drėgmės režimo palaikymas.

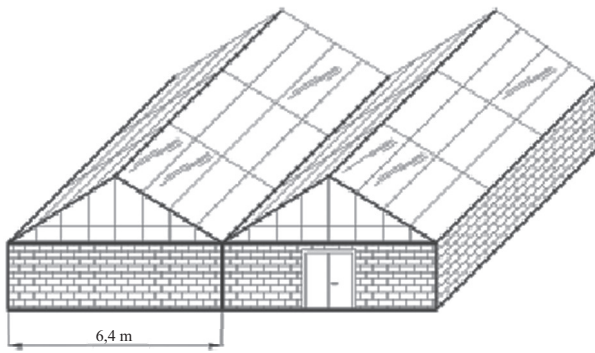
Per ankstesnius šiltnamių konstrukcinių sprendimų tyrimus, atliktus, nagrinėjant šiltnamius Lietuvos teritorijoje (Vitkauskaitė 2012; Vitkauskaitė, Paulauskaitė 2012), analizuoti skirtingų konstrukcijų šiltnamiai: stiklinis, iš dalies įstiklintas ir be stiklinių atitvarų. Atmesta šiltnamių be stiklų projektavimo idėja, nes šiuo atveju reikalinga apšvieta – 10 000 lx. (Both 2000), 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. Išanalizavus stiklinį ir iš dalies įstiklintą šiltnamius, kai įstiklinti naudojamos

skirtingos medžiagos. Nustatyta, kad mažiausias energetinis efektyvumas pasiekiamas, kai naudojamas dviejų stiklų įstiklinimas, o didžiausias energetinis efektyvumas gaunamas, kai šiltnamius įstiklinamas argono dujomis užpildytu dvigubu stiklo paketu; arba naudojamas trigubas stiklas, neužpildytas dujomis. Energetiniu požiūriu blogiausias ir geriausias variantas vertinant energijos poreikius šildymui skiriasi 31 %. Visais atvejais iš dalies įstiklintame šiltnamyje šilumos poreikiai yra mažesni nei visiškai įstiklintame.

Šiame straipsnyje išskirtinis dėmesys skiriamas šilumos, vėsos ir dirbtinio apšvietimo energijos poreikių analizei iš dalies įstiklintuose šiltnamiuose, tai yra tokios konstrukcijos, ankstesniais tyrimais pripažintos energetiškai efektyviausiomis. Lietuvoje atskirų standartų, pritaikytų šiltnamiams skaičiuoti, nėra, todėl analitiniai skaičiavimai atlikti vadovaujantis užsienio literatūroje pateikiamomis skaičiavimo metodikomis (Бодров *et al.* 2008; Бодров 2012).

Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – iš dalies įstiklintas šiltnamius (1 pav.). Konstrukcinis sprendimas panašus į įprastos konstrukcijos blokinius stiklinius šiltnamius. Šiuo atveju vertikalios atitvaros neįstiklintos, o stogo šlaitai įstiklinti. Įstiklinti naudotas dvigubas stiklas, oro tarpas užpildytas argono dujomis (du stiklai 3 mm, oro tarpas 13 mm), šilumos perdavimo koeficientas $U = 1,514 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vertikalios atitvaros yra įprastos konstrukcijos, kurių šilumos perdavimo koeficientas $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Šiltnamio išoriniai matmenys 140×71 m, vidutinis aukštis 3,5 m, plotas 1 ha. Jis sudarytas iš tarpusavyje sujungtų 22 blokų.



1 pav. Iš dalies įstiklintas blokinis šiltnamio (fragmentas)
Fig. 1. The fragment of a greenhouse with a partially glazed panel

Ankstesniais tyrimais (Vitkauskaitė 2012) įvertinus skirtingus kriterijus, tokius kaip žiemos ir vasaros sezoniškumo kaita, dirvožemių kokybė, nustatyta, kad tinkamiausia vieta šiltnamiams Lietuvos teritorijoje yra vidurio Lietuva. Todėl šiltnamio modeliuojamas vidurio Lietuvoje, skaičiuotinos lauko oro temperatūros šaltuoju metų laiku $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, šiltuoju $24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (RSN 156-94 1995). Priimta prielaida, kad šiltnamyje auginamą produkciją sudaro agurkai, todėl reikalingi užtikrinti pagrindiniai parametrai yra tokie: kultivacinių patalpų oro temperatūra $24\text{--}28\text{ }^{\circ}\text{C}$ dieną ir $18\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ naktį; santykinė oro drėgmė $80\text{--}90\%$ (Dickersom 1996). Laikoma, kad agurkai yra derėjimo metu.

Tyrimo metodika

Šiltnamių šilumos poreikiams apskaičiuoti buvo remtasi metodika šiltnamiams skaičiuoti (Бодров *et al.* 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, W; Q_g – šilumos srautas į gruntą, W; Q_{in} – šilumos srautas dėl infiltracijos ir natūralaus vėdinimo, W.

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

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

čia Q_v – šilumos nuostoliai per vertikalias atitvaras, W; Q_{st} – per stogą, šlaitus (šiuo atveju per stiklines atitvaras), W.

Šilumos srautas per vertikaliąsias atitvaras:

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

čia: Q_{ad} – šilumos srautas per vertikaliąsias atitvaras nuo dirvos paviršiaus iki šildymo prietaisų viršaus skaičiuojamas įvertinant šilumos srautą konvekcijos ir spinduliavimo būdu, W; Q_{vd} – šilumos srautas per atitvaras nuo šildymo prietaisų viršaus iki šlaitų, W.

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

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 – plotas, m².

Šilumos srautas dėl infiltracijos ir natūralaus vėdinimo:

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

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

Infiltruojamo oro kiekis nustatytas pagal grafiką, kuriame pateikiama infiltruojamo oro kiekio ir išorės vėjo priklausomybė (Бодров 2008).

Lietuvoje šiltnamių nuostolių skaičiavimas nėra reglamentuotas ir atskiros metodikos jiems skaičiuoti nėra. Šiltnamių dirbtinis apšvietimas skaičiuojamas remiantis metodu, pateiktu (CIBSE 2004):

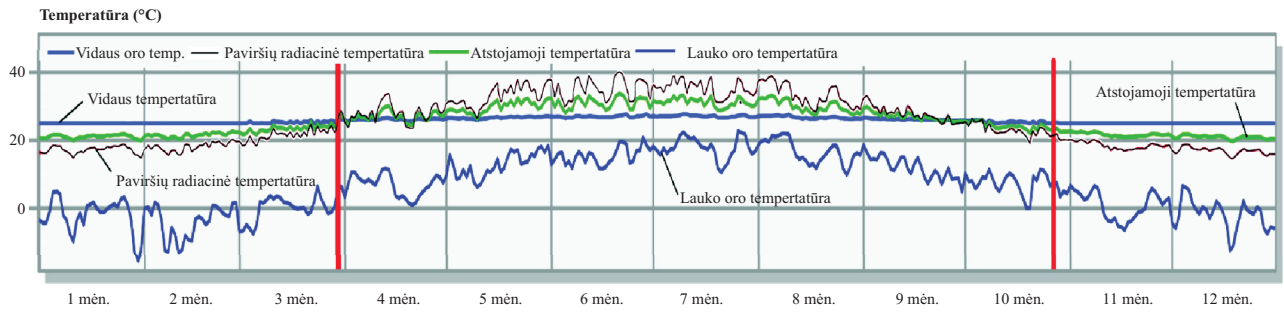
$$E = \frac{F \cdot n \cdot N \cdot MF \cdot UF}{A}, \quad (7)$$

čia: E – vidutinė reikalinga apšvietimo, lx; F – pradinis lempų 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

Straipsnyje nagrinėtas iš dalies įstiklintas šiltnamio. Toliau pateikti apibendrinti rezultatai, nagrinėjant temperatūros režimą šiltnamyje, priklausomai nuo lauko oro temperatūros kitimo. Apžvelgti energijos poreikių kitimo grafikai, atskirai išnagrinėti žiemos ir vasaros sezonai. Pateikti statinio pirminės energijos poreikiai.

Analitiniai skaičiavimai pagrįsti empirinėmis formulėmis, o kompiuterine programa *DesignBuilder* gaunamas išvesties duomenų kitimas smulkiais laiko intervalais. Atsižvelgiant į pastato konstrukciją ir jo galimą sandarumą laikoma, kad infiltracija lygi 0,7. 1 lentelėje matyti, kad šiluminės galios skaičiavimo rezultatai skiriasi 2,2 %, o šildymo sistemos energijos poreikiai – 5,1 %. Taigi, *DesignBuilder* programa gautus rezultatus galime laikyti patikimais. Analitiniai skaičiavimai atlikti pagal (Бодров *et al.* 2008).



Sausio 1 – gruodžio 31 d.

2 pav. Temperatūros režimo per metus rezultatai, gauti kompiuterine programa *DesignBuilder*. Pateikti temperatūros duomenys kas parą (vidutiniai paros)

Fig. 2. The annual results of temperature received applying *DesignBuilder* software. The presented information on temperature is displayed as daily data.

1 lentelė. Analitinio ir kompiuterinio skaičiavimo rezultatai

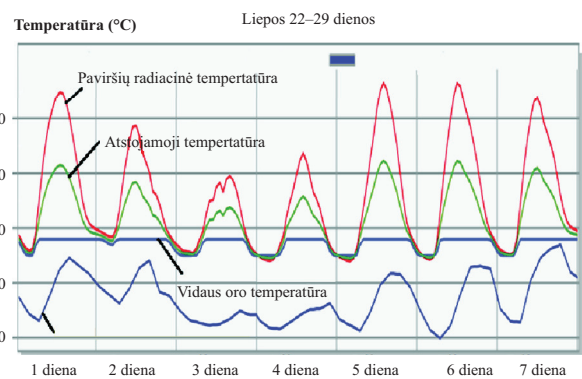
Table 1. The results of analytical and computer calculations.

Rezultatai	Šiluminė galia, kW	Energijos poreikis šildymui, kWh
Kompiuterinio skaičiavimo rezultatai	1665	2 710 154
Analitinio skaičiavimo rezultatai, gauti pagal (Бодров <i>et al.</i> 2008)	1703	2 857 241
Skirtumas, %	2,2	5,1

Vertinant šiltnamius energetiniu požiūriu, būtina atsižvelgti į temperatūros režimus. Šiltnamiuose temperatūros režimas kinta priklausomai nuo paros meto, augalų rūšies, augimo stadijos. Esant netinkamai temperatūrai gali sunykti derlius arba nukentėti jo kokybė. Pastovią temperatūrą palaikyti stikliniame pastate sudėtinga, nes dėl prastų atitvarų šiluminių savybių vidaus oro temperatūra kinta pagal išorės oro temperatūrą. Tai matyti 2 paveiksle, kuriame pateiktas temperatūrų kitimo grafikas per metus. Žemiausiai esanti kreivė rodo išorės oro temperatūrų kitimą (vidurio Lietuvoje). Vidaus temperatūrų režimai vaizduojami trimis kreivėmis – tai vidaus oro temperatūra, paviršių radiacinė temperatūra ir atstojamoji temperatūra.

Analizuojant patalpos oro temperatūros kitimo grafiką matyti, kad projektinė šiltnamio vidaus temperatūra žiemą yra 25 °C dieną ir 19 °C naktį, o vidutinė atstojamoji temperatūra žiemą – 22,16 °C. Tipinę žiemos savaitę ji kinta nuo 19,1 °C naktį iki 22,5 °C dieną. Kompiuterinė programa leidžia įvesti automatinį režimą, tačiau žiemos metu temperatūra nėra užtikrinama. Norint pagerinti sąlygas auginamas kultūras galima papildomai šildyti įjungiant dirbtinį apšvietimą.

Per vasaros sezoną oro temperatūros pasiskirstymas kitoks. 3 paveiksle pateikiamas tipinės vasaros savaitės metu būdingų temperatūrų grafikas, kai projektuojama



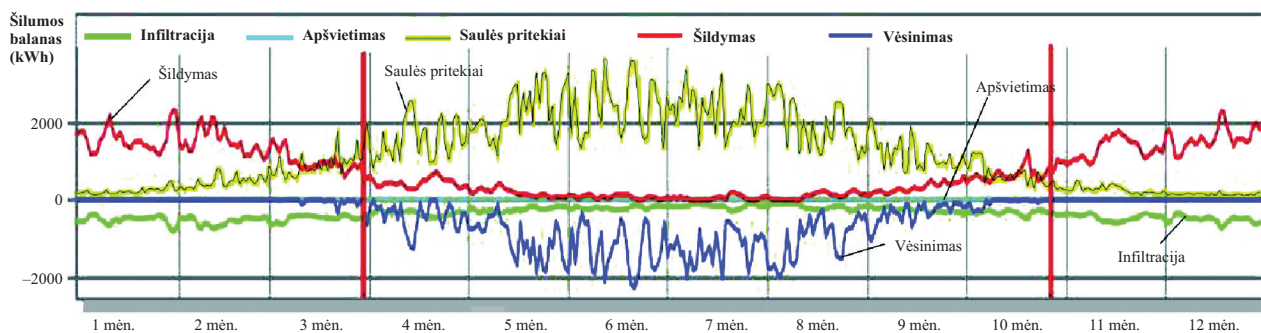
3 pav. Oro temperatūra šiltnamyje veikiant vėsinimo sistemai

Fig. 3. Air temperature in the greenhouse under an operating cooling system

vėsinimo sistema. Kaip matome, vidutinė vasaros sezono temperatūra yra 29,4 °C. Neįrengiant vėsinimo sistemos vidutinė vasaros temperatūra yra 39,5 °C, o tai pavojinga tiek auginamai kultūrai, tiek šiltnamių darbuotojų sveikatai.

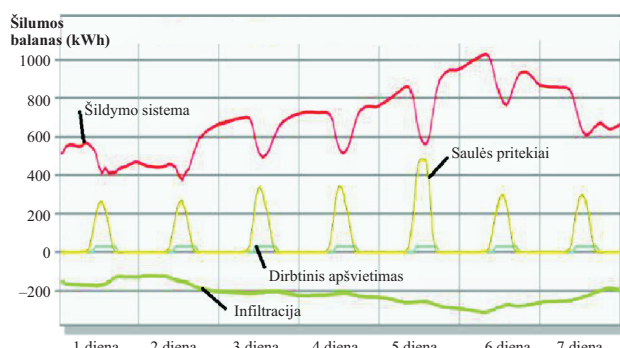
Taigi, vasarą reikalinga vėsinimo sistema. Iš dalies šią problemą galima išspręsti įrengiant automatiškai atsidarančius stoglangius. Žiemą didžiausi šilumos nuostoliai, t. y. daugiausia netenkama šilumos per stiklines atitvaras.

Šviesiuoju paros metu per stiklinius paviršius patenkanti saulės spinduliavimo šiluma žiemos metu padengia dalį šildymo sistemos galingumo. Tai matyti 4 paveiksle, kuriame pateikiamas metinis energijos poreikių kitimo grafikas. 5 paveiksle pateiktas tipinės žiemos savaitės energijos srautų balansas. Per žiemą saulės pritekiai padengia 33,4 % šildymo poreikių. Šiame šiltnamio modelyje (1 ha) per žiemą šilumos poreikis sudaro 234,5 kWh/m², o per skaidrias atitvaras patenka 78,5 kWh/m² saulės pritekčių.



4 pav. Energijos poreikių kitimo per metus rezultatai, gauti kompiuterine programa *DesignBuilder*

Fig. 4. The annual results of changes in the need for energy received applying *Design Builder* software



5 pav. Šilumos balansas per tipinę žiemos savaitę

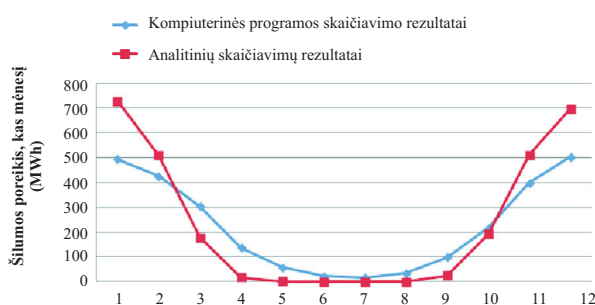
Fig. 5. The heat balance of a typical week in winter.

Šildymas reikalingas šiltnamiuose ištisus metus (271 kWh/m^2), netgi vasarą naktį šiltnamiai šildomi (4 pav.). Per vasarą šiltnamiui šildyti sunaudojama $36,8 \text{ kWh/m}^2$ šilumos. Kaip buvo aptarta anksčiau, dėl didelių įstiklintų plotų temperatūra šiltnamyje nukrinta, naktį nukritus išorės temperatūrai. Žiemos sezono šilumos poreikiai sudaro 86,5 % metinių šilumos poreikių.

Kai lauko oro temperatūra šyla, šildymo poreikius pakeičia vėsinimo poreikiai ir vasaros metu jie yra proporcingi saulės pritekams į patalpas (4 pav.). Vėsinimo poreikiai per vasarą sudaro $160,5 \text{ kWh/m}^2$, o per metus – $164,4 \text{ kWh/m}^2$. Vasaros vėsinimo poreikiai sudaro 97,6 % visų metinių vėsinimo poreikių.

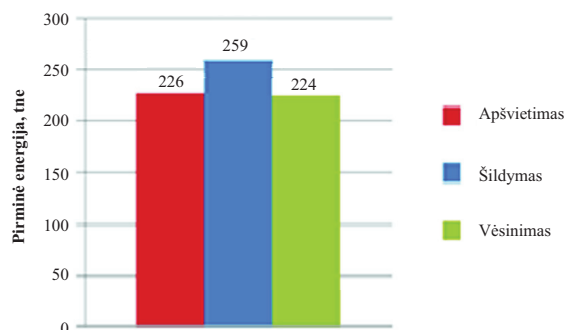
Kai nereikia šildyti, šiltnamį reikia vėsinti, tokios kitimo tendencijos parodytos 4 paveiksle. Tačiau žmonėms pritaikytuose pastatuose Lietuvos teritorijoje didžiausios sąnaudos šildymo sistemai tenka žiemą. Nagrinėjant įstiklintus šiltnamius energijos sąnaudos ištisus metus yra didžiulės. Tam įtakos turi dideli įstiklinti plotai.

6 paveiksle pateiktas šilumos poreikių kitimas per metus, skaičiuojant analitiniu būdu ir *DesignBuilder* kompiuterine programa. Matyti, kad kas mėnesį pateikiami rezultatai skiriasi gerokai, nepaisant to, kad metiniai energijos poreikiai skiriasi nedaug. Pagal kompiuterinę programą šildymo



6 pav. Šilumos poreikių kitimo per metus palyginimas atlikus analitinius ir kompiuterinius skaičiavimus

Fig. 6. A comparison of annual changes in the need for heat according to analytical and computer calculations.



7 pav. Pirminės energijos poreikis iš dalies įstiklintame 1 ha šiltnamyje

Fig. 7. Primary energy demand for a partly glazed greenhouse covering the territory of 1 ha.

sezonas trunka ilgiau, o šalčiausiais mėnesiais šilumos poreikis yra mažesnis. Verta paminėti, kad realiuose objektuose (šiltnamiuose) ir šiltuoju metų laiku naudojama šildymo sistema, tai galima įvertinti kompiuterine programa.

Analizuojant energijos poreikių kitimą įvertintas pirminės energijos poreikis šiltnamiuose. Perskaičiuojant energijos poreikius į pirminę energiją, laikoma, kad šiltnamiui šiluma tiekama iš dujinės katilinės, kurios efektyvumo koeficientas yra 90 %. Vėsinimo sistemoje vertinama, kad vėsinama kondicionieriais, kurių naudingumas $\text{COP} = 2$;

elektrinės, kurioje gaminama elektros energija, efektyvumas yra 35 %, nuostoliai elektros tinkluose laikomi 10 %. Apšvietimo sistemoje elektrinės efektyvumas taip pat yra 35 %, o nuostoliai tinkluose laikomi 10 %. Kuro konversijos koeficientas yra 11,63. Pasirinktos HID didelio intensyvumo dujų išlydžio lempos, kurių efektyvumo koeficientas – 0,22. Kaip matyti iš 7 paveikslo, didžiausi pirminės energijos poreikiai, reikalingi šildymo sistemai, už apšvietimo sistemos poreikius yra didesni 12,7 %, o už vėsinimo sistemos – 15,5 %. Darbe neįvertinta galimybė perkaitinimą šalinti per stoglangius natūraliai vėdinant. Vertinant pirminę energiją, skirtumas tarp šildymo, vėsinimo ir apšvietimo sumažėja.

Išvados

1. Straipsnyje analizuotas iš dalies įstiklintas šiltnamio energetiniu požiūriu. Nustatyta, kad energijos poreikiai šiltnamyje yra dideli ištiesus metus, tai yra kai nereikia šildyti, pastatą prireikia vėsinti. Tam įtakos turi dideli įstiklinti plotai ir mikroklimato parametrų užtikrinimo specifiška.
2. Sumodeliavus 1 ha iš dalies įstiklintą šiltnamį nustatyta, kad žiemą saulės pritekiai padengia 33,4 % šildymo poreikių. Žiemos sezono šilumos poreikiai sudaro 86,5 % metinių šilumos poreikių.
3. Atlikus kompiuterinį modeliavimą, nustatyta, kad iš dalies įstiklintame 1 ha šiltnamyje vasaros vėsinimo poreikiai sudaro 97,6 % visų metinių vėsinimo poreikių.

Literatūra

- CIBSE Guide F. *Energyefficiencyin Buildings*. London, 2004. 260 p.
- Both, A. 2000. *Some Thoughtson Supplemental Lightingfor Greenhouse Crop Production* [interaktyvus]. NewBrunswick [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. 239 p.
- RSN 156-94 *Statybinė klimatologija*. Vilnius, 1995. 133 p.
- Šlapakauskas, V.; Aniulytė, G.; Dastikaitė, A., et al. 1980. *Botanikos ir mikrobiologijos pagrindai*. Vilnius: Mokslas. 303 p.
- Vitkauskaitė, R. 2012. *Šiltnamių konstrukcinių sprendimų įtaka energijos poreikiams*: baigiamasis magistro darbas. Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. 110 p.
- Vitkauskaitė, R.; Paulauskaitė, S. 2012. Šiltnamių konstrukcinių

sprendimų įtaka energijos poreikiams, iš *15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“: 2012 metų teminės konferencijos „Pastatų inžinerinės sistemos“ straipsnių rinkinys*. Vilnius: Technika, 152–156.

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

Бодров, М. 2012. *Научно-методологические основы нормирования, проектирования и эксплуатации системобеспечения микроклимата производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений*. Москва.

CHANGES IN ENERGY DEMAND FOR A PARTIALLY GLAZED GREENHOUSE

R. Vitkauskaitė, S. Paulauskaitė

Abstract

The article analyzes changes in energy demand for a greenhouse. The worked out solution to the construction of the building is a partially glazed greenhouse having a glazed roof and open vertical barriers. *Design Builder* software has been applied for analytical calculations and greenhouse modelling as well as for introducing changes in annual energy demand and establishing temperature variations and regime. The paper reviews the obtained results and diagrams, performs analysis and draws conclusions.

Keywords: partially glazed greenhouse, energy consumption, temperature regime, *Design Builder*.