

KOMBINUOTOS ŠILUMOS SIURBLIO IR SAULĖS ELEKTRINĖS ENERGINIO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Evaldas BABECKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas ebabeckas@gmail.com

Kęstutis VENS LAUSKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas kestutis.venslauskas@vdu.lt

Santrauka

Tyrimu siekiama įvertinti energetinį efektyvumą, naudojant fotovoltinių elektrinių ir šilumos siurblių oras – vanduo kombinaciją. Tyrime buvo nagrinėti trys gyvenamieji pastatai su įrengtomis saulės elektrinėmis ir šilumos siurbliais. Buvo naudojamosi atsinaujinančių energijos sistemų modeliavimo programa „Polysun“. Nustatyta, kad optimizuojant šilumos siurblio valdiklį ir papildomai naudojant 4 kWh bateriją trumpalaikiam elektros energijos kaupimui, skirtinguose tiriamuose objektuose galima vidutiniškai iki 2 kartų padidinti savarankiško elektros energijos suvartojimo dalį.

Reikšminiai žodžiai: šilumos siurblys, efektyvumas, fotovoltinė elektrinė, energija.

Įvadas

Pastatų sektorius atlieka pagrindinį vaidmenį siekiant energetikos ir klimato politikos tikslų. Pavyzdžiui, daugiau nei trečdalis viso energijos suvartojimo sunaudojama patalpoms šildyti, karštam vandeniui ruošti ir vėsinti gyvenamuosiuose ir paslaugų pastatuose [1]. Litgrid duomenimis, Lietuvoje 2022 m. antrąjį ketvirtį namų ūkiuose suvartota elektros energija sudarė 30,3 % bendro elektros energijos suvartojimo [2].

Pastaruoju metu gyvenamiesiems namams šildyti ir buitinio karšto vandens tiekimo sistemoms vis dažniau naudojami oro šilumos siurbliai. Taip yra dėl to, kad oro šilumos siurbliai, pagal direktyvą 2009/28/EB [3], pripažįstami atsinaujinančių energijos šaltinių sistemomis, nes naudoja aeroterminę energiją. Be to, oro šilumos siurbliai sėkmingai pakeičia tradicinius šilumos šaltinius dėl palyginti mažos kainos ir nemokamo šilumos šaltinio – aplinkos oro. [4] Tai yra naudinga ne tik vartotojams, kurie gali sutaupyti mokėdami už energiją, bet ir visam sektoriui, siekiančiam sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir prisidėti prie tvarios ateities.

Elektra varomas šilumos siurblys gali būti derinamas su prie tinklo prijungta saulės elektrine, kad patenkintų dalį ar visą namų elektros energijos poreikį [1]. Tai yra naudinga vartotojams, nes leidžia jiems efektyviai naudoti atsinaujinančios energijos šaltinius, kadangi šilumos siurblys gali naudoti elektros energiją, gaunamą iš saulės elektrinės. Be to, tai yra naudinga visam sektoriui, nes padeda sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir prisideda prie tvarios ateities. Taip pat reikia paminėti, kad derinant šilumos siurblių su saulės elektrine, reikia atsižvelgti į tai, kad saulės elektrinės energijos gamyba yra priklausoma nuo dienos meto, sezono ir oro sąlygų, todėl reikalinga atsarginė elektros energijos šaltinio sistema, kuri užtikrintų stabilų ir patikimą elektros energijos tiekimą. Derinant šias sistemas taip pat reikia atsižvelgti į tam tikras technines ir inžinerines problemas, tačiau, jei tinkamai suprojektuota ir įrengta, šis sprendimas gali būti labai efektyvus ir naudingas.

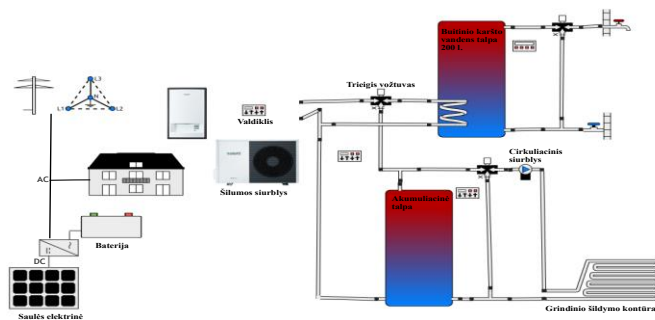
Tyrimo tikslas – įvertinti šilumos siurblių ir saulės elektrinių kombinacijos naudojimą kaip efektyvų energijos šaltinį gyvenamiesiems namams šildyti ir elektros energijai tiekti.

Tyrimo uždaviniai:

1. Nustatyti metines šilumos siurblio energijos sąnaudas.
2. Nustatyti saulės elektrinės metinį generuojamos energijos kiekį.
3. Palyginti vienbučių gyvenamųjų namų energijos sąnaudas pagal energinę klasę naudojant šilumos siurblių ir saulės elektrinių sistemų kombinaciją.
4. Atlikti kombinuotos šilumos siurblio ir saulės elektrinės sistemos modeliavimą naudojant programinę įrangą „Polysun“.

Tyrimo objektai ir metodika

Tyrimu nagrinėjami 3 vienbučiai gyvenamieji namai su įrengtomis saulės elektrinėmis ir šilumos siurbliais oras–vanduo, esantys Marijampolės rajone. Tyrimo laikotarpis apima 2022 metų sausio – gruodžio mėnesius. Vienodas periodas pasirinktas siekiant tirti skirtingus objektus su skirtingų parametrų sistemomis vienodomis klimato sąlygomis. Modeliavimas atliktas naudojant programinę įrangą „Polysun“, kurioje sudarytas sistemos modelis (1 pav.).



1 pav. Modeliavimo schema. Šaltinis: Polysun
Fig. 1. Modeling scheme. Source: Polysun

Bendros suvartotos elektros energijos efektyvumo priklausomybę nuo pagamintos elektros energijos kiekio galima vertinti atsižvelgiant į elektros suvartojimo efektyvumą (3 pav.):

$$\eta_V = \frac{E_{el(PV)}}{E_{el(T)}}$$

čia η_V – visos suvartotos elektros efektyvumo koeficientas; $E_{el(PV)}$ – saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekis, kWh; $E_{el(T)}$ – bendrai suvartotos elektros energijos kiekis, kWh.

$$\eta_{\dot{S}} = \frac{E_{el(PV)}}{E_{el(\dot{S})}}$$

čia $\eta_{\dot{S}}$ – šilumos siurblio suvartotos elektros efektyvumo koeficientas; $E_{el(PV)}$ – saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekis, kWh; $E_{el(\dot{S})}$ – šilumos siurblio suvartotos elektros energijos kiekis, kWh.

Savarankiško elektros energijos suvartojimo dalis apskaičiuojama pagal šią formulę:

$$S = \frac{E_{SC}}{E_{el(PV)}} \cdot 100\%$$

čia S – savarankiško elektros suvartojimo dalis, %; E_{SC} – savarankiškas elektros energijos vartojimas, kWh; $E_{el(P)}$ – saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekis, kWh.

Namo bendrosios skaičiuojamosios energijos sąnaudos vertinamos pagal konkretaus pastato energinio naudingumo sertifikatą. Tiriamuose objektuose elektros energija generuojama naudojant fotovoltinius saulės modulius ir įtampos keitiklius, kurių pagalba nuolatinė srovė paverčiama į kintamąją srovę.

Tyrimui pasirinktų skirtingų statinių charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Pagrindinės gyvenamojo namo sistemų charakteristikos
Table 1. Main characteristics of residential building systems

	Objektas 1	Objektas 2	Objektas 3
Energetinio efektyvumo klasė, statybos metai	A 2019	B 1982 (renovuotas 2021)	F 1958
Gyventojų skaičius	3	4	2
Šilumos siurblio galia kW	7,74	7,74	10
Saulės elektrinės galia kW	11,84	10,01	13,5
Pastato šildomas plotas m ²	128,8	86,94	177,2
Bendrosios pastatui skaičiuojamosios energijos sąnaudos (kWh/m ² -metus)	63,8	112,73	529,67
Saulės moduliai	Bauer BS-M6HBB-GG 370W	Longi LR4-72HBD 455W	Bauer BS-M6HBB-GG 375W
Inverteris	FroniusSymo 12.5-3-M	FroniusSymo 10.0-3-M	FroniusSymo 12.5-3-M
Šildymo sistemos tipas (grindinis / radiatoriai)	grindinis	radiatoriai	radiatoriai
Saulės elektrinės kryptis (°)	0	10	-5
Saulės elektrinės pasvirimo kampas (°)	17	40	45

Tyrimo rezultatai

Tyrimui pasirinkta remtis empiriniais duomenimis, nes nebuvo atlikta jokių matavimų pagamintam ar suvartotam elektros kiekiui nustatyti. Šilumos siurblių suvartotas elektros energijos kiekis šildymui ir karštam vandeniui ruošti gautas

remiantis šilumos siurblių žurnalo (angl. log) duomenimis. Saulės elektrinių pagamintas elektros energijos kiekis nustatytas naudojant įtampos keitiklio monitoringo sistemą:

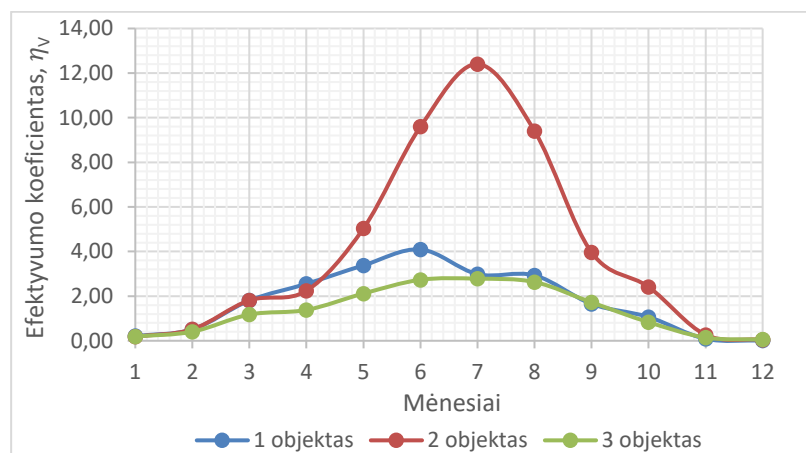
1. objekte pagaminta elektros energija viršija suvartotą elektros energiją 40,60 %.
2. objekte pagaminta elektros energija viršija suvartotą elektros energiją 88,05 %.
3. objekte pagamintas elektros energijos kiekis suvartotą elektros energiją viršija 12,43 %.

2 lentelė. Tyrimo duomenys

Table 2. Research data

	Objektas 1	Objektas 2	Objektas 3
Pagamintas el. kiekis, MWh	13,23	10,99	13,38
Suvartotas bendras el. kiekis, kWh	9446	5847	11905
ŠS suvartotas el. energijos kiekis šildymui, kWh	1979	3189	5131
ŠS suvartotas el. energijos kiekis karštam vandeniui ruošti, kWh	904	669	2079
Patalpoje palaikoma temp. šildymo sezonu, °C	24	21	20
Karšto vandens temp., °C	45	44	50

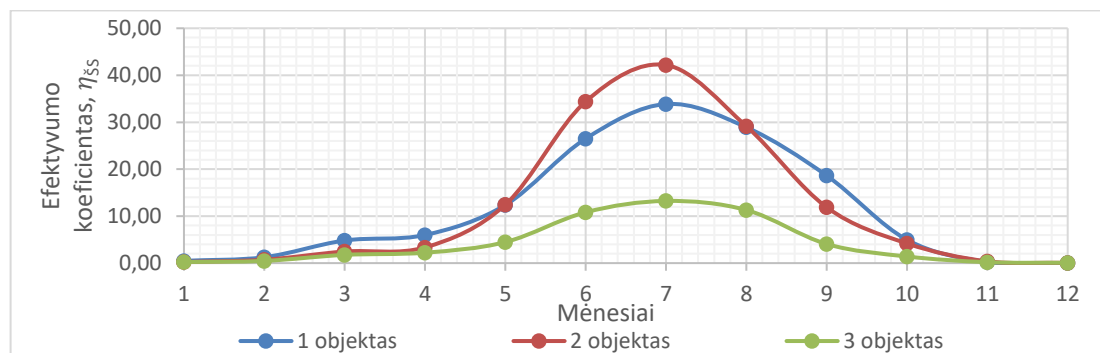
Grafike (2 pav.) pavaizduota trijų tiriamų objektų bendros suvartotos elektros energijos priklausomybė, išreikšta efektyvumo koeficientu, nuo pagamintos elektros energijos per metus. Efektyvumo koeficientas parodo, kiek pagamintos elektros energijos yra vartojama veiksmingai. Visuose trijuose objektuose didžiausias efektyvumo koeficientas buvo šiltuoju metų laikotarpiu dėl didesnio elektros energijos suvartojimo šildymui ir mažesnės elektros energijos gamybos iš saulės elektrinių. 2 objekto efektyvumo koeficientas šiltuoju metų sezonu išsiskiria iš kitų objektų dėl ženkliai mažesnio bendro suvartojamos elektros energijos kiekio.



2 pav. Visos suvartotos elektros energijos efektyvumo priklausomybė nuo pagamintos elektros energijos per metus

Fig. 2. Dependence of the efficiency of the total consumed electricity on the produced electricity per year

Grafike (3 pav.) pavaizduota trijų tiriamų objektų šilumos siurblio suvartotos elektros energijos šildymui ir karštam vandeniui ruošti priklausomybė, išreikšta efektyvumo koeficientu, nuo pagamintos elektros energijos per metus. Tendencija visuose trijuose objektuose išlieka vienoda, kad šiltuoju metų laiku, nuo gegužės iki rugsėjo mėnesio, šilumos siurblio suvartotos elektros energijos priklausomybė nuo pagamintos elektros energijos yra didžiausia. Labiausiai išsiskiria 3 objekto efektyvumo koeficientas dėl didesnio šilumos siurblio elektros suvartojimo karštam vandeniui ruošti vasaros metu ir šildymui šaltuoju metų laiku.

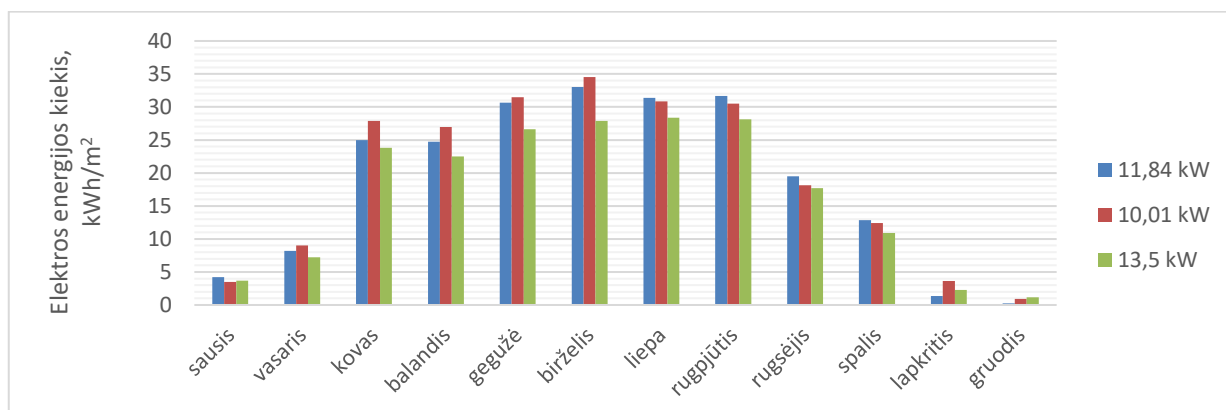


3 pav. Šilumos siurblio suvartotos elektros energijos efektyvumo priklausomybė nuo pagamintos elektros energijos per metus

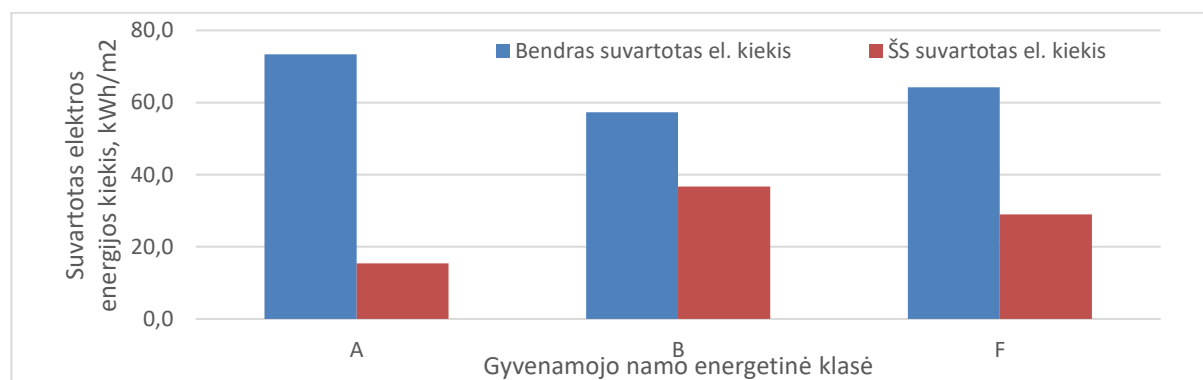
Fig. 3. Dependence of the efficiency of the heat pump consumed electricity on the produced electricity per year

1 objekto saulės elektrinės generuojama elektros energija siekia 222,87 kWh/m²-metus, 2 objekto – 229,84 kWh/m²-metus, 3 objekto – 200,37 kWh/m²-metus.

Tikėtina, kad 3 objekte saulės elektrinės generuojamas elektros kiekis yra mažesnis dėl šalia augančio medžio, kuris uždengia saulės elektrinės kampą nuo rytinės saulės.



4 pav. Metinis pagamintos elektros energijos kiekis skirtingos galios elektrinėse
Fig. 4. Annual amount of electricity produced in powerplants of different capacities



5 pav. Suvartotos elektros energijos pasiskirstymas pagal pastato energetinę klasę
Fig. 5. Distribution of consumed electricity according to the energy class of the building

1 objektas. Pastate gyvena 2 suaugę asmenys ir ikimokyklinio amžiaus vaikas. Patalpoms vėdinti įrengta rekuperacinė sistema, kuri veikia 5 val/parą. Vasaros metu pastatui vėsinti naudojamas kondicionierius oras – oras. Kambariams ir pastatui apšviesti naudojami led šviestuvai, buitinė technika – ne žemesnės nei C energijos efektyvumo klasės. Šildymo sezonu patalpose palaikoma 24 °C temperatūra. Šilumos siurblio elektros energijos suvartojimas (15,4 kWh/m²-metus) yra labai mažas, tačiau bendras suvartojamas elektros kiekis (73,3 kWh/m²-metus) dėl gyventojų vartojimo įpročių yra labai didelis.

2 objektas. Pastate gyvena 2 suaugę asmenys ir 2 ikimokyklinio amžiaus vaikai. Kambariams ir pastatui apšviesti naudojami šviestuvai su led lemputėmis, buitinė technika B ir aukštesnės energijos efektyvumo klasės. Šildymo sezonu patalpose palaikoma 21 °C temperatūra. Šilumos siurblio elektros suvartojimas yra didžiausias (36,7 kWh/m²-metus) iš visų tiriamų objektų, tačiau bendras elektros energijos suvartojimas (57,3 kWh/m²-metus) yra pats mažiausias iš visų tiriamų objektų. Tai parodo gyventojų gebėjimą optimaliai vartoti elektros energiją.

3 objektas. Pastate gyvena 2 suaugę asmenys. Vasaros metu pastatui vėsinti naudojamas kondicionierius oras – oras. Kambariams apšviesti naudojami šviestuvai su led lemputėmis, pastatui ir kiemui apšviesti naudojamos kaitrinės lempos. Buitinė technika ne žemesnės nei D energijos efektyvumo klasės. Šildymo sezonu patalpose palaikoma 20 °C temperatūra. Papildomam pastato šildymui, kai lauko temperatūra žemesnė nei -10 °C, naudojamas kietojo kuro katilas, įjungtas į bendrą šildymo sistemą, todėl tai turi įtakos šilumos siurblio suvartotai elektros energijai (29 kWh/m²-metus), kuri yra mažesnė nei 2 objekto – B energetinės klasės gyvenamojo namo.

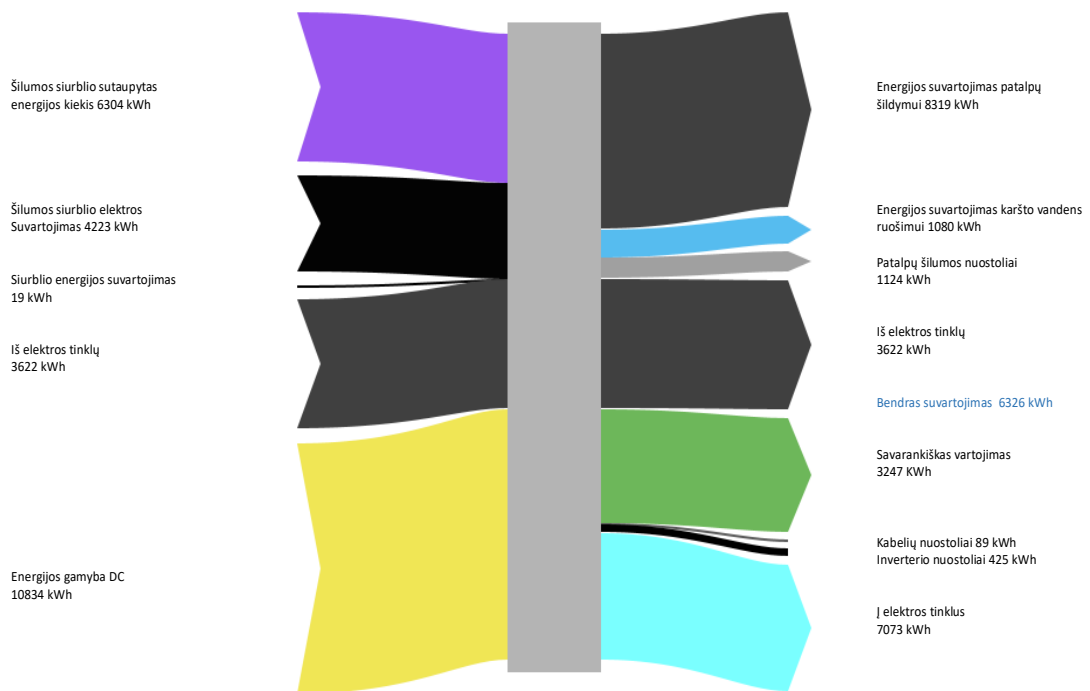
Gyvenamųjų namų energijos sistemoms modeliuoti naudojama „Polysun“ programinė įranga.

PV savaiminis suvartojimas optimizuojamas per dviejų pakopų šilumos siurblio valdiklį. Jei yra pakankamai fotovoltinės energijos pertekliaus, temperatūra buferinėje talpoje ir buitinio karšto vandens rezervuare didinama palaipsniui. Taip pat energijai kaupti naudojama 4 kWh baterija.

Sistemų modelių įvestyse taikomi realūs objektų duomenys.



6 pav. Modeliuojamo 1 objekto energijos srauto diagrama. (Šaltinis: Polysun)
Fig. 6. Energy flow diagram of simulated object 1. (Source: Polysun)



7 pav. Modeliuojamo 2 objekto energijos srauto diagrama. (Šaltinis: Polysun)
Fig. 7. Energy flow diagram of simulated object 2. (Source: Polysun)



8 pav. Modeliuojamo 3 objekto energijos srauto diagrama. (Šaltinis: Polysun)
Fig. 8. Energy flow diagram of simulated object 3. (Source: Polysun)

Išvados

1. Didžiausią įtaką elektros energijos suvartojimui, nevertinant šildymui ir karšto vandens ruošimui naudojamos energijos, daro elektros vartojimo įpročiai, taip pat naudojami papildomi elektros energiją vartojantys prietaisai komfortiškam mikroklimatui palaikyti.

2. Saulės elektrinės generuojama elektros energija, naudojantis nesuvartotos elektros energijos atidavimo į tinklus „pasaugojimui“ paslauga, gali visiškai tenkinti gyvenamojo namo bendrai suvartojamos energijos kiekį.

3. Modeliuojant sistemas nustatyta, kad 1 objekto pasiekta savarankiško elektros energijos vartojimo dalis yra 48,4 % (realus 20,6 %), 2 objekto savarankiško vartojimo dalis – 31,5 % (realus 28,5 %), 3 objekto – 36,4 % (realus 22,9 %).

Literatūra

1. Heinz, A., Rieberer, R. 2021. Energetic and economic analysis of a PV-assisted air-to-water heat pump system for renovated residential buildings with high-temperature heat emission system. *Applied Energy*, Vol.293, 116953.
2. Litgrid 2022. Žemės ūkio, pramonės ir namų ūkių elektros energijos suvartojimas. [žiūrėta 2023 02 12]. Prieiga per: <https://www.litgrid.eu/>
3. Bellos, E., Tzivanidis, C., Moschos, K., Antonopoulos, K. A. 2016. Energetic and financial evaluation of solar assisted heat pump space heating systems. *Energy conversion and management*, Vol. 120, p. 306-319.
4. Chakyrova D., Rusev D., Doseva N. 2020. Estimation of seasonal efficiency of air-to-water heat pump used in heating mode for different climatic zones in Bulgaria. *Journal of Engineering Science and Technology Review SI*, 149–153.
5. Ijaz Dar U., Sartori I., Georges L., Novakovic V. 2014. Advanced control of heat pumps for improved flexibility of Net-ZEB towards the grid. *Energy and Buildings*, Vol. 69, p. 74–84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.019>
6. Knuutinen J., Book H., Ruuskanen V., Kosonen A., Immonen P., Ahola J. 2021. Immonen, P., Ahola, J. 2021. Ground source heat pump control methods for solar photovoltaic-assisted domestic hot water heating. *Renewable Energy*, Vol. 177, p. 732–742. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.139>

ENERGY EFFICIENCY STUDY OF COMBINED HEAT PUMP AND SOLAR POWER PLANT

Summary

The research aims to evaluate the energy efficiency of using an air-to-water heat pump in combination with photovoltaic solar power plants. During the investigation, three residential houses are examined, equipped with solar power plants and air-water heat pumps. Polysun, a simulation program for renewable energy systems, was used to achieve the goal. It was established that by optimizing the heat pump controller and additionally using a 4 kWh battery for short-term storage of electricity in different investigated objects, it is possible to increase the share of independent electricity consumption up to 2 times on average.

Keywords: heat pump, efficiency, photovoltaic powerplant, energy