



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos pritaikymo namo šildymui tyrimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

---

**Gediminas Barčas**

Projekto autorius

**Doc. Dr. Tomas Deveikis**

Vadovas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos pritaikymo namo šildymui tyrimas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

---

**Gediminas Barčas**

Projekto autorius

**Doc. Dr. Tomas Deveikis**

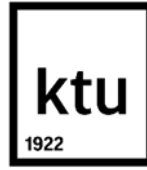
Vadovas

**Dokt. Virginijus Vasylius**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Gediminas Barčas

## **Hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos pritaikymo namo šildymui tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Gedimino Barčo, baigiamasis projektas tema „Hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos pritaikymo namo šildymui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Barčas, Gediminas. Hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemos pritaikymo namo šildymui tyrimas. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Tomas Deveikis; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): energijos inžinerija (inžinerijos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: gyvenamasis namas, saulės elektrinė, šilumos siurblys oras-oras, ekonominis įvertinimas.

Kaunas, 2019. 75 p.

### **Santrauka**

Magistriniame baigiamajame darbe pateikiamas gyvenamojo namo realus tyrimas su saulės elektrine ir šilumos siurbliu oras-oras bei dujų katilu. Atliekamas saulės elektrinės modeliavimas elektros energijos kiekiui nustatyti ir parinkimas gyvenamajam namui pagal galios poreikį. Sudaroma metodika kaip parinkti šilumos siurblio ir dujų katilo galią gyvenamajam namui šildyti. Darbe ištirta saulės elektrinės faktinis elektros energijos generavimas kiekvieną mėnesį, dieną, valandą bei kokia pasiekama maksimali saulės elektrinės galia vasaros ir žiemos laikotarpiu. Atliekamas tyrimas su realiu šilumos siurbliu, kaip suvartojami sukaupti elektros energijos kiekiai elektros tinkle žiemos laikotarpiu, kurie buvo sugeneruoti saulės elektrinės. Analizuojamas dujų katilo dujų suvartojimas žiemos laikotarpiu, kai dirba šilumos siurblys ir dujų katilas. Atliktas saulės elektrinės ekonominis atsipirkimo vertinimas, kai gyvenamojo namui šildymui pasirinktas šilumos siurblys oras-oras.

Barčas, Gediminas. Investigation of a Hybrid Solar Plant and a Heat Pump System Application for Home Heating. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Tomas Deveikis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): energy engineering (engineering sciences).

Keywords: residential house, solar power plant, heat pump air-air, economic evaluation.

Kaunas, 2019. 75.

### **Summary**

The Master's thesis presents a real study of a residential house with air and air as well as a gas boiler with solar power and heat pump. Performing solar power plant modelling to determine the amount of electricity in a residential house and selecting the power required. A methodology is developed to select the heat pump and gas boiler power for heating a residential house. The work investigates solar power plant's actual electricity generation for one month, day, hour and the maximum solar power in summer and winter. A real heat pump is being researched on how the accumulated amounts of solar power in the electricity grid are consumed during the winter period. The gas boiler gas consumption is analyzed during the winter period when the heat pump and gas boiler are operating. The solar power plant's economic payback has been made when the air-to-air heat pump is chosen for heating a residential house.

# TURINYS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Santrumpos ir ženklų aiškinimo žodynas.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Lentelių sąrašas .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Paveikslų sąrašas .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>Įvadas.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>1. Hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemų tyrimo apžvalgos pagal kitus autorius .....</b> | <b>13</b> |
| <b>2. Saulės elektrinės modeliavimas, šilumos siurblio ir dujų katilo parinkimo metodika .....</b>             | <b>19</b> |
| 2.1. Saulės elektrinės modeliavimas .....  | 19        |
| 2.2.1 Šilumos siurblių naudingumo koeficientas ir jo parinkimas .....  | 28        |
| 2.2. Dujų katilo parinkimas .....  | 30        |
| <b>3. Saulės elektrinės, šilumos siurblio ir dujų katilo tyrimo rezultatai .....</b>                           | <b>33</b> |
| 3.1. Saulės elektrinės tyrimo rezultatai .....   | 33        |
| 3.2. Vidutinės oro temperatūros Kauno mieste.....  | 42        |
| 3.3. Šilumos siurblio tyrimo rezultatai.....   | 43        |
| 3.4. Dujų katilo darbo tyrimo rezultatai .....   | 50        |
| <b>4. Saulės elektrinės atsipirkimo skaičiavimų įvertinimas.....</b>   | <b>55</b> |
| <b>Išvados .....</b>   | <b>62</b> |
| <b>Literatūros sąrašas .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>Priedai.....</b>  | <b>66</b> |
| 1 priedas. Šilumos siurblių specifikacija .....  | 67        |
| 2 priedas. Saulės modulių specifikacija .....  | 68        |
| 3 priedas. Inverterio specifikacija .....  | 70        |
| 4 priedas. Išmaniojo elektros skaitiklio specifikacija .....   | 72        |
| 5 priedas. Dujų katilo specifikacija.....  | 75        |

## Santrumpos ir ženklų aiškinimo žodynas

### Santrumpos:

SE – saulės elektrinė

FV – fotovoltinis

COP – šildymo efektyvumo koeficientas

SCOP – šildymo sezoninis įrenginių energijos vartojimo efektyvumo koeficientas

EER – vėsinimo efektyvumo koeficientas

SEER – vėsinimo sezoninis įrenginių energijos vartojimo efektyvumo koeficientas

ESO – energijos skirstymo operatorius

DC – nuolatinė įtampa

## Lentelių sąrašas

|   |    |
|---|----|
| <b>1 lentelė.</b> Inverterio „Fronius Symo 7.0-3-M“ techniniai duomenys.....  | 19 |
| <b>2 lentelė.</b> FV modulių įtampos priklausomybės nuo modulio temperatūros .....  | 22 |
| <b>3 lentelė.</b> Šilumos siurblio parinkimas pagal namo plotą ir šilumos kiekį.....  | 26 |
| <b>4 lentelė.</b> „MSZ-FHVE“ serijos vidinio bloko specifikacija .....  | 26 |
| <b>5 lentelė.</b> „MSZ-FHVE“ serijos išorinio bloko specifikacija .....   | 27 |
| <b>6 lentelė.</b> Galimas prognozuojamas metinis viso gyvenamo namo elektros energijos poreikio skaičiavimo rezultatai .....  | 30 |
| <b>7 lentelė.</b> Modelio „Junkers ZSB 22-3 C“ pagrindiniai duomenys.....   | 31 |
| <b>8 lentelė.</b> Saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekiai, namo suvartotos elektros energijos kiekiai ir sukauptos elektros energijos kiekiai elektros tinkle ..... | 38 |
| <b>9 lentelė.</b> Pagal statybos reglamentą taikytina 1961-1990 m. vidutinė mėnesio lauko oro temperatūra Kauno mieste [16] .....   | 42 |
| <b>10 lentelė.</b> Kauno mieste vidutiniai mėnesių lauko oro temperatūra 2018-2019 metais .....   | 42 |
| <b>11 lentelė.</b> Saulės elektrinės sugeneravimo ir gyvenamojo namo suvartojimo elektros energijos kiekiai .....   | 49 |
| <b>12 lentelė.</b> Duomenys, kurie naudojami ekonominiams skaičiavimams atlikti .....   | 55 |
| <b>13 lentelė.</b> Kapitalo investicijos .....  | 55 |
| <b>14 lentelė.</b> Paskolos grąžinimo grafikas bankui už saulės elektrinės paskolą.....   | 57 |
| <b>15 lentelė.</b> Paskolos grąžinimo grafikas bankui už saulės elektrinę, kai valstybė dotuoja 30 procentų .....   | 59 |



## Paveikslų sąrašas

|  |    |
|--|----|
| <b>1 pav.</b> Inverterio „Fronius Symo 7.0-3-M“ naudingumo priklausomybė nuo generuojamos galios ir įtampos [31].....  | 20 |
| <b>2 pav.</b> Suvestos į programą FV modulio „ViaSolis PRIME 250“ charakteristikos.....  | 20 |
| <b>3 pav.</b> Saulės elektrinės kampu modeliavimas.....  | 21 |
| <b>4 pav.</b> Saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos modeliavimo rezultatai .....  | 21 |
| <b>5 pav.</b> Šilumos siurblio veikimo principas [27] .....  | 25 |
| <b>6 pav.</b> „MUZ-FH25VEHZ“ šilumos siurblio charakteristikos priklausomybė nuo temperatūros ir šiluminės galios kW .....                                       | 28 |
| <b>7 pav.</b> „MUZ-FH50VEHZ“ šilumos siurblio charakteristikos priklausomybė nuo temperatūros ir šiluminės galios kW .....                                       | 29 |
| <b>8 pav.</b> „Fronius Smart Meter 63A-3“ gyvenamojo namo paskirstymo skyde .....  | 33 |
| <b>9 pav.</b> Saulės elektrinės metinis generavimo grafikas neįdiegus ir įdiegus išmanųjį skaitiklį paskirstymo skyde .....                                      | 34 |
| <b>10 pav.</b> Saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekio pasiskirstymas balandžio mėnesį kiekvieną dieną neįdiegus išmanaus skaitiklio.....         | 34 |
| <b>11 pav.</b> Saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis kiekvieną dieną liepos mėnesį įdiegus išmanųjį skaitiklį paskirstymo skyde .....          | 35 |
| <b>12 pav.</b> Gyvenamojo namo elektros energijos suvartojimo grafikas liepos mėnesį kas dieną .....   | 35 |
| <b>13 pav.</b> Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo saulėtos paros generavimo ir suvartojimo grafikas  | 36 |
| <b>14 pav.</b> Saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis sausio mėnesį.....  | 36 |
| <b>15 pav.</b> Gyvenamojo namo suvartojimo grafikas sausio mėnesį .....  | 37 |
| <b>16 pav.</b> Ideali saulės elektrinės generuojama galia su gyvenamo namo elektros prietaisų apkrova.   | 37 |
| <b>17 pav.</b> Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2018 metų liepos mėnesį .....   | 39 |
| <b>18 pav.</b> Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2018 metų rugpjūčio mėnesį..... | 39 |
| <b>19 pav.</b> Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2019 metų sausio mėnesį .....   | 40 |
| <b>20 pav.</b> Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2019 metų vasario mėnesį .....  | 41 |

|   |    |
|---|----|
| <b>21 pav.</b> Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2019 metų kovo mėnesį .....            | 41 |
| <b>22 pav.</b> Šilumos siurblių kontroliniai elektros energijos skaitikliai sumontuoti elektros skyde .....   | 43 |
| <b>23 pav.</b> Gyvenamojo namo elektros energijos suvartojimas su šilumos siurbliu kiekvienos paros grafikas vasario mėnesį .....                                       | 44 |
| <b>24 pav.</b> Šilumos siurblio paros valandinis elektros galios suvartojimas kad palaikytų kambario temperatūra 21 <sup>0</sup> C .....                                | 44 |
| <b>25 pav.</b> Šilumos siurblio valandinis paros darbo režimas pagal nustatytas temperatūras.....   | 45 |
| <b>26 pav.</b> Šilumos siurblio savaitinis darbo režimas pagal nustatytas temperatūras.....   | 45 |
| <b>27 pav.</b> Šilumos siurblio mėnesinis paros darbas kaip palaikoma temperatūra svetainėje pagal oro prognoze ir nustatyta temperatūrą .....                          | 46 |
| <b>28 pav.</b> Šilumos siurblio suvartojamas elektros energijos kiekis per parą gruodžio mėnesį .....   | 46 |
| <b>29 pav.</b> Šilumos siurblio sausio mėnesio sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros .....  | 47 |
| <b>30 pav.</b> Šilumos siurblio vasario mėnesio sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros .....   | 47 |
| <b>31 pav.</b> Šilumos siurblio sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros kovo mėnesį .....   | 48 |
| <b>32 pav.</b> Pirmo ir antro šilumos siurblių elektros energijos suvartojimai pagal lauko temperatūrą...   | 48 |
| <b>33 pav.</b> Šilumos siurblio, gyvenamojo namo su šilumos siurbliu elektros energijos suvartojimas bei saulės elektrinės sugeneruotas elektros energijos kiekis ..... | 50 |
| <b>34 pav.</b> Dujų katilo darbo režimas gyvenamojo namo antrame aukšte.....  | 50 |
| <b>35 pav.</b> Kieto kuro ir dujų katilo darbo režimas paros laikotarpyje.....  | 51 |
| <b>36 pav.</b> Dujų ir kieto kuro katilų veikimas darbo režimas saulėta dieną .....   | 51 |
| <b>37 pav.</b> Antro aukšto temperatūros pokytis veikiant šilumos siurbliui o dujų katilui nustačius neužšalimo režimą .....  | 52 |
| <b>38 pav.</b> Antro aukšto temperatūros pokytis veikiant šilumos siurbliui sekančia dieną, o dujų katilui nustačius neužšalimo režimą .....                            | 52 |
| <b>39 pav.</b> Dujų katilo dujų suvartojimas gruodžio mėnesį kas parą pagal vidutinę lauko temperatūrą  | 53 |
| <b>40 pav.</b> Dujų katilo dujų suvartojimas sausio mėnesį kas parą pagal vidutinę lauko temperatūrą ...  | 53 |
| <b>41 pav.</b> Dujų katilo dujų suvartojimas vasario mėnesį kas parą pagal vidutinę lauko temperatūrą .   | 54 |
| <b>42 pav.</b> Banko paskolos mokėjimų pasiskirstymais per 10 metų .....  | 58 |

**43 pav.** Banko paskolos mokėjimų pasiskirstymais per 10 metų, kai 30 procentų valstybė dotuoja  
..... 61

## Įvadas

Saulės elektrinių technologijos įranga pinga, todėl žmonės gali sau leisti įsirengti saulės elektrines ant gyvenamojo namo stogo ar fasado. Saulės elektrinių atsipirkimas svyruoja nuo 6 iki 9 metų, o brangstant elektros energijos kainai, atsipirkimo laikotarpis mažėja. Šaldymo sistemos, kaip kondicionieriai puikiai susiderina su saulės elektrinių dienos darbu ir gali sunaudoti didžiąją dalį elektros energijos, tačiau žiemos metu reikia naudoti sukauptą elektros energiją tinkle. Dėl šiltesnių žiemų Lietuvoje tam puikiausia tinka šilumos siurbliai oras-oras arba oras-vanduo. Žinoma, galima naudoti ir šilumos siurblius žemė-vanduo, tačiau ši technologija brangesnė už šilumos siurblių oras-oras ar oras-vanduo dėl technologinio įrengimo grunte. Po truputį namuose įrengiamos hibridinės sistemos su akumuliatoriais, leidžiančios likti nepriklausoma autonomine sistema nutrūkus elektros tiekimui iš elektros tinklo arba panaudoti dienos metu sukauptą elektros energijos kiekį iš saulės elektrinės.

**Temos aktualumas:** Saulės elektrinių ir šilumos siurblių technologijos sparčiai pinga, todėl atsiranda galimybės šias technologijas diegti į gyvenamuosius namus. Atliekamas matavimų tyrimas su realia saulės elektrine ir šilumos siurbliais, kurie įrengti gyvenamajame name. Šios sistemos ištyrimas Lietuvos klimato sąlygomis leistų įvertinti šios bendros sistemos veikimą ir ekonomiškumą mažinant gamtinių dujų suvartojimą, tai leistų sumažinti CO<sub>2</sub> kiekio išmetimą į orą.

**Magistro darbo tyrimo tikslas:** Ištirti realios, pastatytos ant gyvenamojo namo, saulės elektrinės ir šilumos siurblio oras-oras bei dujų katilo įvairius suvartojimo, generavimo, darbo režimus ir atlikti ekonominį vertinimą.

### Magistro darbo uždaviniai:

- Sumodeliuoti saulės elektrinę ant gyvenamojo namo stogo ir nustatyti planuojamos ir faktinės pagaminamos elektros energijos kiekį.
- Sudaryti šilumos siurblio oras-oras ir dujų katilo parinkimo metodiką.
- Nustatyti realios saulės elektrinės pasidėjimo (pasaugojimo) elektros tinkle kiekius bei gyvenamojo namo faktinį elektros energijos suvartojimą kas mėnesį ir suvartojamus elektros energijos kiekius iš karto.
- Išanalizuoti saulės elektrinės, šilumos siurblio oras-oras ir dujų katilo darbo režimus bei jų elektros ir dujų suvartojimus pagal lauko ir kambarių temperatūras.
- Atlikti saulės elektrinės ekonominį vertinimą, kai gyvenamasis namas šildymui naudoja šilumos siurblių oras-oras.

**Raktažodžiai:** gyvenamasis namas, saulės elektrinė, šilumos siurblys oras-oras, ekonominis įvertinimas.

## 1. Hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio sistemų tyrimo apžvalgos pagal kitus autorius

Straipsnyje „Analysis is for the application of solar assisted heat pump in Wuhan City, China“ [1] analizuojamos galimybės panaudoti saulės elektrinių generuojamą elektros energiją šilumos siurbliams, kurie šaldytų ir šildytų namus, Vuhan mieste. Išanalizuotos vasaros temperatūros Vuhan mieste bei pateikiamos karščiausio mėnesio vidutinė temperatūra  $29,8\text{ C}^0$  ir didžiausia maksimali  $39,4\text{ C}^0$  temperatūra. Šalčiausio mėnesio vidutinė temperatūra siekia  $4,1\text{ C}^0$  ir nustatoma, kad šildymo periodas trunka 42 dienas, o vidutinė temperatūra  $2,9\text{ C}^0$ . Atlikta meteorologinių duomenų analizė ir nustatyta kiekvieno mėnesio saulėtų valandų kiekis. Susumavus valandas per metus susidaro 1928 valandos. Nustatyta, kad vėlyvą rudenį ir saulėta dieną 11 valandą dienos apšvita siekia tik  $329\text{ W/m}^2$ , o debesuotą dieną apie  $93\text{ W/m}^2$  ir nesiekia  $100\text{ W/m}^2$ . Atlikus analizę, buvo nustatyta, kad nesiekia nei 100 valandų, kai apšvita pasiekia  $700\text{ W/m}^2$  ir 500 valandų, kai apšvita yra mažiau kaip  $100\text{ W/m}^2$ . Nagrinėjant tyrimą nustatyta, kad šilumos siurblių investicija yra brangesnė, bet eksploataavimo laikotarpiu suvartoja mažesnę elektros energijos kiekį.

Straipsnyje „Energy and Economic Assessment of a Hybrid Solar Assisted Heat Pump System“ [2] analizuojama, kaip techniniais sprendimais mažuose gyvenamuose namuose galima sumažinti elektros energijos sąnaudas įdiegus šilumos siurblius, saulės vandens kolektorius ir saulės elektrinę. Paskaičiuota, kad pastačius dujų katilą, pirminės energijos reikės suvartoti 76700 kWh, šilumos siurbliui su saulės elektrine tik 22800 kWh, saulės elektrinei su saulės vandens kolektoriais reikės 16700 kWh. Taigi pirminės energijos galima sutaupyti nuo 53900 iki 60000 kWh. Taip pat analizuojamos įvairios kombinacijos per ekonominius aspektus įvertinat įrangos kainas. Nustatyta, kad saulės elektrinė su saulės vandens kolektoriais atsiperka per 7 metus, o saulės elektrinė su šilumos siurbliu per 8 metus.

Straipsnyje „Study on Hybrid Solar Energy and Ground-Source Heat Pump System“ [3] autoriai sujungia hibridinę sistemą į vieną, kurioje yra šilumos siurblys žemė-vanduo ir saulės vandens kolektoriai. Analizuojamas menamas namas  $200\text{ m}^2$  su šildymo poreikiu  $60\text{ W/m}^2$  bei nustatomos temperatūros gyvenamajame name, kad žiemos metu vyrautų ne mažiau  $+18\text{ C}^0$  ir vasaros metu ne daugiau kaip  $+26\text{ C}^0$ . Paduodama temperatūra į gyvenamojo namo šildymo sistemas  $35-45\text{ C}^0$ , o grįžtamo vandens  $7-12\text{ C}^0$ . Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad šilumos siurblys žemė-vanduo 4 kW elektrinės galios pagamina 16,6 kW šilumos. Nustatyta, kad su hibridine sistema galima atlikti namo šaldymą ir taip efektyviai sumažinti energijos kaštus.

Straipsnyje „Operation of Heat Pump Water Heaters for Restriction of Photovoltaic Reverse Power Flow“ [4] Japonijos mokslininkai pasiūlė vietoje dujų katilų, kurie gamina karštą vandenį, naudoti šilumos siurblius, kurie dienos metu gamina karštą vandenį ir jį saugoti boilerijoje, nes karštas vanduo gyvenamuose namuose sunaudojamas dažniausiai vakare, ir taip kontroliuoti saulės elektrinių galią dienos metu. Pateikiami metiniai poreikiai karšto vandens gamybai 4 žmonių grupei: elektros suvartojimas 22,076 MJ ir dujų suvartojimas 15,682 MJ karšto vandens gamybai, taip pat nustatytas vidutinis elektros suvartojimas gyvenamajam namui 18,745 MJ. Atlikus modeliavimus nustatyta, kad galima sumažinti saulės elektrinių generavimo srautus dienos metu, suvartojant elektros energiją iš karto, gyvenamajam namui šildant vandenį, panaudojant šilumos siurblius.

Straipsnyje „Solar Photovoltaic and thermal System for Electricity generation, Space Heating and Domestic Hot Water in a residential Building“ [5] atliekama analizė, kad studentų bendrabučio pastate, kuris yra Italijoje, Milano mieste, planuojama integruoti saulės elektrinę ant stogo, saulės vandens kolektorius bei šilumos siurblių žemė-vanduo. Atliekamas modeliavimas su programa „CENED“ ir nustatoma, kad metinio pastato šildymui ir karšto vandens ruošimui reikės 24,8 MWh ( $62,9 \text{ kWh/m}^2$ ) energijos bei nustatomi pastato energijos nuostoliai. Pasirenkamas šilumos siurblys su nominalia galia 15,1 kW ir COP 4,6 bei modeliavimo metu nustatoma, kad šilumos siurblio veikimo periodu, jo vidutinis COP bus apie 3,8. Taip pat studentų bendrabučio vidutinis elektros energijos suvartojimas per metus 7 MWh. Tačiau jeigu būtų naudojama pirminė energija pastatui apšildyti, tai jos poreikis būtų 15 MWh. Parenkama saulės elektrinė, kurios galia yra 4,62 kW, FV modulio galia 210 W ir jo efektyvumas 14,2 %. Pagal gautus modeliavimo rezultatus planuojama, kad saulės elektrinė sugeneruos 5,3 MWh elektros energijos, o vandens paruošimui naudojami du saulės vandens kolektorių blokai, kurių paviršius  $5,1 \text{ m}^2$  ir nustatoma, kad bus reikalingas karšto vandens ruošimui 4300 kWh poreikis. Nustatyta, kad šilumos siurblio atsiperkamumas 8-9 metai, saulės elektrinės 12-13 metų, saulės vandens kolektorių atsipirkimas 7 metai.

Straipsnyje „Synergy of Geothermal Heat pump and FV plant for buildings block“ [6] tyrinėjamas objektas yra universiteto pagrindinis pastatas ir studentų bendrabučiai, esantys Milane. Atliekami šeši skaičiavimo scenarijai: pirmas – kombinuotas šildymas ir šaldymas (kombinuoto ciklo elektrinė 150 kW) su šilumos siurblys žemė-vanduo, kurio galia 1000 kW, antras – kombinuotas šildymas ir šaldymas (kombinuoto ciklo elektrinė 150 kW) ir šilumos siurblys oras-oras, kurių galia 1400 kW, trečias – tik šilumos siurblys žemė-vanduo 1000 kW, ketvirtas – šilumos siurblys oras-oras 1400 kW, penktas – kondensacinis dujų katilas 1200 kW ir oras-vanduo aušintuvas, šeštas – šilumos siurblys žemė-vanduo 1000 kW ir saulės elektrinė 445 kW, kurios plotas  $5300 \text{ m}^2$ . Kondensacinis dujų katilas, tai pigiausias variantas įrengimo atžvilgiu, bet brangiausias eksploataavimo laikotarpiu. Atliekami ekonominiai skaičiavimai, kai palūkanos yra 5 procentai bei aplinkos CO<sub>2</sub> vertinimas pagal visus šešis scenarijus. Pagal atliktus scenarijų skaičiavimus, geriausia atitiko reikalavimus šeštas scenarijus, tai yra šilumos siurblys žemė-vanduo 1000 kW su saulės elektrine 445 kW, bet tai yra brangiausia investicija lyginant su kitais.

Kituose užsienio straipsniuose kaip „Prevention of output suppression through heat pump water heaters for high-penetration residential FV systems“ [7] šiltesnio klimato šalyse siūloma naudoti saulės energiją šildydami vandenį ne elektriniais boileriais, o šilumos siurbliais, kurie skirti ruošti karštą vandenį ir talpinti į boilerį, ir taip sumažinti saulės elektrinių galią tinkle piko metu bei valdyti įtampas. Taip pat straipsnyje „Design and Evaluation of Photovoltaic/thermal Assisted Heat Pump water heating System“ [8] atliekamas modeliavimas su saulės elektrine ir šilumos siurbliu, kuris ruošia karštą vandenį ir talpina į boilerį.

Straipsnyje „Management strategy for unbalanced LV distribution network with electric vehicles heat pumps and domestic photovoltaic penetration“ [9] atliekamas modeliavimas, kaip galima suvaldyti saulės elektrinių generuojamą galią žemos įtampos mazguose, žemos įtampos tinkle, kai prijungiami prie tinklo elektromobiliai, šilumos siurbliai. Straipsnyje pateikiami gauti rezultatai, kaip sumažėja įtampos ir srovės tam tikruose mazguose ir taip išlyginamas transformatoriaus apkrovimas.

Straipsnyje „Decentralised heat pumps and small electricity storages as active components in a virtual power plant for smart grid services“ [10] analizuojamos galimybės, kaip decentralizuotos sistemos gali atlikti elektros galios valdymą, panaudojant protingą valdiklį, leidžiantį valdyti šilumos siurblių, kuris tampa, kaip reguliuojama apkrova. Perteklinė elektros energija iš saulės elektrinių suvartojama šilumos siurblio, kuris gamina karštą vandenį ir vanduo patalpinamas į akumuliacines talpas, iš kurių naudojama pastato šildymui ar karštam vandeniui ruošti. Atlikta analizė iš gautų saulės elektrinės monitoringo duomenų ir kurių pagalba atliekamas sistemos modeliavimas. Hibridinė sistema išplečiama pridėdant akumuliacines baterijas ir šilumos siurblio sistema su akumuliacine talpa. Atlikus sukurto hibridinio modelio modeliavimus gauti geri rezultatai, kurie leido sumažinti saulės elektrinės generuojamas maksimalias galias dienos metu elektros tinkle, valdant šilumos siurblių ir akumuliatorių krovimą.

Straipsnyje „The Cooperative Control Method of Customer’s Appliances for Stable Operation of Power Systems in Large Penetration of FV“ [11] analizuojami elektros energetikos sistemos režimai, kai vasarą saulės elektrinės generuoja maksimalią galią ir viršija vartotojų poreikio galią, sprendžiamas klausimas, kaip padidinti apkrovos galią. Pasiūlyta panaudoti vartotojų šilumos siurblius, kurie ruošų karštą vandenį saulės elektrinių piko metu ir taip sumažintų saulės elektrinių generuojamą galią elektros energetikos sistemoje. Atlikus modeliavimus nustatyta, kad panaudojus šilumos siurblius karštam vandeniui ruošti, padidėjo efektyvumas išnaudojant saulės elektrinių galios generavimus, suvartojant galią iš karto, dėl to buvo užtikrinamas elektros energetinis sistemos stabilumas.

Straipsnyje „FV Curtailment Reduction with Smart Homes and Heat Pumps“ [12] rašoma, kad Vokietijoje skirstomojo tinklo operatorius turi apriboti saulės elektrinių generuojamą galią ir taip neišnaudojamas atsinaujinančių šaltinių potencialas. Todėl pasiūloma įdiegti šilumos siurblius su protingais valdikliais, kurie gamintų šilumą ir karštą vandenį, kad sumažintų saulės elektrinių galios ribojimus vidurdienio metu ir tai leistų išnaudoti saulės elektrinės generuojamos galios suvartojimą piko metu.

Atlikus žemos įtampos modeliavimus bei skaičiavimus nustatyta, kad galima stabilizuoti galios srautus žemos įtampos elektros tinkle, kai saulės elektrinės generuoja piko metu. Modeliavimas parodė, kad pavyko sumažinti energijos nuostolius skirstomajame elektros tinkle, valdant šilumos siurblius vasaros sezonu.

Straipsnyje „Optimization of Residential FV and Water Heating System“s Configuration and Operation Using Multi-Objective particle Swarm Optimisation” [13] taip pat atliekamos analizės ir modeliavimai, kaip subalansuoti suvartojimą ir generavimą, kai prijungtos saulės elektrinės prie elektros tinklo namų poreikiams. Viena iš sprendimo būdų išspręsti balansavimo problemą, tai panaudoti vandens šildytuvus arba šilumos siurblius, kurie gamina karštą vandenį. Atliekami modeliavimai vasaros, žiemos, rudens ir pavasario sezonais ir gauti rezultatai kurie priklauso nuo sezoniškumo.

Straipsnyje „Analysis of Micro-grid Itegration with FV, Energy Storage and Ground-Source Heat Pump Baseded on DeST Simulation“ [14] daroma mikro tinklo modeliavimas su saulės elektrinėmis, elektros energijos saugojimu akumuliatoriuose bei šilumos siurbliu žemė-vanduo. Objektas modeliavimui pasirinktas „Hebei Electric Power Research Institute“ pagrindinis pastatas, pateikiamos pastato ir patalpų pagrindinės charakteristikos. Tyrimams naudojama modeliavimo

programa „DeSt“, skirta elektros sistemų apkrovos skaičiavimams atlikti pastatuose. Nustatyta, kad pastato šildymo galia 215 kW ir šaldymo galia 395 kW bei atlikti vasaros ir žiemos modeliavimai mikro tinklo lygmenyje.

Straipsnyje „Smart Management System of Customer’s Battery and Heat Pump Water Heater considering the Japanese New Rule for Curtailment of FV Output“ [15] išanalizuota, kad Japonijoje 2015 metais saulės elektrinių instaliuota galia siekė 30 GW ir šviesios dienos vidurdienyje atsiranda saulės elektrinių perteklinė elektros energija energetinėje sistemoje. Todėl Japonija nustatė naujas taisykles saulės elektrinėms, kad elektros energetinė sistema išlaikytų stabilumą nuo saulės elektrinių perteklinės generuojamos galios. Straipsnio autoriai išplėtojo planavimo metodiką, kad vietiniai vartotojai suvartotų perteklinę SE galią. Modeliavimo rezultatai parodė kad pasiūlyta planavimo metodika gali sumažinti elektros vartotojų sąskaitas 10-20 % ir sumažinti saulės elektrinių generavimo ribojimus 10-20 %.

Straipsnyje „Kullback-Leibler divergence-based distributionally robust optimisation model for heat pump day-ahead operational schedule to improve FV integration“ [16] panaudojama „DRO“ prognozavimo modeliavimo programa, kuri leidžia suderinti šilumos siurblių darbo grafiką vieną dieną prieš, pagal orų prognozę ir taip padidinti suvartojamą elektros energiją iš saulės elektrinių galios, ją suvartojant iš karto žemos įtampos tinkle. Ši modeliavimo programa leidžia kaupti duomenis susijusius su oro prognozėmis, saulės elektrinės generuojamos galios bei apkrovos prognozavimo paklaidas. Šis modelis parodė, kad sukurtas algoritmas gali išspręsti skirstomojo elektros tinklo problemas su saulės elektrinėmis ir didelės galios šilumos siurbliais.

Straipsnyje „Incentive design, sizing and grid integration of residential FV system with heat pump and battery storage systems“ [17] sakoma, kad keičiantis technologijoms, skirstomojo tinklo operatorius priverstas integruoti saulės elektrines į elektros tinklą, tačiau jau su baterijų technologija bei šilumos siurbliais. Išbandytas optimizavimo modelis su šiomis technologijomis leido sumažinti elektros vartotojams elektros išlaidas bei suvartoti saulės elektrinės generuojamas maksimalias galias ir išvengti saulės elektrinės galios ribojimų, bei padidinti saulės elektrinių instaliuojamas galias gyvenamiesiems namams.

Straipsnyje „FV Driven Heat Pumps for the Electric Demand-Side Management: Experimental Results of a Demonstrative Plant“ [18] pateikiama instaliuota protinga kondicionavimo sistema su šilumos siurbliu ir akumuliacine talpa, kuri įrengta Calabrijos universitete. Taip pat instaliuota 4 kW saulės elektrinė, kuri dirba mikro tinkle, kondicionavimo sistema ar šilumos siurblys suvartoja perteklinę saulės elektrinės elektros energiją. Akumuliacinės talpos tampa kaip elektros apkrova ir padengia pastato šilumos ir šalčio poreikius. Protinga valdymo sistema veikia efektyviai su šildymo ir šaldymo akumuliacinėmis talpyklomis ir taip ši valdymo sistema leidžia pastatui būti mažiau priklausomam nuo išorinių šildymo ir elektros tinklų.

Straipsnyje „Interaction between a wind-FV-battery-heat pump trigeneration system and Office building electric energy demand including vehicle charging“ [19] pristatoma patikimumo ir stabilumo analizė su atsinaujinančių šaltinių hibridine sistema, kuri susideda iš saulės elektrinės, vėjo elektrinės ir elektros saugojimo baterijos, šilumos siurblių, elektros įrenginių apkrovos bei elektromobilių pakrovimo stotelės. Dinaminio stabilumo rezultatai parodė, kad baterijos skirtos kaupti elektros energijai. Šią sistemą palaiko parengtyje ir padidėja patikimumas.



Straipsnyje „Sizing and Improved Grid Integration of Residential FV Systems With Heat Pumps and Battery Storage Systems“ [20] analizuojamos galimybės, kaip suvartoti saulės elektrinių generuojamą galią iš karto prie vietinės apkrovos. Tai gali atlikti baterijos, kaupiančios elektros energiją ir šilumos siurbliai. Vokietijoje planuojama, kad gyventojų įsirengtos saulės elektrinės ant gyvenamojo stogo ir prijungtos į elektros tinklą, turi ateityje atiduoti nulį elektros energijos. Tai galima atlikti plėtojant baterijas ir valdant šilumos siurblius, kurie tiektų šildymą ir karštą vandenį gyvenamajam namui. Šilumos siurbliai su akumuliatoriais gali suvartoti 36 % maksimalios saulės elektrinės galios ir jei būtų panaudoti tik šilumos siurbliai, tai siektų 21 %.

Apžvelgus lietuvių autorių straipsnius, nerasta realios hibridinės saulės elektrinės ir šilumos siurblio oras-oras tyrimo gyvenamajam namui ar kažko panašaus, tačiau galima rasti atskirų sistemos tyrimų, kurie apžvelgiami žemiau.

Straipsnyje „Saulės energijos panaudojimas gyvenamiesiems namams“ [21] rašoma apie daugiabučių panaudojimą saulės elektrinėms įrengti. Nustatyta, kokį FV modulių svorį gali atlaikyti daugiabučių namų plokšti stogai. Sukurtas saulės energijos matavimo modulis, leidžiantis gauti tikslius duomenis apie saulės energijos svyravimus realiame laike ir nustatyti saulės elektrinės efektyvumą.

Straipsnyje „Saulės energijos panaudojimo modernizuojamuose daugiabučiuose analizė“ [22] nagrinėjamos finansinės galimybės daugiabučiuose įdiegti saulės elektrines ir kitas, su saule susietas sistemas. Išanalizuoti 5, 9 ir 16 aukštų standartiniai daugiabučių pastatai, kuriems nustatomi optimaliausi technologiniai deriniai ir sprendimai. Pateikiama, kad ant 5 aukštų daugiabučio instaliavus 30 kW saulės elektrinę, per metus butų padengiamas 49,8 % viso namo elektros poreikis, ant 9 aukštų daugiabučio instaliavus 17 kW saulės elektrinę, per metus butų padengiamas 19 % viso daugiabučio namo suvartojimo elektros poreikis, ir ant 16 aukštų daugiabučio namo instaliavus 16 kW saulės elektrinę, per metus butų padengiamas 11 % viso namo suvartojimo elektros poreikis. Apskaičiuotas įrengtų saulės elektrinių ant daugiabučių stogų atsiperkamumas, kuris svyruoja nuo 9 iki 14 metų.

Straipsnyje „Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo galimybės daugiabučiuose namuose“ [23] aptariamos įvairios atsinaujinančių šaltinių technologijos ir jų pritaikymas daugiabučiams. Siūloma daugiabučių namuose, patalpoms ir vandeniui šildyti naudoti didelės galios šilumos siurblius oras-vanduo, kuriuos butų galima įrengti kiekvienoje laiptinėje. Taip pat siūloma kurti daugiabučio mikro tinklą su saulės ir vėjo elektrinėmis bei naudoti butams ir bendriems namo elektros poreikiams tenkinti.

Straipsnyje „Šilumos siurblio tyrimai“ [24] pagrindinis tyrimo tikslas yra parinkti šilumos siurblio sistemą Lietuvos sąlygomis gyvenančiam vartotojui. Atlikus tyrimus nustatyta, kad šilumos siurblių žemė-vanduo sistemos yra aukšto energetinio efektyvumo įrenginiai, puikiai tinkantys Lietuvos klimato sąlygomis, tačiau pagrindinis šios technologijos trūkumas yra didelės įrengimo išlaidos, dėl ko prailgėja atsipirkimo laikas.

Straipsnyje „Šilumos siurblio darbo režimo analizė“ [25] parodomas realiai veikiančio šilumos siurblio žemė-vanduo energijos sąnaudos. Nustatyta kad efektyviam šildymo sistemos darbui su šilumos siurbliais reikia parinkti ir paskaičiuoti tinkamos galios šilumos siurblių. Nustatyta, kad faktinis šilumos siurblio naudingumo koeficientas SPF atitinka standartų reikalavimus. Taip pat

atlikta šilumos siurblio faktinių režimų duomenų analizė ir nustatyta elektros sąnaudos sudaro vidutiniškai 27 % suminio energijos poreikio pastato šildymui, o 73 % pastato energijos poreikio sudaro iš aplinkos (grunto) išgautas energijos poreikis.

## 2. Saulės elektrinės modeliavimas, šilumos siurblio ir dujų katilo parinkimo metodika

### 2.1. Saulės elektrinės modeliavimas

Saulės elektrinės galios parinkimas ir sumodeliavimas gyvenamajam namui yra paprastas kai nėra įrengtų šilumos siurblių. Preliminariai tereikia paimti iš ESO duomenų bazės gyvenamojo namo elektros metinį suvartojimą (kWh), padalinti iš 1000 ir taip gaunama, kiek kilovatų galios saulės elektrinės reikia, jeigu namuose per metus suvartojama apie 5000 kWh. Tuomet reikės įrengti apie 5 kW galios saulės elektrinę. Vartotojui leidžiama įsirengti iki 10 kW saulės elektrinę savo poreikiams ir ją prijungti prie elektros tinklo. Žinoma, taip pat galioja ir suprastinta 5 kW saulės elektrinės prijungimo tvarka prie elektros tinklo savo poreikiams.

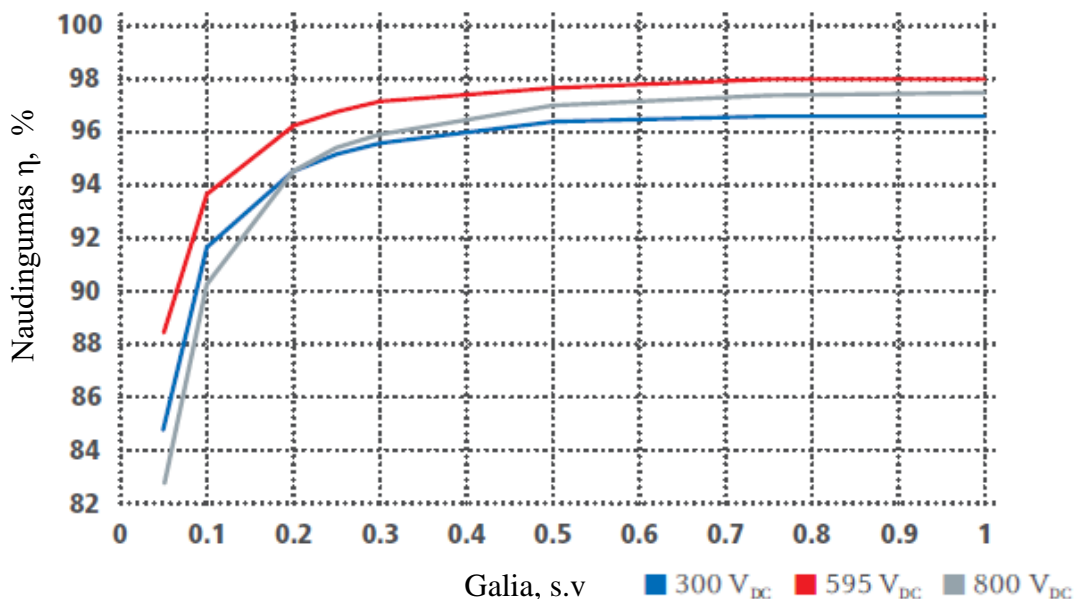
Tačiau tiksliai apskaičiuoti saulės elektrinės galią ir jos pagaminamos elektros energijos kiekį, reikia įvertinti stogo nuolydį, kryptį, FV modulių charakteristikas ir keitiklio galią bei tipą. Taip pat reikia įvertinti, ar nesusidarys šešėliai, kurie susidaro dėl stogo konstrukcijos ypatumų (stogelių, kaminų), ar aplinkoje augančių aukštų medžių. Visa tai galima atlikti pasirenkant saulės elektrinių modeliavimo programas, kurios iki smulkmenų įvertina saulės elektrinės pagaminamos energijos kiekį pagal pasirinktus FV modulius ir keitiklio tipą, stogo konstrukciją.

Parinkamas „Fronius Symo 7.0-3-M“ inverteris, kurio techniniai duomenys pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Inverterio „Fronius Symo 7.0-3-M“ techniniai duomenys

| <b>NĮ (nuolatinės įtampos) pusė</b>  | <b>Parametrai</b> |
|--------------------------------------|-------------------|
| Nominali maksimali galia, W          | 14 kW             |
| Minimali ir maksimali įtampa, V      | 150-1000 V        |
| Įsijungimo įtampa, V                 | 200 V             |
| Maksimali įėjimo srovė A / įėjimas B | 24/24 A           |
| Nominali galia,                      | 7 kW              |
| Maksimali pilnutinė galia            | 7 kVA             |
| Nominalus įtampos kitimas            | -30 %...+20 %     |
| Dažnio kitimas                       | ±5 Hz,            |
| Nominalus tinklo dažnis              | 50/60 Hz          |
| Maksimali išėjimo srovė              | 10,1 A            |
| Galios faktorius                     | 0,85-1            |
| Keitiklio efektyvumas $\eta$ , %     | 98-98,1           |

Inverteris yra viena iš pagrindinių saulės elektrinės dalių, todėl būtina atkreipti į inverterio turimą MPPT skaičių ir efektyvumą. Inverterio efektyvumas priklauso nuo generuojamosios galios ir DC įtampos, kurią sudaro FV modulių grupė. 1 paveiksle pateikiama inverterio „Fronius Symo 7.0-3-M“ naudingumo priklausomybė nuo generuojamosios galios ir nuo įtampos.



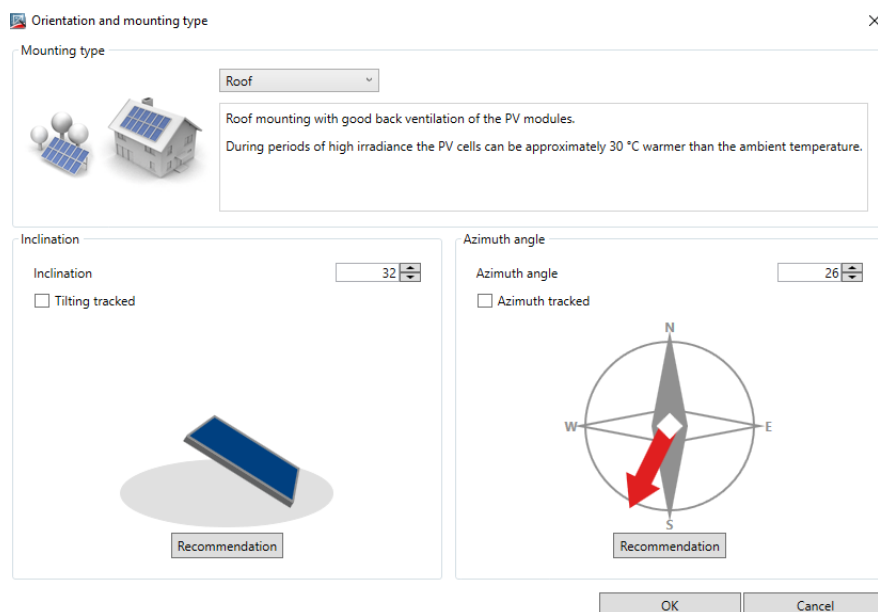
1 pav. Inverterio „Fronius Symo 7.0-3-M“ naudingumo priklausomybė nuo generuojamos galios ir įtampos [30]

Prieš atliekant modeliavimą su programa „Sunny design“, suvedama FV modulio „ViaSolis PRIME 250“ charakteristikos [29] į programą (2 paveikslas), nes to modelio duomenų bazėje nebuvo.

| Information                       |                          | Temperature coefficients: %/°C mV/°C |                |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Manufacturer:                     | ViaSol                   | MPP-voltage:                         | 0.0000 0.0     |
| PV module:                        | 250                      | Open-circuit voltage:                | -0.3400 -127.7 |
| Cell technology:                  | poly                     |                                      |                |
| Current PV module:                | <input type="checkbox"/> |                                      |                |
| <b>Electric properties:</b>       |                          | % / °C mA / °C                       |                |
| Nominal power:                    | 250.00 Wp                | Short-circuit current:               | 0.0500 4.44    |
| Performance tolerance:            | 5 %                      |                                      |                |
| MPP-voltage:                      | 30.14 V                  | <b>Degradation due to aging:</b>     | %              |
| MPP-current:                      | 8.30 A                   | Open-circuit voltage tolerance:      | ---            |
| Open-circuit voltage:             | 37.57 V                  | MPP-voltage tolerance:               | ---            |
| Short-circuit current:            | 8.87 A                   |                                      |                |
| Permissible system voltage:       | 1000 V                   |                                      |                |
| PV module efficiency (STC):       | 15.08 %                  |                                      |                |
| Grounding recommendation:         | No grounding             |                                      |                |
| <b>Mechanical properties:</b>     |                          | MPP-current tolerance:               | ---            |
| Number of cells in the PV module: | 60                       | Short-circuit current tolerance:     | ---            |
| Weight:                           | 27.30 kg                 | <b>Comment:</b>                      |                |
| Length:                           | 1673 mm                  |                                      |                |
| Width:                            | 991 mm                   |                                      |                |

2 pav. Suvestos į programą FV modulio „ViaSolis PRIME 250“ charakteristikos

Atliekamas saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos modeliavimas su modeliavimo programa „Sunny design“, įvedamas stogo konstrukcijos nuolydžio kampas 32 laipsniai ir saulės elektrinės pastatymo azimuto kampas 26 laipsniai. Tai matome 3 paveiksle.



**3 pav.** Saulės elektrinės kampu modeliavimas

Šešėliai nevertinami ir neskaičiuojami, nes stogas šlaitinis ir visas šlaitas į pietų pusę. Taip pat kaminais ir kiti įrenginiai šiaurinėje stogo šlaito dalyje, todėl nėra galimybės, kad sudarytų šešėlius ant FV 7,25 kW saulės elektrinės. Gauti modeliavimo rezultatai pavaizduoti 4 paveiksle.

| Annual energy yield (approx.) | Spec. energy yield (approx.) | Energy usability factor | Number of inverters | Inverter efficiency | Performance ratio (approx.) | Line losses (in % PV energy) |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 6557.90 kWh                   | 905 kWh/kWp                  | 100 %                   | 1                   | 95.8 %              | 83.8 %                      | 0.24 %                       |
| 6557.90 kWh                   | 905 kWh/kWp                  | 100 %                   | 1                   | 95.8 %              | 83.8 %                      | 0.24 %                       |
| 6557.90 kWh                   | 905 kWh/kWp                  | 100 %                   | 1                   | 95.8 %              | 83.8 %                      | 0.24 %                       |

**4 pav.** Saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos modeliavimo rezultatai

Atlikus modeliavimą su programa „Sunny design“, nustatytas keitiklio efektyvumas 96 procentai ir pagaminamos elektros energijos kiekis 6557 kWh per metus.

Atliekamas modeliavimas realios 7,25 kW saulės elektrinės su programa „Fronius solarconfigurator“ [26]. Tiriama, kaip pakyla įtampa FV modulių grandinėse nuo FV modulių skaičiaus ir FV modulių temperatūros. Saulės elektrinė sudaryta iš 29 FV „ViaSolis PRIME 250“ modulių, vienoje A grandinėje 15 FV modulių ir kitoje B grandinėje 14 FV modulių ir visos prijungtos prie inverterio, ir atskiro MMPT įėjimo. Atlikus modeliavimą, gautos fotovoltinių

modulių grupių įtampos prie skirtingu grupių įtampos. Pagal FV modulių temperatūrą gauti rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

**2 lentelė.** FV modulių įtampos priklausomybės nuo modulio temperatūros

| FV modulio<br>temperatūra °C | 15 FV modulių grupė A              |   | 14 FV modulių grupė A              |   |
|------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|---|
|                              | MPP įtampa<br>prie<br>temperatūros | Atviros<br>grandinės<br>įtampa prie<br>temperatūros | MPP įtampa<br>prie<br>temperatūros | Atviros<br>grandinės<br>įtampa prie<br>temperatūros |
| -20                          | 538,32                             | 649,77  | 502,43                             | 606,45  |
| -19                          | 536,41                             | 647,86  | 500,65                             | 604,67  |
| -18                          | 534,49                             | 645,94  | 498,6                              | 602,88  |
| -17                          | 532,57                             | 644,02  | 497,07                             | 601,09  |
| -16                          | 530,66                             | 642,11  | 495,28                             | 599,30  |
| -15                          | 528,74                             | 640,19  | 493,49                             | 597,51  |
| -14                          | 526,83                             | 638,28  | 491,70                             | 595,72  |
| -13                          | 524,91                             | 636,36  | 489,92                             | 593,94  |
| -12                          | 522,99                             | 634,44  | 488,13                             | 592,15  |
| -11                          | 521,08                             | 632,53  | 486,34                             | 590,36  |
| -10                          | 519,16                             | 630,61  | 484,55                             | 588,57  |
| -9                           | 517,25                             | 628,70  | 482,76                             | 586,78  |
| -8                           | 515,33                             | 626,78  | 480,97                             | 584,99  |
| -7                           | 513,41                             | 624,86  | 479,19                             | 583,21  |
| -6                           | 511,50                             | 622,95  | 477,40                             | 581,42  |
| -5                           | 509,58                             | 621,03  | 475,61                             | 579,63  |
| -4                           | 507,67                             | 619,12  | 473,82                             | 577,84  |
| -3                           | 505,75                             | 617,20  | 472,03                             | 576,05  |
| -2                           | 503,83                             | 615,28  | 470,24                             | 574,26  |
| -1                           | 501,94                             | 613,37  | 468,46                             | 572,48  |
| 0                            | 500,00                             | 611,45  | 466,67                             | 570,69  |
| 1                            | 498,09                             | 609,54  | 464,88                             | 568,90  |
| 2                            | 496,17                             | 607,62  | 463,09                             | 567,11  |
| 3                            | 494,25                             | 605,70  | 461,30                             | 565,32  |
| 4                            | 492,34                             | 603,79  | 459,51                             | 563,53  |
| 5                            | 490,42                             | 601,87  | 457,73                             | 561,75  |
| 6                            | 488,51                             | 599,96  | 455,94                             | 559,96  |
| 7                            | 486,59                             | 598,04  | 454,15                             | 558,17  |
| 8                            | 484,67                             | 596,12  | 452,36                             | 556,38  |
| 9                            | 482,76                             | 594,21  | 450,57                             | 544,59  |

|    |        |        |        |        |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 10 | 480,84 | 592,29 | 448,78 | 552,80 |
| 11 | 478,92 | 590,37 | 447,00 | 551,02 |
| 12 | 477,01 | 588,46 | 445,21 | 549,23 |
| 13 | 475,09 | 586,54 | 443,42 | 547,44 |
| 14 | 473,18 | 584,63 | 441,63 | 545,63 |
| 15 | 471,21 | 582,71 | 439,84 | 543,86 |
| 16 | 469,34 | 580,79 | 438,05 | 542,07 |
| 17 | 467,43 | 578,88 | 436,27 | 540,29 |
| 18 | 465,51 | 576,96 | 434,48 | 538,50 |
| 19 | 463,60 | 575,05 | 432,69 | 536,71 |
| 20 | 461,68 | 573,13 | 430,90 | 534,92 |
| 21 | 459,76 | 571,21 | 429,11 | 533,13 |
| 22 | 457,85 | 569,30 | 427,32 | 531,34 |
| 23 | 455,93 | 567,38 | 425,54 | 529,56 |
| 24 | 454,02 | 565,47 | 423,75 | 527,77 |
| 25 | 452,10 | 563,55 | 421,96 | 525,98 |
| 26 | 450,18 | 561,63 | 420,17 | 524,19 |
| 27 | 448,27 | 559,72 | 418,38 | 522,40 |
| 28 | 446,35 | 557,80 | 416,60 | 520,62 |
| 29 | 444,44 | 555,89 | 414,81 | 518,83 |
| 30 | 442,52 | 553,97 | 413,02 | 517,04 |
| 31 | 440,60 | 552,05 | 411,23 | 515,25 |
| 32 | 438,69 | 550,14 | 409,44 | 513,46 |
| 33 | 436,77 | 548,22 | 407,65 | 511,67 |
| 34 | 434,86 | 546,31 | 405,87 | 509,89 |
| 35 | 432,94 | 544,39 | 404,08 | 508,10 |
| 36 | 431,02 | 542,47 | 402,29 | 506,31 |
| 37 | 429,11 | 540,56 | 400,50 | 504,52 |
| 38 | 427,19 | 538,64 | 398,71 | 502,73 |
| 39 | 425,28 | 536,73 | 396,92 | 500,94 |
| 40 | 423,36 | 534,81 | 395,14 | 499,16 |
| 41 | 421,44 | 532,89 | 393,35 | 497,37 |
| 42 | 419,53 | 530,98 | 391,56 | 495,58 |
| 43 | 417,61 | 529,06 | 389,77 | 493,79 |
| 44 | 415,69 | 527,14 | 387,98 | 492,00 |
| 45 | 413,78 | 525,23 | 386,19 | 490,21 |
| 46 | 411,86 | 523,31 | 384,41 | 488,43 |
| 47 | 409,95 | 521,40 | 382,62 | 486,64 |
| 48 | 408,03 | 519,48 | 380,83 | 484,85 |

|    |        |        |        |        |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 49 | 406,11 | 517,56 | 379,04 | 483,06 |
| 50 | 404,20 | 515,65 | 377,25 | 481,27 |
| 51 | 402,28 | 513,73 | 375,56 | 479,48 |
| 52 | 400,37 | 511,82 | 373,68 | 477,70 |
| 53 | 398,45 | 509,90 | 371,89 | 475,91 |
| 54 | 396,53 | 507,98 | 370,10 | 474,12 |
| 55 | 394,62 | 506,07 | 368,31 | 472,33 |
| 56 | 392,70 | 500,15 | 366,52 | 470,54 |
| 57 | 390,79 | 502,24 | 364,73 | 468,75 |
| 58 | 388,87 | 500,32 | 362,95 | 466,97 |
| 59 | 386,95 | 498,40 | 361,16 | 465,18 |
| 60 | 385,04 | 496,49 | 359,37 | 463,39 |
| 61 | 383,12 | 494,57 | 357,58 | 461,60 |
| 62 | 381,21 | 492,66 | 355,79 | 459,81 |
| 63 | 379,29 | 490,74 | 354,00 | 458,02 |
| 64 | 377,37 | 488,82 | 352,22 | 456,24 |
| 65 | 375,46 | 486,91 | 350,43 | 454,45 |
| 66 | 373,54 | 484,99 | 348,64 | 452,66 |
| 67 | 371,63 | 483,08 | 346,85 | 450,87 |
| 68 | 369,71 | 481,16 | 345,06 | 449,08 |
| 69 | 367,79 | 479,24 | 343,27 | 447,29 |
| 70 | 365,88 | 477,33 | 341,49 | 445,51 |

FV modulių grupės A įtampos kitimo minimalios ir maksimalios reikšmės priklauso nuo modulio temperatūros: prie  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  įtampa yra 538,38 V, o atviros grandinės įtampa prie tos pačios temperatūros bus 649,77 V. Modulio temperatūrai esant  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  įtampa lygi 365,88 V, o atviros grandinės įtampa prie tos pačios temperatūros bus 477,33 V.

## 2.2 Šilumos siurblio oras-oras parinkimas

Šilumos siurblio oras-oras sistema geriausiai tinka ten, kur yra viena didelė erdvė, bet esant poreikiui yra galimybė pritaikyti šildymą ir kelioms patalpoms. Šiuo realiu atveju, gyvenamojo namo svetainė sujungta su virtuve, laiptine ir antru aukštu, todėl buvo parinktas šilumos siurblys oras-oras. Taip pat šiuos šilumos siurblius galima derinti su visomis kitomis įprastinėmis šildymo sistemomis, taip sumažinant šildymo kaštus, pagerinant patalpų orą ir užtikrinant tinkamą patalpų mikroklimatą. Šilumos siurblio pagrindinis parinkimo kriterijus gyvenamajam namui šildyti, kad šilumos siurblys veiktų esant  $-25^{\circ}\text{C}$  šalčio, o vasarą vykdytų oro kondicionierių funkciją. Šilumos siurbliai oras-oras palaiko pageidaujamos patalpų temperatūrą ištisus metus, t.y. vasarą-vėsinimas, šaltuoju sezono metu - nuolatinis šildymas.

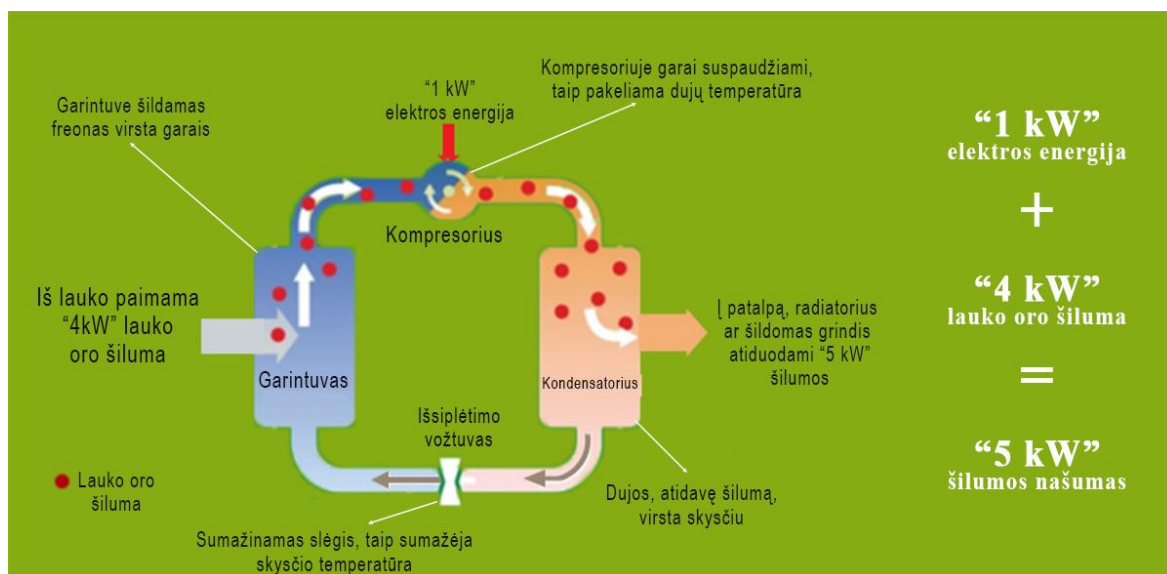
Šio tipo šilumos siurblys oras-oras sudaro išorinis įrenginys ir viena arba daugiau vidinių dalių. Išorinis įrenginys ima šilumą iš lauko oro ir perduoda ją viduje esančioms dalims, kurios veikiamos



ventiliatoriaus, paskleidžia tą šilumą namo viduje. Pateikiama šilumos siurblio principinė veikimo schema 5 paveiksle.

Kitas svarbus šilumos siurblio rodiklis-naudingo veikimo koeficientas COP (angl. Coefficient Of Performance)-yra šildymo efektyvumo koeficientas. Jei COP yra 4, tai reiškia, kad elektros sąnaudų ir šilumos santykis yra 1:4. Sunaudojus dalį elektros, likusi nauda, kurią sugeneruoja šilumos siurblys, yra gaunama iš aplinkos. Iki 2014 metų šio rodiklio pagrindinis trūkumas buvo tas, kad jis visų gamintojų standartiškai buvo matuojami prie vienos lauko oro temperatūros – esant +7 °C. Nuo 2014 metų buvo įvestas naujasis sezoninis įrenginių energijos vartojimo efektyvumo koeficientas-SCOP (šildymui). Šis naujasis koeficientas tiksliau atspindi įrenginių efektyvumą, kadangi išvedamas vidutinis dydis, atliekant skaičiavimus pagal keturis temperatūrinius taškus: -7 °C, +2 °C, +7 °C, +12 °C. Jeigu šilumos siurblys oras-oras turi ir vėsinimo funkciją (veikia kaip kondicionierius) svarbus vėsinimo koeficientas EER (nuo 2014 metų SEER).

Parentant šilumos siurblio oras-oras galią, reikia atsižvelgti į patalpų lubų aukštį, jei jis yra daug didesnis už standartinį, apšildomo ploto tūris bus gerokai didesnis. Taip pat reikia įvertinti gyventajame name langų varžą ir ji dažniausiai būna žymiai mažesnė negu sienų. Pirmame namo aukšte, svetainėje, dideli langai iki žemės, kurie padidina šilumos nuostolius, todėl parenkamas galingesnis šilumos siurblys gyvenamajam namui apšildyti. Šilumos siurblio parinkimo gyvenamajam namui duomenys pateikti 3 lentelėje pagal namo plotą ir šilumos kiekį.



5 pav. Šilumos siurblio veikimo principas [27]

Pasirenkama šilumos siurblių „MSZ-FH-VE“ serija su įdiegta unikalia „HyperHeating“ technologija efektyviai ir ekonomiškai šildo iki -25 °C lauko temperatūros, taip pat įdiegtas „3D I-see“ temperatūrinis jutiklis užtikrina itin tolygų šilumos ar vėsos paskirstymą erdvėje. Kuomet temperatūrinis jutiklis užfiksuoja, kad patalpoje nėra žmonių, šilumos siurblys automatiškai perjungiamas į energiją taupantį režimą – elektros sąnaudos sumažinamos maždaug 10 proc. po 10

minučių, o po 60 min. maždaug 20 proc. Nors kambario temperatūra tokiu atveju tenkrinta vos keliais laipsniais, tačiau per ilgą laiką sutaupoma nemažai energijos.

**3 lentelė.** Šilumos siurblio parinkimas pagal namo plotą ir šilumos kiekį

| Namo plotas m <sup>2</sup> | Šilumos kiekis   |   |
|----------------------------|--|---|
|                            | Geros šiluminės varžos reikia apie 40 W/m <sup>2</sup> | Prastesnės šiluminės varžos reikia apie 60 W/m <sup>2</sup> |
| 100m <sup>2</sup>          | 4 kW   | 6,0 kW  |
| 125 m <sup>2</sup>         | 5 kW   | 7,5 kW  |
| 150 m <sup>2</sup>         | 6 kW   | 9,0 kW  |
| 175 m <sup>2</sup>         | 7 kW   | 10,5 kW   |
| 200 m <sup>2</sup>         | 8 kW   | 12,0 kW   |
| 225 m <sup>2</sup>         | 9 kW   | 13,5 kW   |
| 250 m <sup>2</sup>         | 10 kW  | 15,0 kW   |
| 275 m <sup>2</sup>         | 11 kW  | 16,5 kW   |
| 300 m <sup>2</sup>         | 12 kW  | 18,0 kW   |

Taip pat yra galimybė suprogramuoti „MSZ-EF-VE“ šilumos siurblio darbą visai savaitei, taip galima sumažinti patalpų temperatūrą tomis valandomis, kai žmonių nėra namuose, ar miegant.

Prie šilumos siurblio įdiegus nedidelį papildomą priedą-wifi adaptorių „MAC-557IF-E“ ir prisijungę prie specialios „MELCloud“ programos, yra galimybė įrenginį valdyti nuotoliniu būdu naudojant išmanųjį telefoną, planšetę ar kitokią kompiuterinę įrangą.

Šios serijos šilumos siurblių nominalioji šiluminė galia išlaikoma pastovi net iki -15 °C. Be to, gamintojas garantuoja efektyvų ir ekonomišką šilumos tiekimą iki -25 °C. Itin aukštas naudingumo koeficientas COP – 5,52 ir SCOP – 4,9 užtikrina nedideles elektros energijos sąnaudas bei efektyvų įrenginio darbą net ir šalčiausiomis žiemos dienomis.

Pateikiama šilumos siurblio oras-oras „MSZ-FHVE“ serijos vidinio bloko specifikacija 4 lentelėje.

**4 lentelė.** „MSZ-FHVE“ serijos vidinio bloko specifikacija

|  | MSZ-FH25VE           | MSZ-FH50VE            |
|--|----------------------|-----------------------|
| Svoris (kg)                            | 13,5                 | 13,5                  |
| Matmenys (mm) aukštis x ilgis x plotis | 305(+17) x 925 x 234 | 305(+17) x 925 x 234  |
| Oro srautas (m <sup>3</sup> /min.):    |                      |                       |
| Šildant                                | 4,0-4,7-6,4-9,2-13,2 | 5,7-7,2-9,0-11,2-14,6 |
| Vėsinant                               | 3,9-4,7-6,3-8,6-11,6 | 6,4-7,4-8,6-10,1-12,4 |

|   |                |                |
|---|----------------|----------------|
| Triukšmo lygis (Db(A)):                     |                |                |
| Šildant                                     | 20-24-29-36-44 | 25-29-34-39-46 |
| Vėsinant                                    | 20-23-29-36-42 | 27-31-35-39-44 |
| Nomin. elektros energijos suvartojimas (kW) | 0,029          | 0,031          |
| Maks. darbinė srovė (A)                     | 0,4            | 0,4            |

Pateikiama šilumos siurblio oras-oras „MSZ-FHVE“ serijos išorinio bloko specifikacija 5 lentelėje.

**5 lentelė.** „MSZ-FHVE“ serijos išorinio bloko specifikacija

|  | <b>MUZ-FH25VEHZ</b> | <b>MUZ-FH50VEHZ</b> |
|--|---------------------|---------------------|
| Šildymo galia (kW) (Nom.(Min.-Maks.))                                | 3,2 (1,0-6,3)       | 6,0 (1,7-8,7)       |
| COP  | 5,52                | 4,05                |
| SCOP* (sezoninis efektyvumo koeficientas)                            | 4,9                 | 4,05                |
| Sezoninio energijos efektyvumo klasė                                 | A+++                | A++                 |
| Nomin. elektros energijos suvartojimas (kW)                          | 0,580               | 1,480               |
| Svoris (kg)  | 37                  | 55                  |
| Matmenys (mm) AukštisxIlgisxPlotis                                   | 550-800-285         | 880-840-330         |
| Oro srautas (m <sup>3</sup> /min) šildant/vėsinant                   | 31,3/31,3           | 51,3/48,8           |
| Triukšmo lygis (Db(A)) šildant/vėsinant                              | 49/46               | 54/51               |
| Maks. darbinė srovė (A)  | 10                  | 14                  |
| Garantuoto ekonomiškumo veikimo temperatūrų diapazonas (°C): šildant | -25~+24             | -25~+24             |
| Garantuoto ekonomiškumo veikimo temperatūrų diapazonas (°C): šildant | -10~+46             | -10~+46             |

Pagal atliktus tyrimus Švedijoje nustatyta, kad „MSZ-FH-VEHZ“ serijos šilumos siurbliai laikomi vienais iš geriausių Šiaurės Europos rinkoje. Šios valstybinės agentūros atliktų bandymų metu, savo klasėje, „MSZ-FH-VE“ serijos įrenginiai gavo itin įspūdingus-rekordinius rezultatus. Jie sutaupo

daugiausia energijos ir išskiria daugiausia šilumos, lyginant su kitų modelių ir kitų gamintojų šilumos siurbliais. Atlikti bandymai parodė, kad „MSZ-FH25VE“ modelis prie  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  lauko temperatūros išskiria net 5,3 kW šilumos. Tai didžiausias kada nors užregistruotas rodmuo Švedijos valstybinės energetikos agentūros praktikoje (atlikti 42 modelių šilumos siurblių bandymai). Taip pat atskleista, kad net esant  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  aplinkos temperatūrai, „MSZ-FH25VE“ generuoja 4,3 kW šilumos, o tai yra itin geri rezultatai, norint užtikrinti efektyvų šilumos siurblio darbą šalto klimato regiono šalyse.

### 2.2.1 Šilumos siurblių naudingumo koeficientas ir jo parinkimas

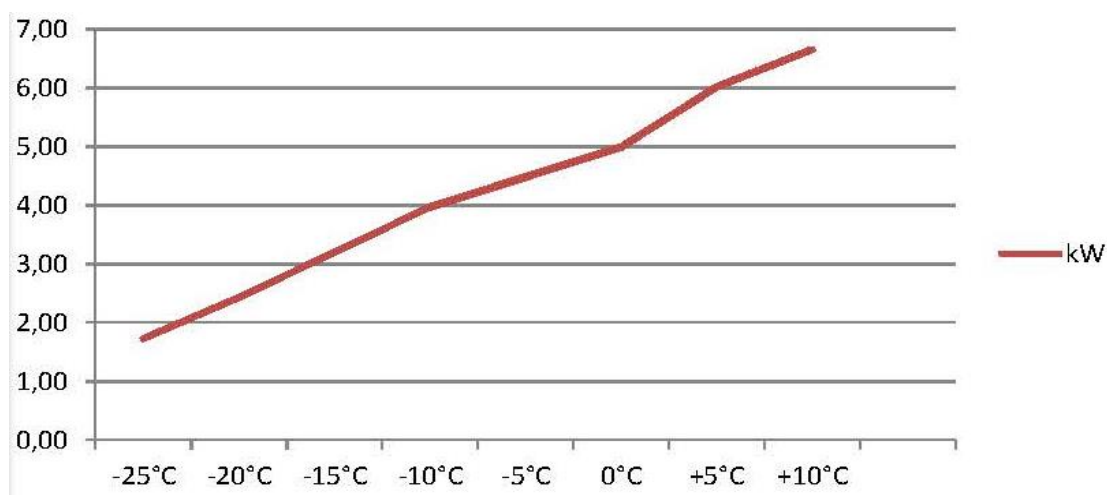
Tradiciškai energijos vartojimo efektyvumui įvertinti naudojami koeficientai EER (vėsinimo) ir COP (šildymo). Šie koeficientai parodo, kiek pagamintos vėsumos, ar šilumos (kW) tenka 1 kW sunaudotos elektros energijos.

Nurodytas skaičius parodo momentinį santykį tarp gautos šiluminės energijos ir panaudotos elektros energijos. [8]

$$COP = \frac{\theta_{HP}}{P_{HP} + P_{HP,aux}}; \quad (2)$$

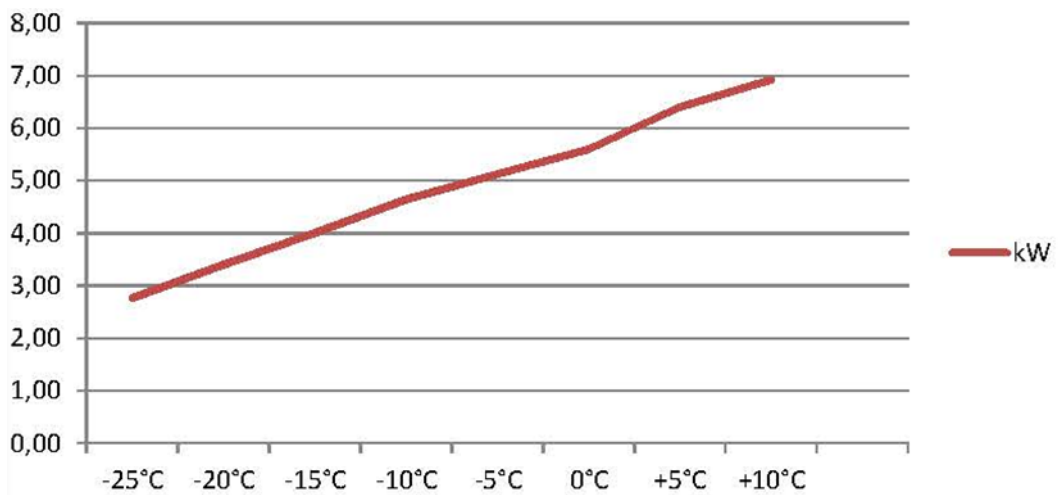
čia:  $\theta_{HP}$  – šildymo galia, W;  $P_{HP}$  – panaudota elektrinė galia, W;  $P_{HP,aux}$  – papildomų įrenginių galia, W.

Pateikiama „MUZ-FH25VEHZ“ šilumos siurblio charakteristikos priklausomybė nuo temperatūros ir šiluminės galios 6 paveiksle.



6 pav. „MUZ-FH25VEHZ“ šilumos siurblio charakteristikos priklausomybė nuo temperatūros ir šiluminės galios kW

Pateikiama MUZ-FH50VEHZ šilumos siurblio charakteristikos priklausomybė nuo temperatūros ir šiluminės galios 7 paveiksle.



7 pav. „MUZ-FH50VEHZ“ šilumos siurblio charakteristikos priklausomybė nuo temperatūros ir šiluminės galios kW

Kitas svarbus parametras, kuris apibūdina šilumos siurblio našumą atitinkamame laikotarpyje, yra šilumos siurblio sezoninis naudingumo koeficientas SCOP (angl. *SPF-seasonal performance factor*). Tai per šildymo sezoną šilumos siurblio patiektos šilumos ir suvartotos elektros energijos santykis, įvertinant kintamą šilumos poreikį, šilumos šaltinio ir patiektos šilumos temperatūrų svyravimus [10].

$$SCOP = \frac{Q_{out,g,h}}{E_{in,g} + W_g} \quad (3)$$

čia: SCOP – bendras sezoninis efektyvumo koeficientas;  $Q_{out,g,h}$  - šildymo sistemai suteiktas šilumos kiekis, kWh;  $E_{in,g}$  – šilumos siurblio elektros energijos sąnaudos, kWh;  $W_g$  – papildomų įrenginių elektros energijos sąnaudos, kWh.

Namo šildymui parenkamas šilumos siurblys pagal gamintojo parinkimo 3 lentelę. Šimtui kvadratų gyvenamajam namui reikalingas 6 kW šilumos siurblys parenkamas pagal prastesnę gyvenamojo namo šiluminę varžą, nes nežinoma tiksli namo šiluminė varža. Nors pirmo aukšto plotas tik 80 kvadratų, tačiau lubos 2,8 metro ir svetainę susijungia su antro aukšto laiptine, todėl parenkamas 6 kW šilumos siurblys oras-oras.

Bendras metinis pastato elektros energijos poreikis, įvertinus tiek šilumos siurblio, tiek viso pastato elektros energijos poreikį, apskaičiuojamas pagal 8 formulę.

$$E_E = E_h + E_N; \quad (8)$$

čia:  $E_N$  – metinis elektros energijos poreikis namui, nevertinant šilumos siurblio darbo, kWh;  $E_h$  – metinis elektros energijos poreikis šilumos siurbliui, kWh;  $E_E$  – metinis viso pastato elektros energijos poreikis, kWh.

Pagal atlikto tyrimo duomenis, didžioji dalis (42 %) namų ūkių suvartoja iki 200 kWh elektros energijos per mėnesį. Panašus skaičius (41 %) namų ūkių sunaudoja iki 100 kWh elektros energijos,

13 % vartotojų sunaudoja nuo 201 iki 300 kWh per mėnesį. Nedidelė dalis (3 %) namų ūkių elektros energijos sunaudoja nuo 301 iki 500 kWh ir 1 % vartotojų – daugiau kaip 500 kWh. [28].

Atliekamas metinis viso gyvenamo namo elektros energijos poreikio skaičiavimas pagal 8 formulę ir duomenys pateikiami 6 lentelėje. Šilumos siurblio elektros energijos sąnaudos per metus yra 2006 kWh iš gamintojo pateiktos specifikacijos

**6 lentelė.** Galimas prognozuojamas metinis viso gyvenamo namo elektros energijos poreikio skaičiavimo rezultatai

| Šilumos siurblio elektros energijos poreikis, kWh | Gyvenamojo namo elektros energijos poreikis per metus be šilumos siurblio, kWh | Bendras namo elektros energijos suvartojimas su šilumos siurbliu 2006, kWh |
|---|--|--|
| 2006  | 1400 ( per mėn 200kWh)   | 3406   |
| 2006  | 3600 ( per mėn 300kWh)   | 5600   |
| 2006  | 4800 ( per mėn 400kWh)   | 6806   |
| 2006  | 6000 ( per mėn 500kWh)   | 8006   |

Planuojama, kad namas suvartos apie 6806 kWh elektros energijos per metus, nes dar yra 2 šilumos siurbliai oras-oras įrengti antram aukštui šildyti ir vėsinti.

## 2.2. Dujų katilo parinkimas

Gyvenamojo namo bendras plotas sudaro 250 kvadratinių metrų, tačiau šildomo ploto yra 210 kvadratinių metrų. Kondensacinis dujų katilas yra populiariausias katilo tipas dėl didelio efektyvumo. Dujų katilą yra paprasta naudoti ir jis turi sąlyginai mažą kainą, tačiau įrengti galima, kai yra netoliese dujotiekis. Pagrindinis dujinio katilo privalumas yra tai, kad jis greitai užkaista ir turi gana aukštą, iki 95 % efektyvumą.

Pagrindinė savybė, į kurią atsižvelgiama parenkant dujų šildymo katilus yra jų galia. Todėl pasirinkti dujų katilą gyvenamo namo šildymo sistemai reikia apskaičiuoti dujų katilo galingumą, atsižvelgiant į patalpų plotą ir sienos varžą, langų dydį.

Bet koks šildymo įrenginys, kurio galia yra 3-5 kW, paprastai gali apšildyti vieno kambario, ar net dviejų kambarių butą, taip pat namą, kurio plotas yra iki 50 kvadratinių metrų. Šildymo įrenginys, kurio galia 7-10 kW, gali apšildyti ir trijų kambarių butą iki 100 kvadratinių metrų, arba gyvenamąjį namą. Supaprastinus, galima daryti prielaidą, kad galia lygi maždaug dešimčiai viso šildomo ploto (kW). Bet tai yra tik labiausiai paplitęs atvejis ir dažniausiai taikomas apytiksliams skaičiavimams. Norint gauti reikiamą galios vertę, reikia apskaičiuoti ir skaičiavimuose turi būti atsižvelgiama į įvairius veiksnius: bendras šildomas plotas; regionas arba klimato zona, kuriame veikia apskaičiuotas šildymas; namo sienos, jų šilumos izoliacija; šilumos nuostoliai stogo, katilo kuro rūšis. Dujų katilo galios apskaičiavimas gyvenamajam namui šildyti pagal formulę:

$$N_g = S \times N_{s\acute{s}v} / 10. \quad (9)$$

Čia:

- $N_g$  – dujų katilo vieneto galia, kW; S-bendra visų sistemos šildomų patalpų suma, m<sup>2</sup>;
- $N_{s\acute{s}v}$  – specifinė šilumos vertė, reikalinga 10 kvadratinių metrų šildymui kambario ploto.

Vienas iš pagrindinių apskaičiavimo nustatymo veiksnių yra klimato zona, regionas, kuriame šildymo įranga montuojama. Tai reiškia, kad dujų katilob, jk, galios apskaičiavimas atliekamas atsižvelgiant į konkrečias klimato sąlygas.

Šiuo atveju reikia atsižvelgti į šias specifines šilumos vertes, reikalingas 10 kvadratinių metrų kambario ploto šildymui.

- $N_{s\acute{s}v} = 1,7-1,8$  kW vienam kv. metrų ploto Šiaurės ir Sibiro šalių srityse.
- $N_{s\acute{s}v} = 1-1,2$  kW už 10 kv. metrų ploto vidurinės juostos šalių srityse.
- $N_{s\acute{s}v} = 0,7-0,8$  kW už 10 kv. metrų ploto pietinių šalių regionams.

Pateikiami pastatyto dujų katilo modelio „Junkers ZSB 22-3 C“ pagrindiniai duomenys [32] 7 lentelėje.

**7 lentelė.** Modelio „Junkers ZSB 22-3 C“ pagrindiniai duomenys

|   | <b>Vienetai</b> | <b>Gamtinės dujos</b> | <b>Propanas</b> |
|---|-----------------|-----------------------|-----------------|
| Maks. nominalusis šiluminis galingumas ( $P_{max}$ ) 40/30 °C | kW              | 21,8                  | 21,7            |
| Maks. nominalusis šiluminis galingumas ( $P_{max}$ ) 50/30 °C | kW              | 21,6                  | 21,6            |
| Maks. nominalusis šiluminis galingumas ( $P_{max}$ ) 80/60 °C | kW              | 20,3                  | 20,3            |
| Maks. nominali šildymo šiluminė apkrova ( $Q_{max}$ )         | kW              | 20,8                  | 20,8            |
| Min. nominalusis šiluminis galingumas ( $P_{max}$ ) 40/30 °C  | kW              | 8,1                   | 11,6            |
| Min. nominalusis šiluminis galingumas ( $P_{max}$ ) 50/30 °C  | kW              | 8,0                   | 11,5            |
| Min. nominalusis šiluminis                                    | kW              | 7,3                   | 10,5            |

|   |     |      |      |
|---|-----|------|------|
| galingumas ( $P_{max}$ ) 80/60 °C                           |     |      |      |
| Maks. nom. karšto vandens šiluminis galingumas ( $P_{nw}$ ) |     | 20,4 | 20,4 |
| Bendrieji nurodymai   |     |      |      |
| Maitinimo įtampa  | V   | 230  | 230  |
| Dažnis  | Hz  | 50   | 50   |
| Maksimalios galios sąnaudos šildymo režime                  | W   | 125  | 125  |
| Maks. ištekancio srauto temperatūra                         | °C  | 90   | 90   |
| Maks. leistinas šildymo darbinis slėgis ( $P_{MS}$ )        | bar | 3    | 3    |
| Leistina aplinkos temperatūra                               | °C  | 0-50 | 0-50 |

Pagal šią 9 formulę apskaičiuojama dujų katilo galia 210 kvadratinių metrų namui, kuris yra vidurinėje juostoje. Atlikus aritmetinius veiksmus  $N_g = 210 \times 1,1 / 10 = 23,1$  kW gaunama dujų katilo galia 23,1 kW. Tačiau ši formulė apskaičiuoja dujų katilo galią, kuris naudojamas tik namų šildymui. Šiame gyvenamajame name naudojama dviejų vamzdžių sistema, apimanti ir vandens šildymą, todėl dujų katilo galia turi būti padidinta 20 %. Dujų katilo galingumas su vandens pašildymu šiam gyventajam namui turėtų būti 27,72 kW, jeigu gyvenamasis namas neturėtų šilumos siurblio.

Atliekamas perskaičiavimas dujų katilo parinkimui, kai gyvenamasis namas turi šilumos siurblių ir šildomas plotas sumažėja iki 120 kvadratinių metrų. Atlikus skaičiavimus  $120 \times 1,1 / 10 = 13,2$  kW plus pridedama 20 procentų galios, kuri sudarytu 2,64 kW karšto vandens šildymui. Dujų katilo galia, kai pirmas aukštas šildomas šilumos siurbliu, turėtų būti 15,84 kW.

Realiai gyvenamajame name jau buvo įrengtas kondensacinis dujų katilas, kurio modelis „Junkers ZSB 22-3 C“. Kaip matoma iš atliktų skaičiavimų, dujų katilas parinktas 37,5 procentais per galingas, jei naudojamas šilumos siurblys pirmam aukštui šildyti. Jeigu gyvenamam namui sugestų šilumos siurblys, esamo dujų katilo galingumas (22 kW) būtų per mažas užtikrinant tinkamą šildymą. Pagal atliktus skaičiavimus, norint užtikrinti tinkamą šildymą, reikalingas 27,72 kW galingumo katilas.

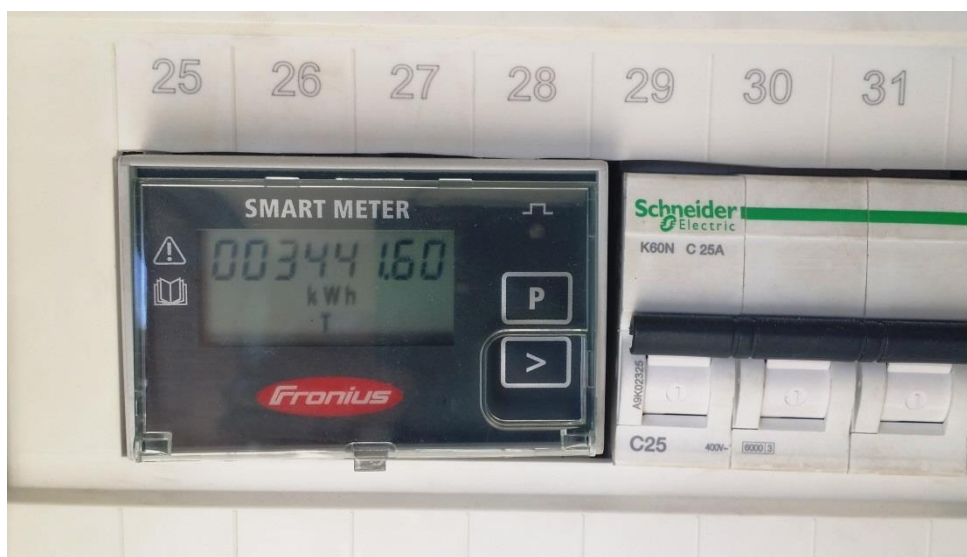


### 3. Saulės elektrinės, šilumos siurblio ir dujų katilo tyrimo rezultatai

#### 3.1. Saulės elektrinės tyrimo rezultatai

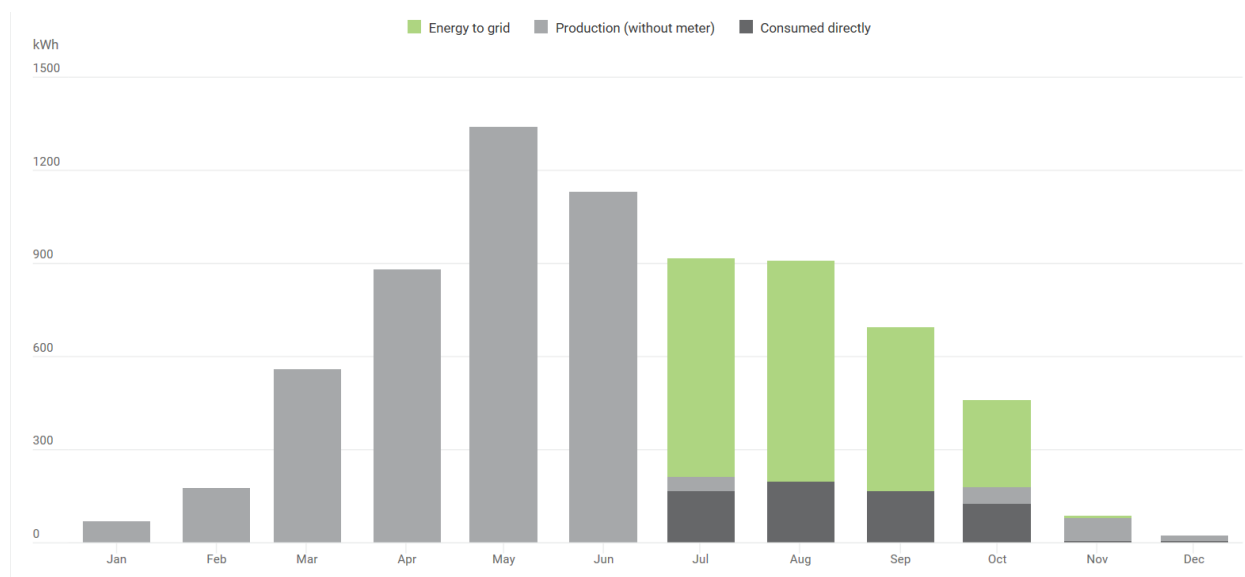
Kai saulės elektrinė prijungiama prie elektros tinklo, šviesios dienos metu generuojamą energiją pirmiausiai suvartoja namuose esantys veikiantys elektros prietaisai. Jeigu saulės elektrinė generuoja mažesnę galią negu namų elektros prietaisai vartoja, tuomet pagelbėja prijungtas elektros tinklas, pateikdamas trūkstamą elektros energiją elektros prietaisams. Tačiau, jeigu saulės elektrinė sugeneruoja daugiau elektros energijos nei sunaudojama, tai perteklinė energija atiduodama į ESO pasaugojimui. Pasidėta elektros energija yra kaupiama vienerius metus – nuo balandžio 1 d. iki kovo 31 d. Vadinasi vasarą, kai yra sugeneruojama daugiausia elektros energijos negu suvartojama, ji yra atiduodama pasaugoti elektros tinklams, o vėliau, žiemos metu, atsiimama pasaugota elektros energija iš skirstymo tinklų. Projektuojant ir parenkat saulės elektrinės galią svarbiausia yra nepasistatyti per galingos saulės elektrinės, nes visas neišnaudotas elektros energijos perteklius kovo 31 d. panaikinamas. Atliksime tyrimą su saulės elektrine 7,25 kW, kuri pastatyta ant gyvenamojo namo stogo, kuri susideda iš keitiklio „Fronius Symo 7“ ir fotovoltiniai modulių „ViaSolis PRIME 250“. Pradedamas tyrimas saulės elektrinės, pastatytos ant gyvenamojo namo stogo, laikotarpiu nuo 2018 metų balandžio 1 d. iki 2019 metų kovo 31 d.

Saulės elektrinės generavimo grafikas anksčiau buvo vaizduojamas pilku stulpeliu, kuris tik parodydavo kiek SE sugeneravo elektros energijos ir nebuvo aišku, kaip pasiskirstydavo suvartojamos elektros energijos kiekis laiko atžvilgiu. Todėl nuo vasaros buvo įdiegtas, namo paskirstymo skyde, išmanusis elektros skaitiklis „Fronius Smart Meter 63A-3“ (8 paveikslas), kuris atlieka elektros energijos matavimus realiaime laike. Nuo to laiko galima stebėti SE generavimą ir elektros energijos suvartojimą iš karto arba elektros energijos suvartojimą iš elektros tinklo. Taip pat galima nustatyti realiaime laike elektros tinklo kokybės parametrus: įtampas, sroves, reaktyvias galias ir t.t.



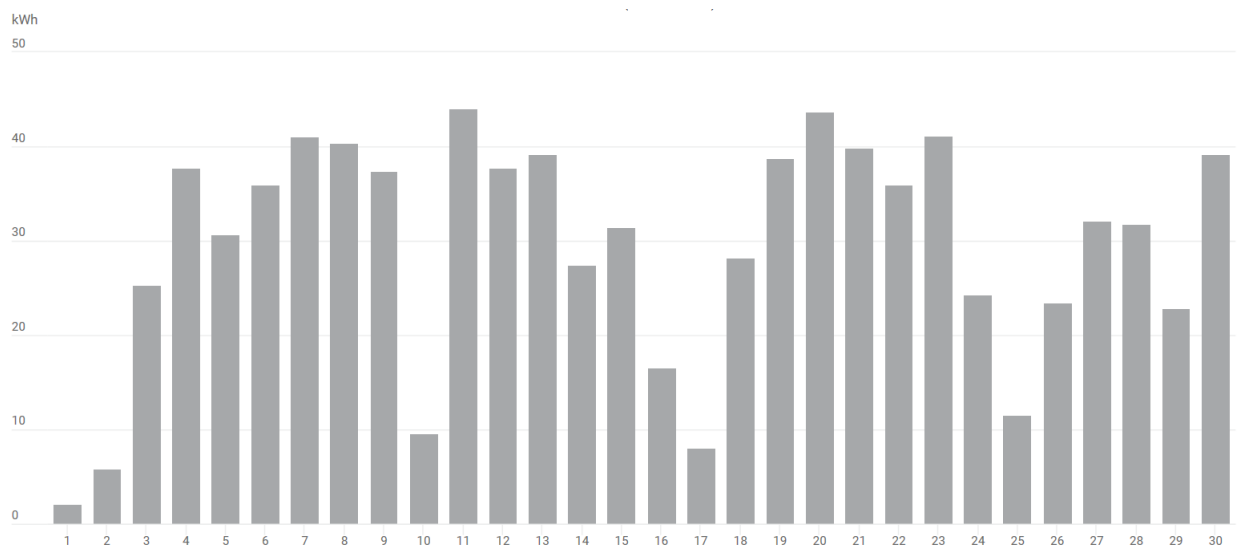
8 pav. „Fronius Smart Meter 63A-3“ gyvenamojo namo paskirstymo skyde

9 paveiksle pateikiamas SE grafikas, kuriame vaizduojama vizualizacija su išmaniuoju elektros skaitikliu „Fronius Smart Meter 63A-3“. Nuo balandžio 1 dienos iki liepos 4 dienos nebuvo įdiegtas išmanusis skaitiklis (pilki stulpeliai), o nuo liepos 4 dienos jau įdiegtas (žali stulpeliai su tamsiai pilkais) gyvenamojo namo paskirstymo skyde.



**9 pav.** Saulės elektrinės metinis generavimo grafikas neįdiegus ir įdiegus išmanųjį skaitiklį paskirstymo skyde

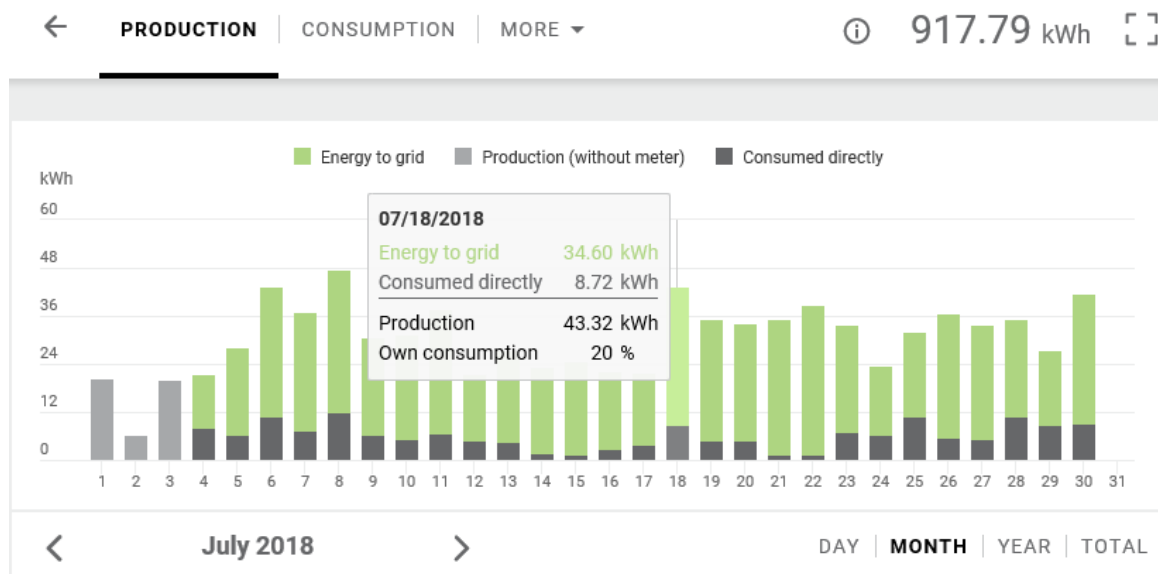
10 paveiksle pavaizduota saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekis balandžio mėnesį su kiekvienos dienos pasiskirstymu neįdiegus išmanaus skaitiklio. Saulės elektrinės pagaminamos energijos kiekis balandžio mėnesį kas dieną svyruoja nuo 10 kWh iki 45 kWh.



**10 pav.** Saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekio pasiskirstymas balandžio mėnesį kiekvieną dieną neįdiegus išmanaus skaitiklio

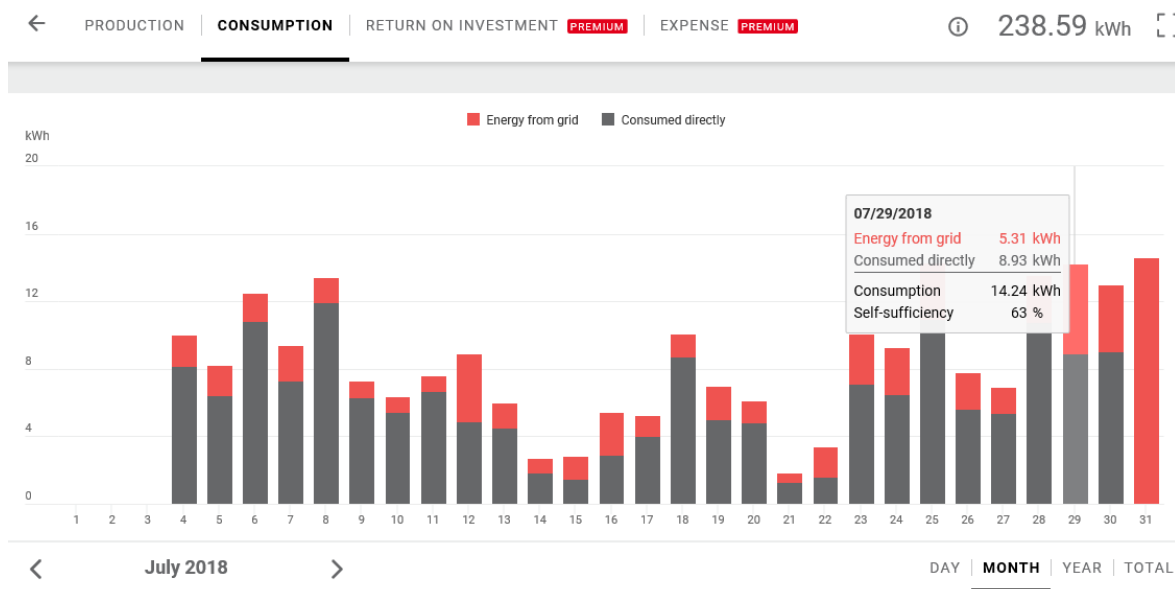
11 paveiksle pavaizduota saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis (žalia spalva) ir gyvenamojo namo suvartojimas elektros energijos kiekis iš karto (tamsiai pilka spalva) kiekvienos

dienos liepos mėnesį. Bei užvedus žymeklį ant stulpelio galima pamatyti visos dienos suvartojimą ir SE elektros energijos sugeneravimą, o perteklinė energija atiduodama pasaugoti į elektros tinklus.



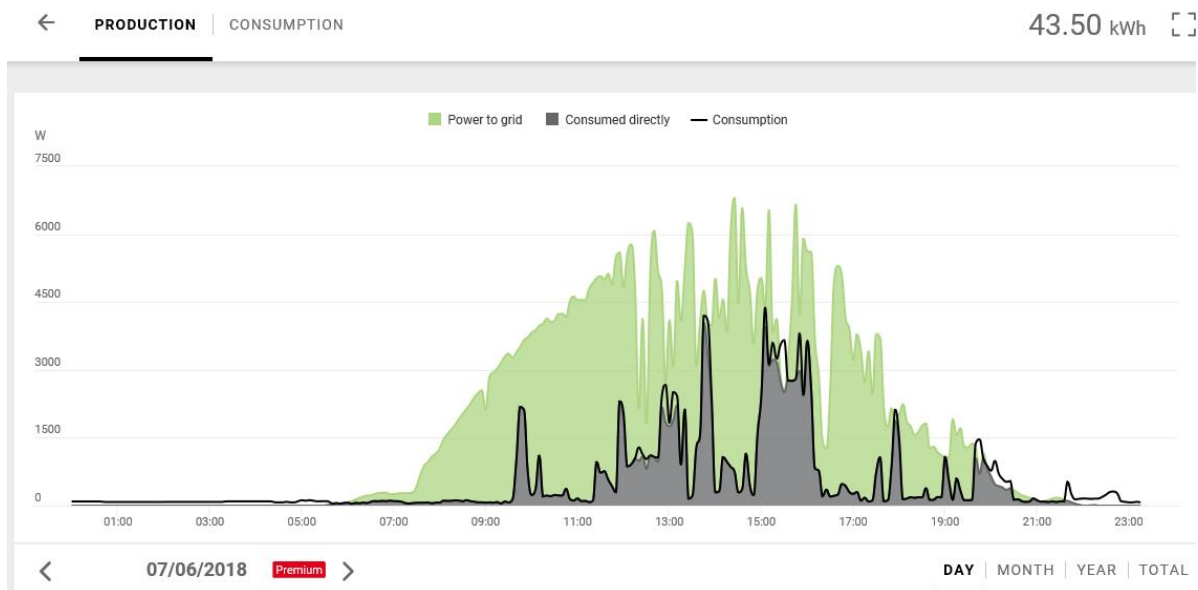
**11 pav.** Saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis kiekvieną dieną liepos mėnesį įdiegus išmanųjį skaitiklį paskirstymo skyde

12 paveiksle parodoma kiekvienos liepos mėnesio dienos elektros energijos suvartojimas vartotojo iš elektros tinklo ir kiek suvartoja elektros energijos iš saulės elektrinės. Dažniausiai gyvenamojo namo vartotojas suvartoja elektros energiją (pasidėtą elektros tinkle) nakties metu iš elektros tinklo. Kaip matome iš 12 paveikslo gyvenamojo namo energijos suvartojimas nakties metu svyruoja nuo 1 kWh iki 3 kWh.



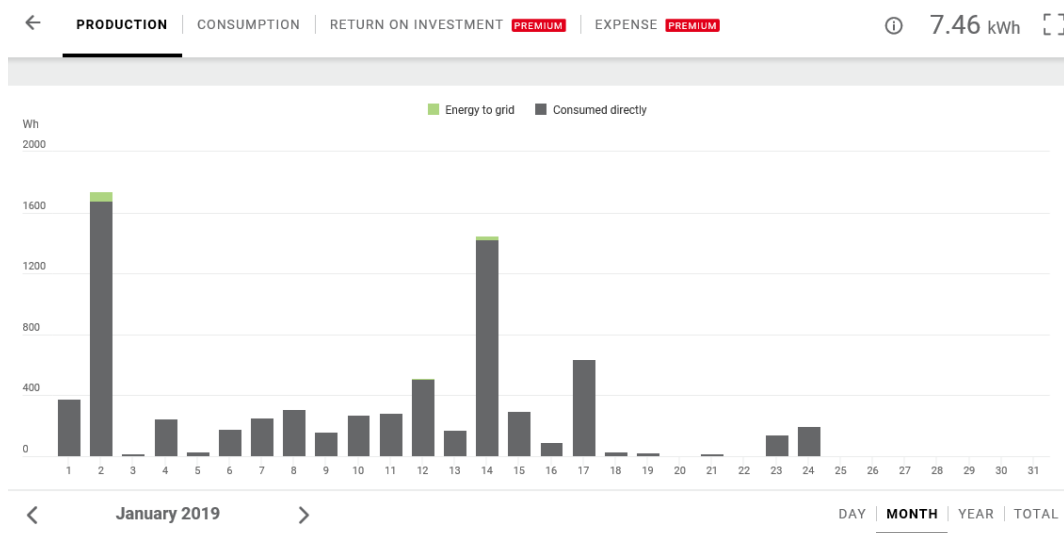
**12 pav.** Gyvenamojo namo elektros energijos suvartojimo grafikas liepos mėnesį kas dieną

Vasaros dienomis dažniausiai pasitaikantis atvejis pavazduotas grafike (13 paveiksle), SE iš viso pagamino 43,50 kWh ir suvartojo 7,2 kWh saulės elektrinės pagamintos energijos iš karto bei vakaro ir nakties metu suvartojo 2,06 kWh.



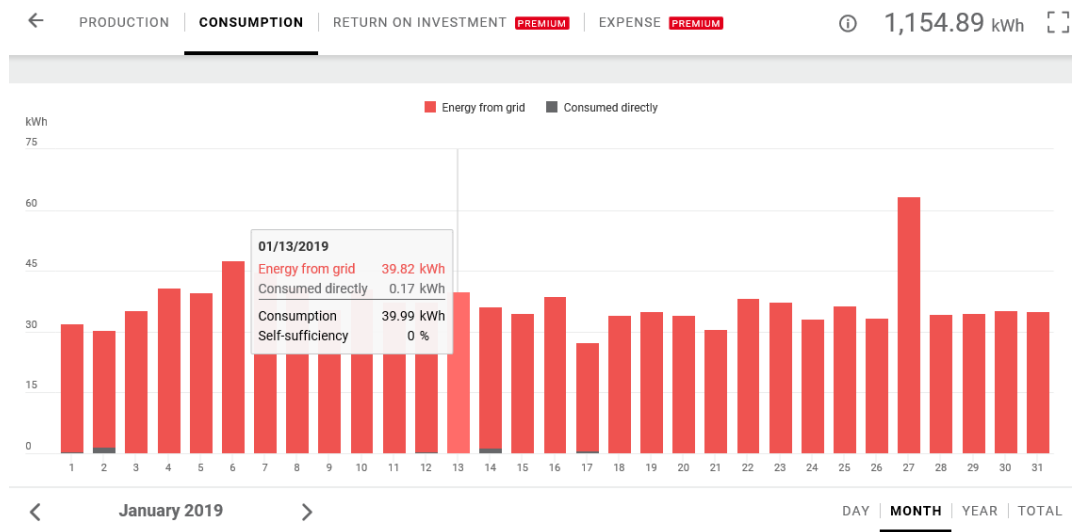
**13 pav.** Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo saulėtos paros generavimo ir suvartojimo grafikas

Iš 14 paveikslo matome, kad žiemos metu, sausio mėnesį, saulės elektrinė sugeneravo tik 7,46 kWh, ir buvo suvartota iš karto.



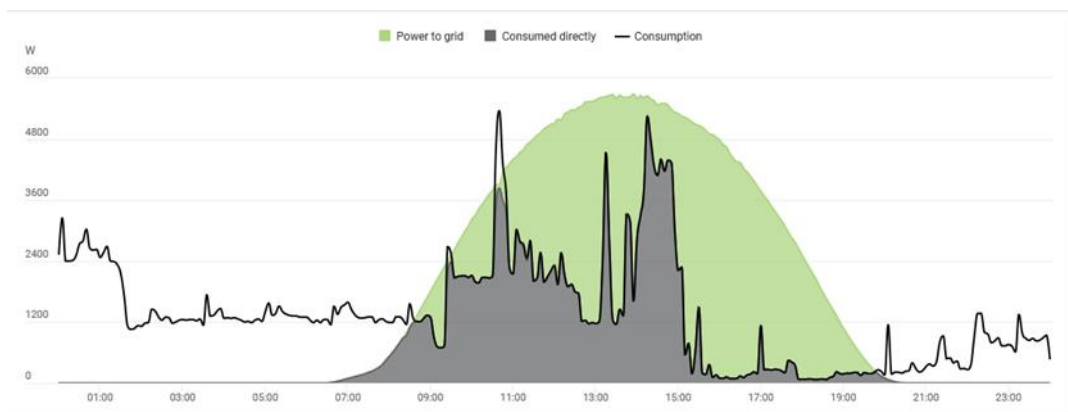
**14 pav.** Saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis sausio mėnesį

15 paveiksle pateikiamas gyvenamojo namo suvartojimo grafikas sausio mėnesį su šilumos siurbliu. Per mėnesį suvartojama 1154,89 kWh, o dienos suvartojimo vidurkis apie 35 kWh.



**15 pav.** Gyvenamojo namo suvartojimo grafikas sausio mėnesį

Pavasario, vasaros ir rudens dienomis gaunama ideali saulės elektrinės generuojama galia, nes susidaro kalno pavidalas be jokių nukrypimų, o pilkoje zonoje atvaizduojamas namo apkrovos svyravimai dienos metu (2019 balandžio 13 d.). Tai matome 16 paveiksle.



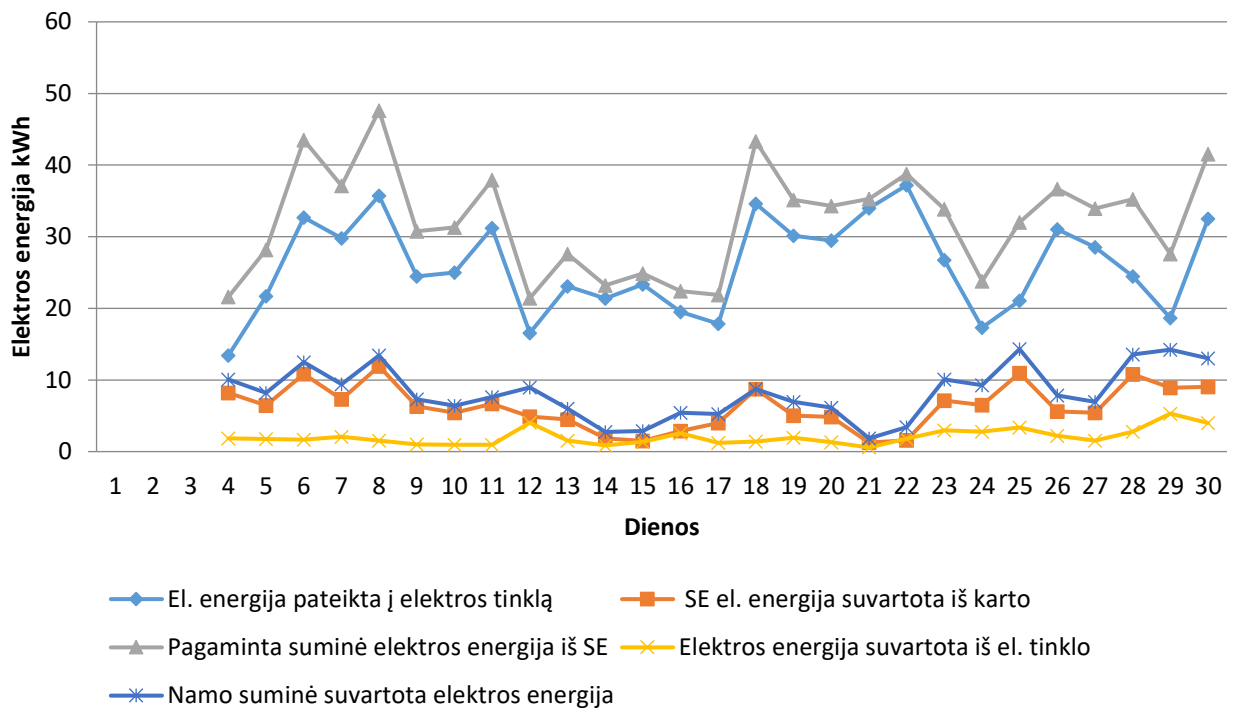
**16 pav.** Ideali saulės elektrinės generuojama galia su gyvenamo namo elektros prietaisų apkrova

8 lentelėje pateikiami generavimo ir suvartojimo duomenys laikotarpiu nuo 2018 metų kovo 1 dienos iki 2019 metų vasario 31 dienos: pagamintos elektros energijos kiekis, namo suvartotos elektros energijos kiekis ir sukauptos elektros energijos kiekis (pasidėtos elektros energijos kiekis tinkle).

17 paveiksle pavaizduota 2018 metų birželio mėnesio suvartojamos elektros energijos gyvenamojo namo apkrovos, kai saulės elektrinė veikia ir kiek elektros energijos suvartoja iš karto bei kiek pasidedama į elektros tinklą, bei kiek suvartoja gyvenamojo namo apkrova (pasidėtos) elektros energijos iš elektros tinklo.

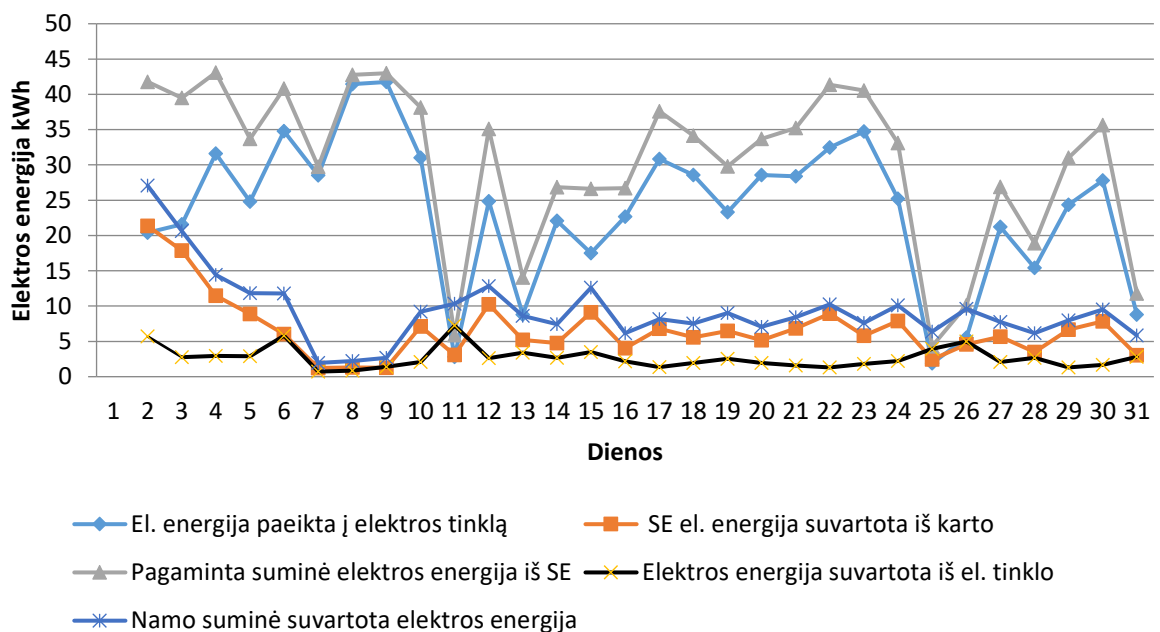
**8 lentelė.** Saulės elektrinės pagamintos elektros energijos kiekiai, namo suvartotos elektros energijos kiekiai ir sukauptos elektros energijos kiekiai elektros tinkle

| <b>Mėnesiai</b> | <b>Pagaminta elektros energija iš SE inverterio duomenys, kWh</b> | <b>Suvaltos/paimtos el. energijos kiekis, kWh</b> | <b>Pagamintos /pateiktos el. energijos kiekis, kWh</b> | <b>Sukauptos el. energijos kiekis, kWh</b> |
|-----------------|---|---|--|--|
| Balandis        | 883,30  | 194   | 706  | 512  |
| Gegužė          | 1341,33   | 107   | 1145   | 1550                                       |
| Birželis        | 1132,80   | 107   | 983  | 2426                                       |
| Liepa           | 917,79  | 132   | 781  | 3075                                       |
| Rugpjūtis       | 911,82  | 150   | 760  | 3685                                       |
| Rugsėjis        | 696,44  | 143   | 579  | 4121                                       |
| Spalis          | 459,24  | 227   | 359  | 4253                                       |
| Lapkritis       | 89,66   | 403   | 54   | 3904                                       |
| Gruodis         | 26,66   | 947   | 8  | 2965                                       |
| Sausis          | 7,46  | 1152  | 2  | 1815                                       |
| Vasaris         | 231   | 912   | 105  | 1008                                       |
| Kovas           | 520   | 1174  | 248  | 82   |
| Viso:           | 7210  | 5648  | 5730   |  |



17 pav. Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2018 metų liepos mėnesį

18 paveiksle pateikiami tyrimo rezultatai 2018 metų liepos mėnesio, kiek suvartoja elektros energijos gyvenamojo namo apkrovos, kai saulės elektrinė veikia ir kiek elektros energijos suvartoja iš karto bei kiek pasidedama į elektros tinklą ir kiek suvartoja gyvenamojo namo apkrova (pasidėtos) elektros energijos iš elektros tinklo.

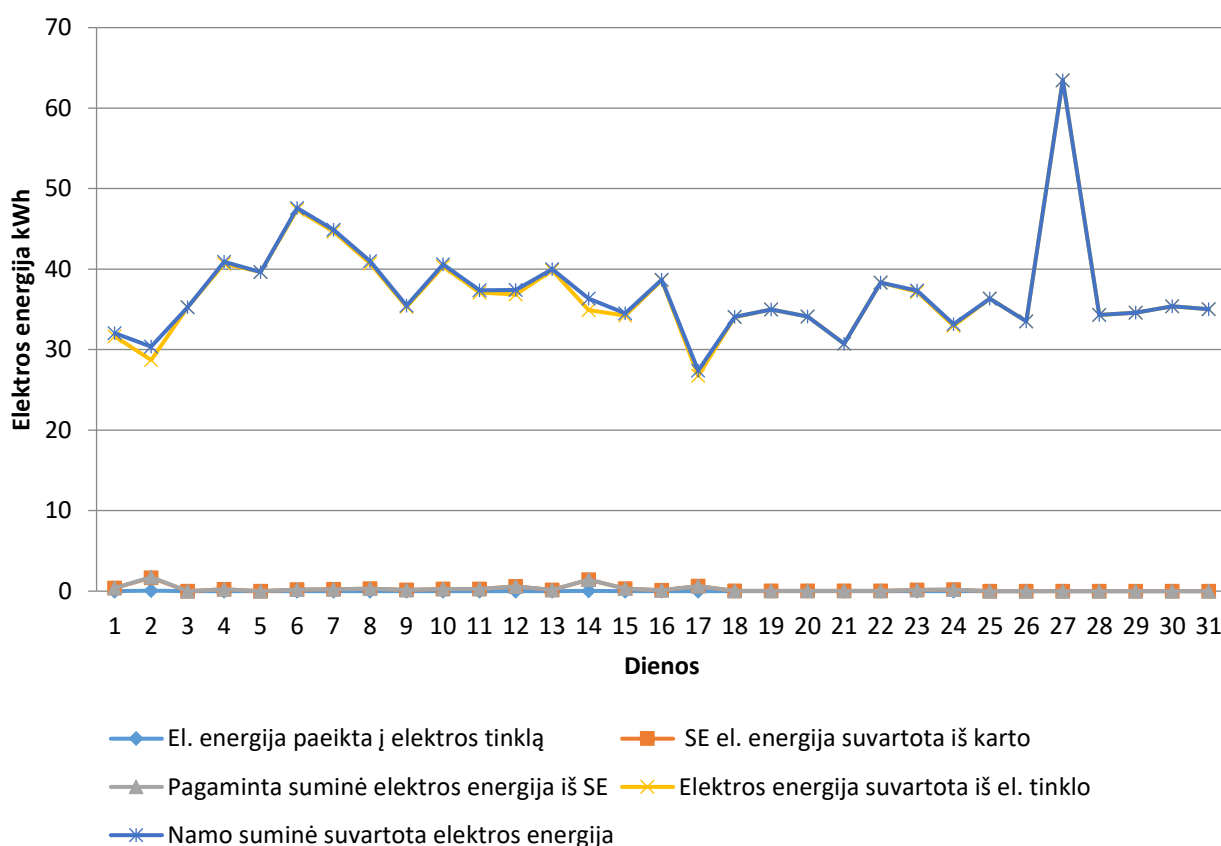


18 pav. Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2018 metų rugpjūčio mėnesį

19 paveiksle matomi 2019 metų sausio mėnesio suvartojama elektros energija gyvenamojo namo apkrovų. Viena iš pagrindinių apkrovų žiemos metu yra šilumos siurblys. Saulės elektrinė žiemos laikotarpiu pagamina pakankamai mažą elektros energijos kiekį, todėl visa pagaminama elektros energija suvartojama iš karto, o likusi trūkstamą energijos kiekį (sukauptą) pasiima atgal iš elektros tinklo.

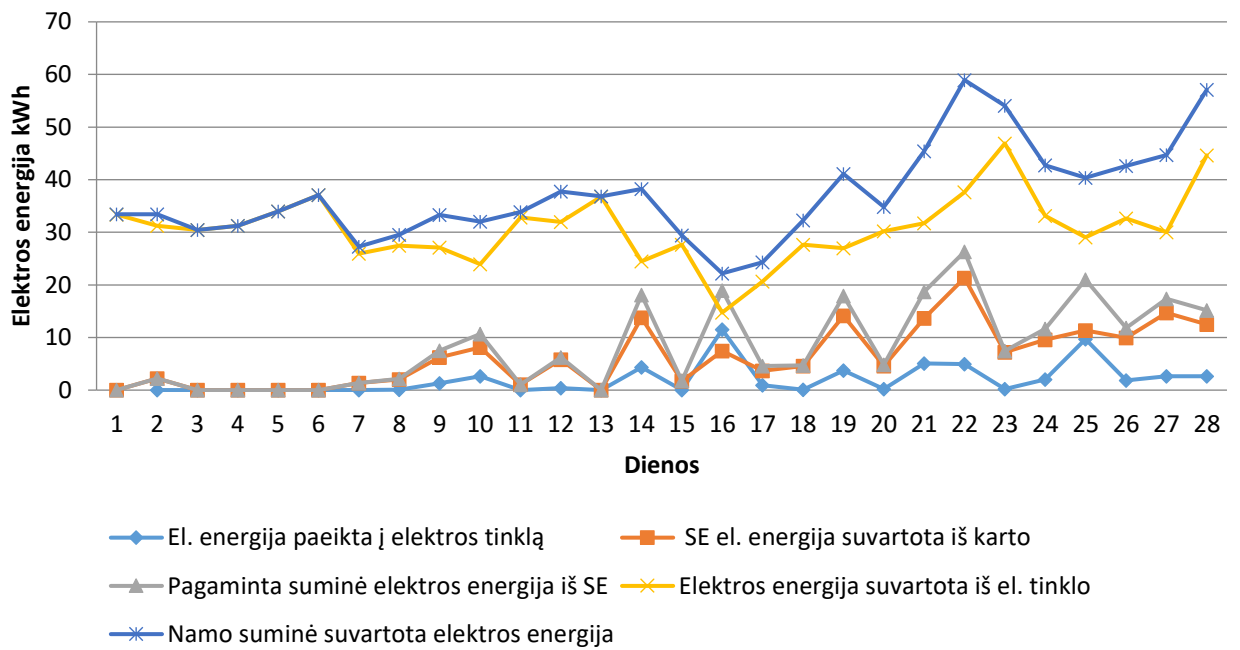
20 paveiksle matomi 2019 metų vasario mėnesio suvartojama elektros energija gyvenamojo namo apkrovų. Tai pat matoma situacija kai saulės elektrinė veikia, kiek elektros energijos suvartoja iš karto, kiek pasidedama į elektros tinklą ir kiek pasiima gyvenamojo namo apkrova elektros energijos iš tinklo, saulės elektrinei negeneruojant energijos.

21 paveiksle matomi 2019 metų kovo mėnesį suvartojama elektros energija gyvenamojo namo apkrovų. Tai pat matoma situacija kai saulės elektrinė veikia, kiek elektros energijos suvartoja iš karto, kiek pasidedama į elektros tinklą ir kiek pasiima gyvenamojo namo apkrova elektros energijos iš tinklo atgal.

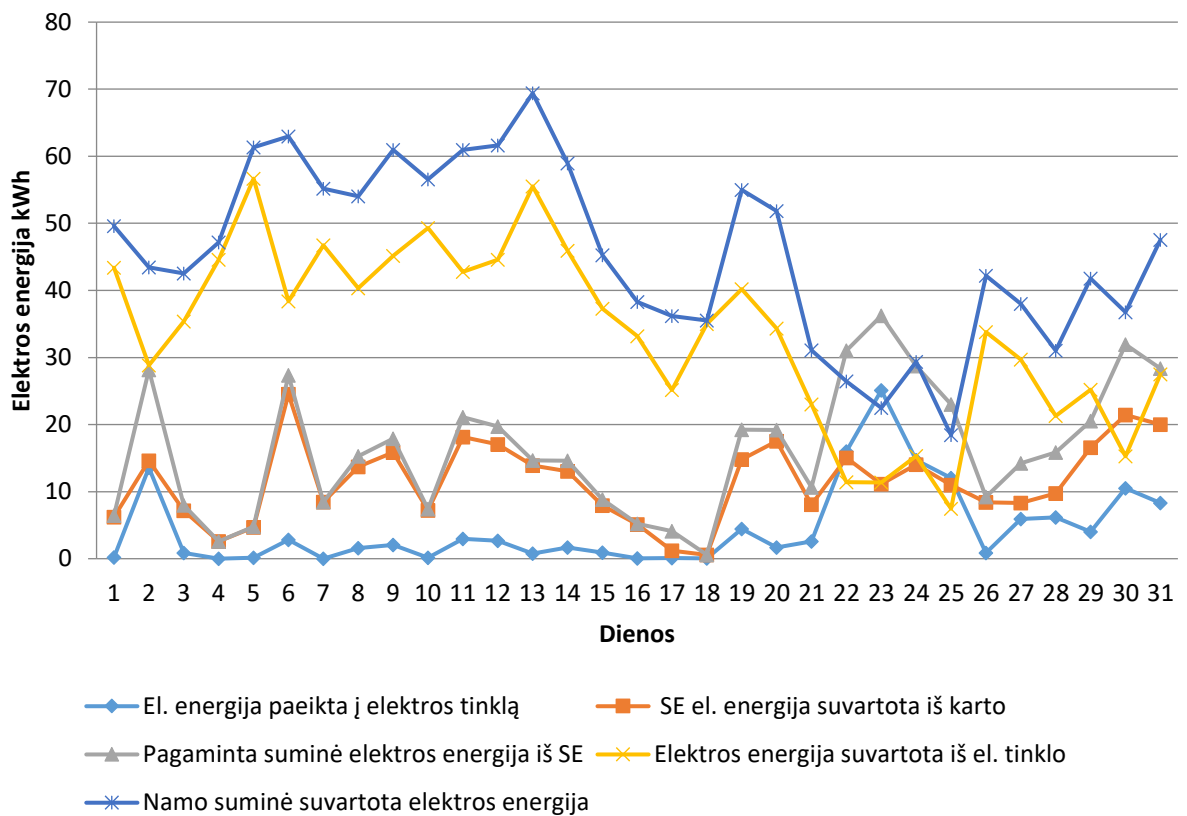


**19 pav.** Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2019 metų sausio mėnesį





20 pav. Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2019 metų vasario mėnesį



21 pav. Saulės elektrinės ir gyvenamojo namo elektros energijos pagaminimo, suvartojimo ir pasidėjimo režimai laikotarpiu 2019 metų kovo mėnesį

### 3.2. Vidutinės oro temperatūros Kauno mieste

Šilumos siurblių charakteristikos priklauso nuo oro temperatūros, todėl svarbu nustatyti, kokios yra vidutinės lauko oro temperatūros Kauno mieste. Pateikiamos, pagal statybos reglamentą taikytina, 1961-1990 m. vidutinė mėnesio lauko oro temperatūra Kauno mieste (9 lentelė).

**9 lentelė.** Pagal statybos reglamentą taikytina 1961-1990 m. vidutinė mėnesio lauko oro temperatūra Kauno mieste [31].

| Mėnesis   | Lauko oro temperatūra, °C |
|-----------|---------------------------|
| Sausis    | -5,2                      |
| Vasaris   | -4,3                      |
| Kovas     | -0,4                      |
| Balandis  | 5,8                       |
| Gegužė    | 12,4                      |
| Birželis  | 15,8                      |
| Liepa     | 16,9                      |
| Rugpjūtis | 16,4                      |
| Rugsėjis  | 11,9                      |
| Spalis    | 7,1                       |
| Lapkritis | 1,8                       |
| Gruodis   | -2,3                      |

Surinkti naujausi duomenys, kokia buvo vidutinė mėnesio lauko oro temperatūra 2018-2019 metais Kaune ir pateikti 10 lentelėje. Šie meteorologiniai duomenys paimti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos [31].

**10 lentelė.** Kauno mieste vidutiniai mėnesių lauko oro temperatūra 2018-2019 metais.

| Mėnesis  | Lauko oro temperatūra, °C |
|----------|---------------------------|
| Balandis | +8,1.....+11,1            |
| Gegužė   | +16...+16,6               |
| Birželis | +17....17,5               |

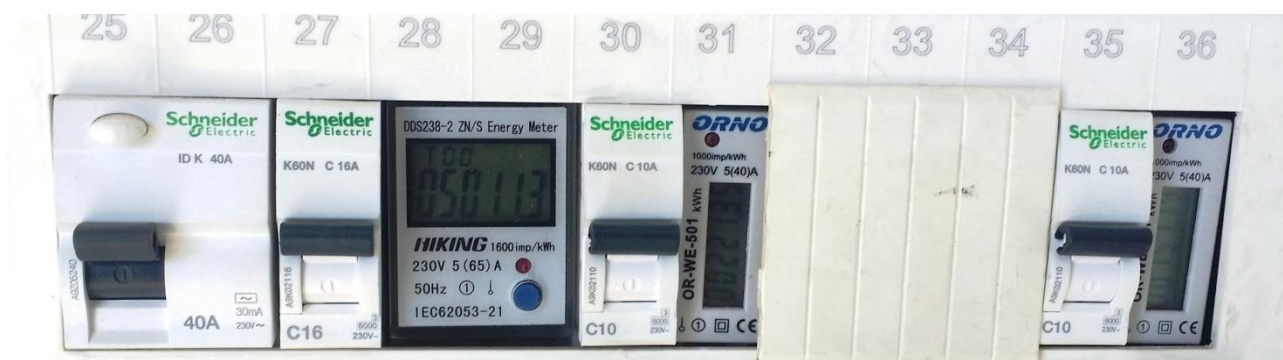
|           |             |
|-----------|-------------|
| Liepa     | +20...+20,5 |
| Rugpjūtis | +19...19,5  |
| Rugsėjis  | 14,5...+15  |
| Spalis    | +8.....+9   |
| Lapkritis | +2.....+3   |
| Gruodis   | -1....0     |
| Sausis    | -4....-5    |
| Vasaris   | +1...+1,5   |
| Kovas     | +2,5....+3  |

Kaip matoma iš 9 ir 10 lentelių, palyginus duomenis gauname, kad 2018-2019 metais vidutinė temperatūra žiemos mėnesiais sušvelnėjo: pavyzdžiui vasario mėnesį vidutinė lauko temperatūra 2018-2019 metais buvo +1..+1,5 °C, o anksčiau, 1961-1990 metais buvo -4,3 °C. Kaip matome iš surinktų meteorologinių duomenų, klimatas žiemos laikotarpyje šiltėja.

### 3.3. Šilumos siurblio tyrimo rezultatai

Šilumos siurblys 6 kW „MUZ-FH50VEHZ“ naudojamas pirmo namo aukšto šildymui, kurio plotas apie 80 kvadratinį metrų, o antras aukštas 130 kvadratinį metrų šildomas naudojant dujų arba kieto kuro katilus bei galimas dviejų kambarių šildymas dviem mažesniais šilumos siurbliais po 2,5 kW „MUZ-FH25VEHZ“.

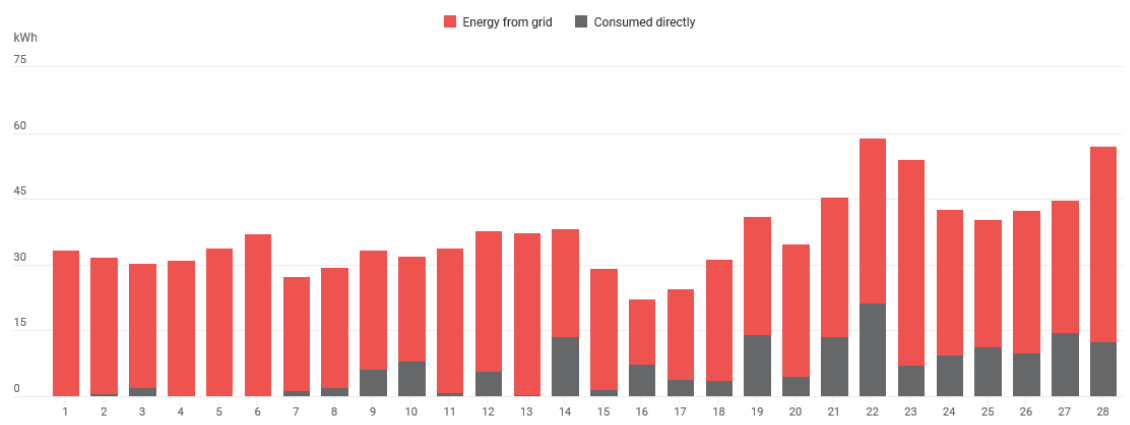
Šilumos siurbliams įrengiami kontroliniai elektros energijos skaitikliai (22 paveikslas). Antro aukšto šilumos siurbliai skirti vėsinimui, nes vasarą pietinių kambarių temperatūra viršija 30 °C.



22 pav. Šilumos siurblių kontroliniai elektros energijos skaitikliai sumontuoti elektros skyde

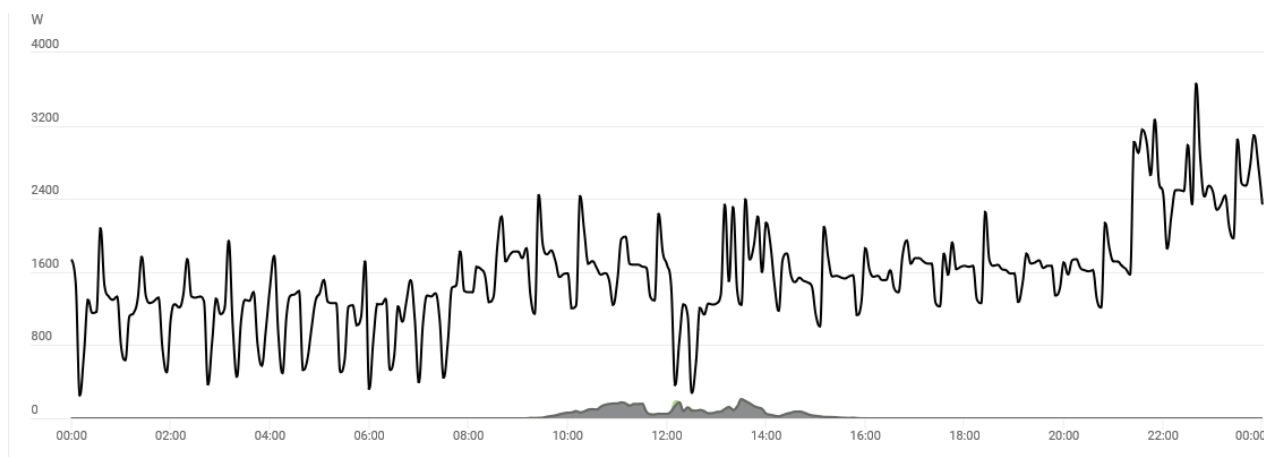
Lapkričio mėnesį šilumos siurblys oras-oras 6 kW dirbo ne visą parą ir ne kas dieną, nes paromis temperatūra buvo teigiama, šilumos siurblys nakties periodu būdavo išjungiamas, todėl būdavo pakankamai mažas suvartojimas tik 5-13 kWh per parą.

Pateikiamas gyvenamojo namo apkrovų elektros energijos suvartojimas, kai veikia šilumos siurblys „MUZ-FH50VEHZ“ vasario mėnesį iš protingo „Fronius Smart Meter 63A-3“ skaitiklio (23 paveikslas).



**23 pav.** Gyvenamojo namo elektros energijos suvartojimas su šilumos siurbliu kiekvienos paros grafikas vasario mėnesį

Šilumos siurblio suvartojama galia valandomis paros laikotarpyje svyruoja nuo 0,4 kW iki 2,4 kW, kad palaikytų svetainėje temperatūrą apie 21 °C (24 paveikslas).

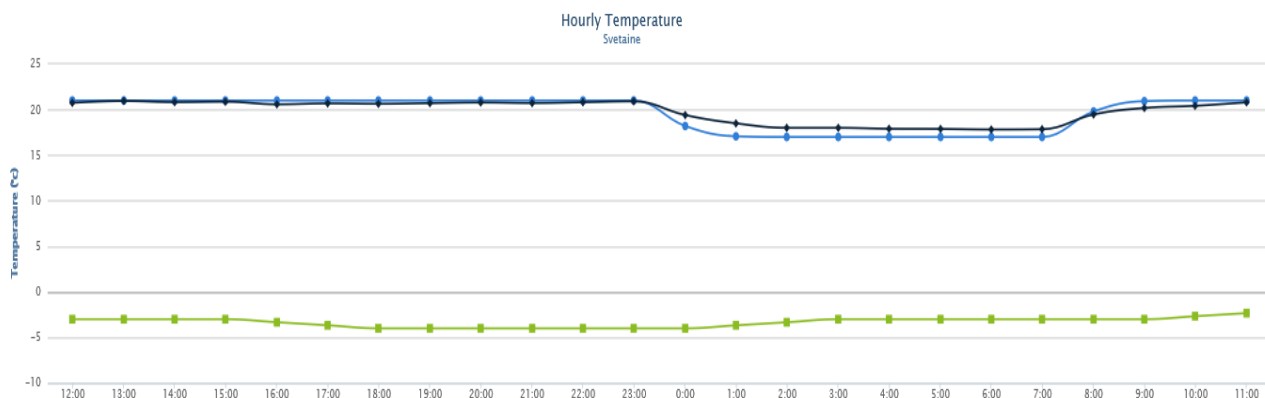


**24 pav.** Šilumos siurblio paros valandinis elektros galios suvartojimas kad palaikytų kambario temperatūra 21 °C

Pradėjus tyrimą gruodžio mėnesį nustatyta, kad šilumos siurblys dirbo tolygiu darbo grafiku, palaikydamas svetainės temperatūrą 21 °C visą parą, nemažindamas svetainės temperatūros naktį. Nuspręsta, kad reikia sumažinti šilumos siurblio suvartojamus elektros energijos kiekius, suvedant naujus darbo nustatymus pagal patalpų temperatūrą.

Atlikti šilumos siurblio nustatymai, kad nakties metu, nuo 23 valandos iki 7 valandos ryto, svetainėje temperatūra būtų sumažinama iki 18 °C, o nuo 7 valandos ryto pakeltų pirmo aukšto temperatūrą iki 21 °C ir palaikytų. Šilumos siurblio temperatūriniai darbo režimai patalpinti „MELCloud“ debesų sistemoje.

25 paveiksle pavaizduotas nustatytas 6 kW šilumos siurblio valandinis paros darbo režimas, kai palaikoma temperatūra svetainėje dienos metu yra 21 °C, o nakties metu 18 °C.

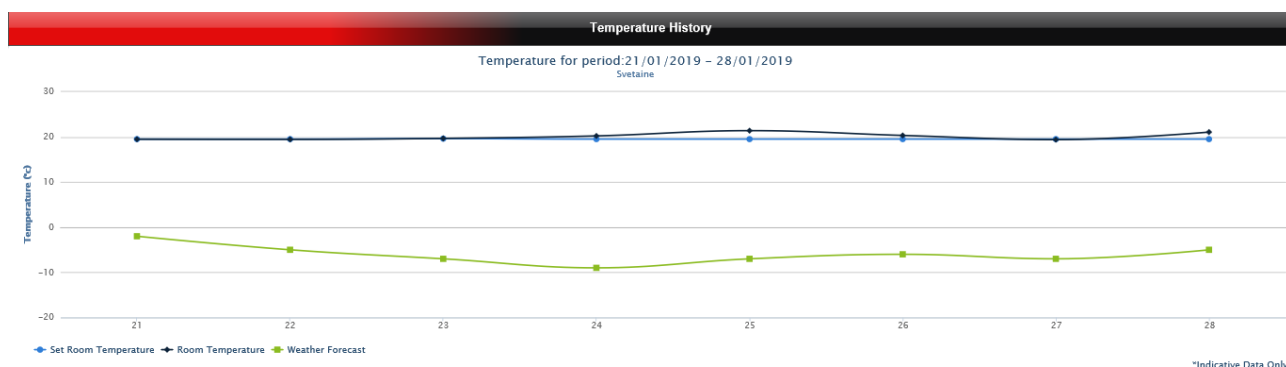


Mėlyna linija nustatyta kambario temperatūra, juoda linija faktinė kambario temperatūra, žalia oro prognozė

**25 pav.** Šilumos siurblio valandinis paros darbo režimas pagal nustatytas temperatūras

Kaip matoma iš 25 paveikslo, šilumos siurblio palaikoma temperatūra svetainėje pakankamai tiksliai paklaida siekia iki 0,5 laisnio dienos metu ir nakties iki 1 laipsnio.

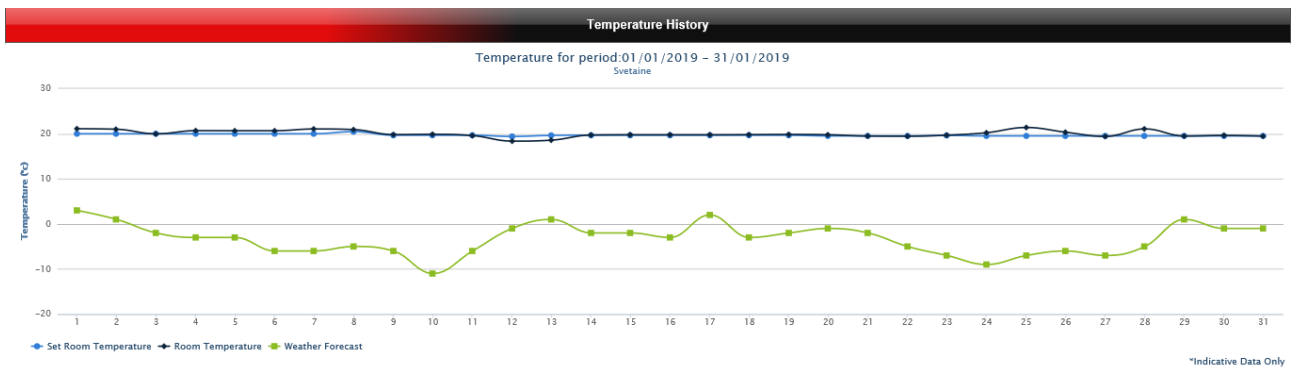
Parodoma 26 paveiksle kaip palaikoma svetainėje temperatūra periodu nuo 2019 metų sausio 21 dienos iki 2019 metų sausio 28 dienos, duomenys kaupiami ir galima pateikti paros, savaitės ir mėnesio formatu. Iš grafiko matyti, kad programa temperatūrą suvidurkina ir savaitės temperatūra sumažėja iki 20 °C.



Mėlyna linija nustatyta kambario temperatūra, juoda linija faktinė kambario temperatūra, žalia oro prognozė

**26 pav.** Šilumos siurblio savaitinis darbo režimas pagal nustatytas temperatūras

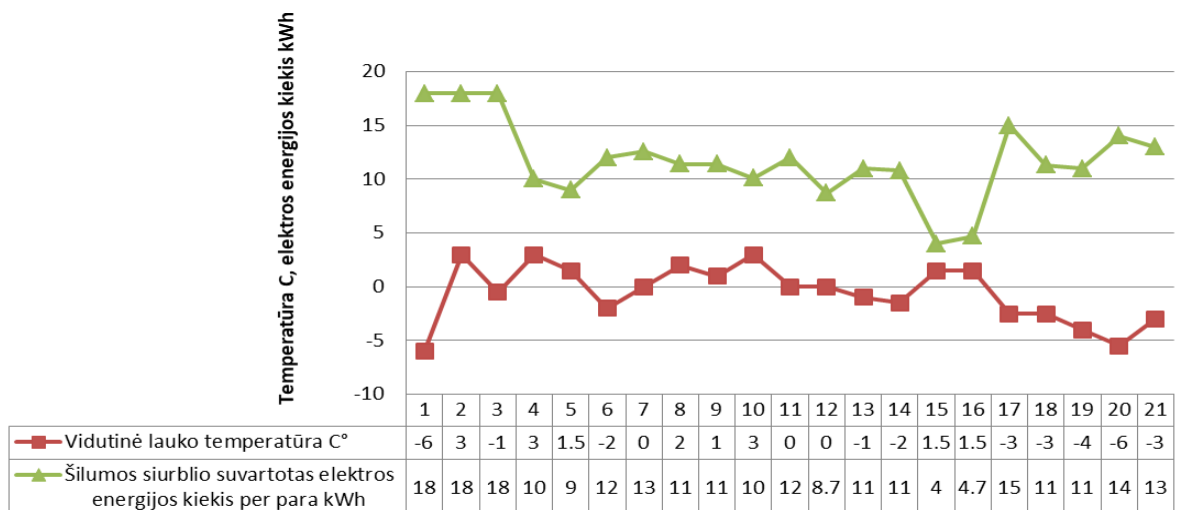
Šilumos siurblio 6 kW mėnesinis darbo režimas, kai palaikoma temperatūra svetainėje 21 °C dienos metu ir nakties metu 18 °C (27 paveikslas).



Mėlyna linija nustatyta kambario temperatūra, juoda linija faktinė kambario temperatūra, žalia oro prognozė

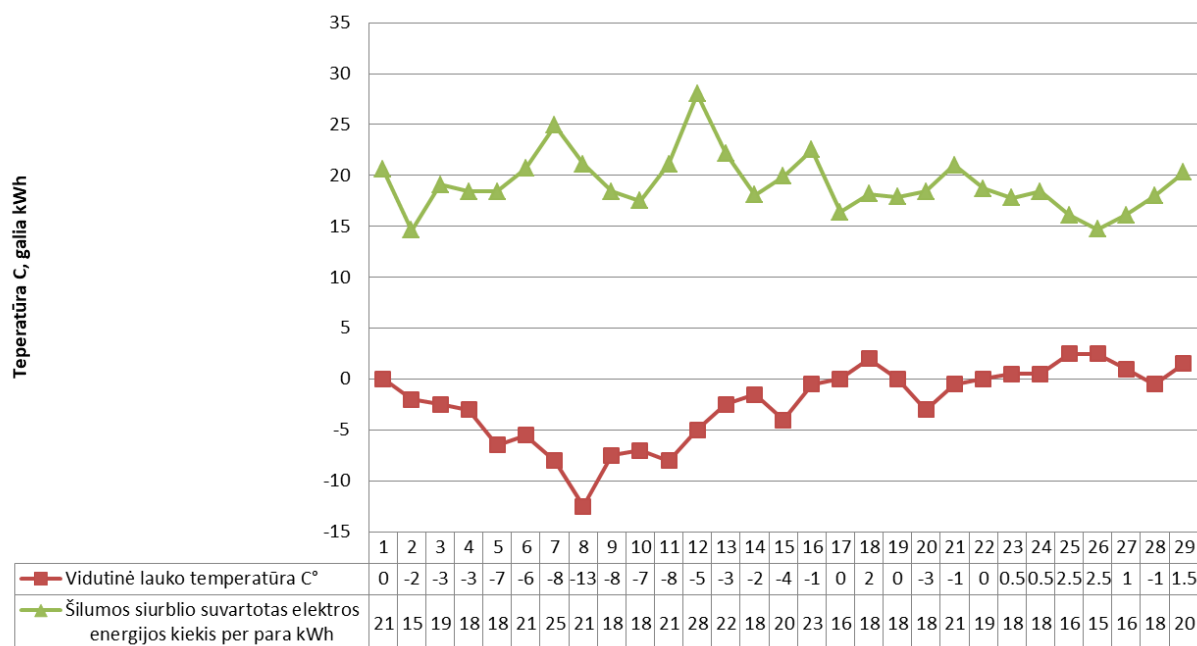
**27 pav.** Šilumos siurblio mėnesinis paros darbas kaip palaikoma temperatūra svetainėje pagal oro prognozę ir nustatyta temperatūrą

Realaus 6 kW šilumos siurblio oras-oras darbo grafikas gruodžio mėnesį pavaizduotas 28 paveiksle. Buvo paleistas nepertraukiamu darbo režimu (visą parą) ir elektros energijos suvartojimas svyravo nuo 8 iki 18 kWh per parą, palaikydamas svetainėje dienos metu 21 °C ir nakties metu 18 °C temperatūrą.



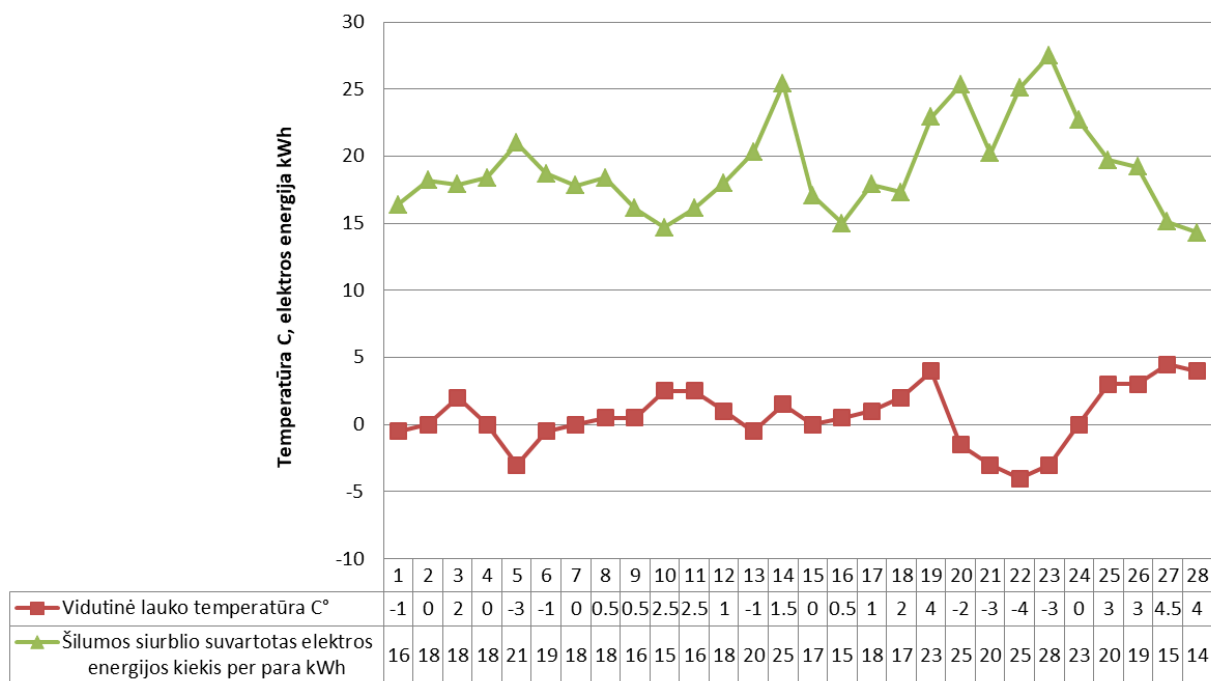
**28 pav.** Šilumos siurblio suvartojamas elektros energijos kiekis per parą gruodžio mėnesį

Pateikiamas sausio mėnesio šilumos siurblio sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros (29 paveikslas). Sausio mėnesį šilumos siurblio elektros energijos suvartojimas svyravo nuo 15 iki 25 kWh per parą.



29 pav. Šilumos siurblio sausio mėnesio sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros

Pateikiami vasario mėnesio gauti šilumos siurblio matavimo duomenys. Paskaičiuotas sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros parodytas 30 paveiksle.



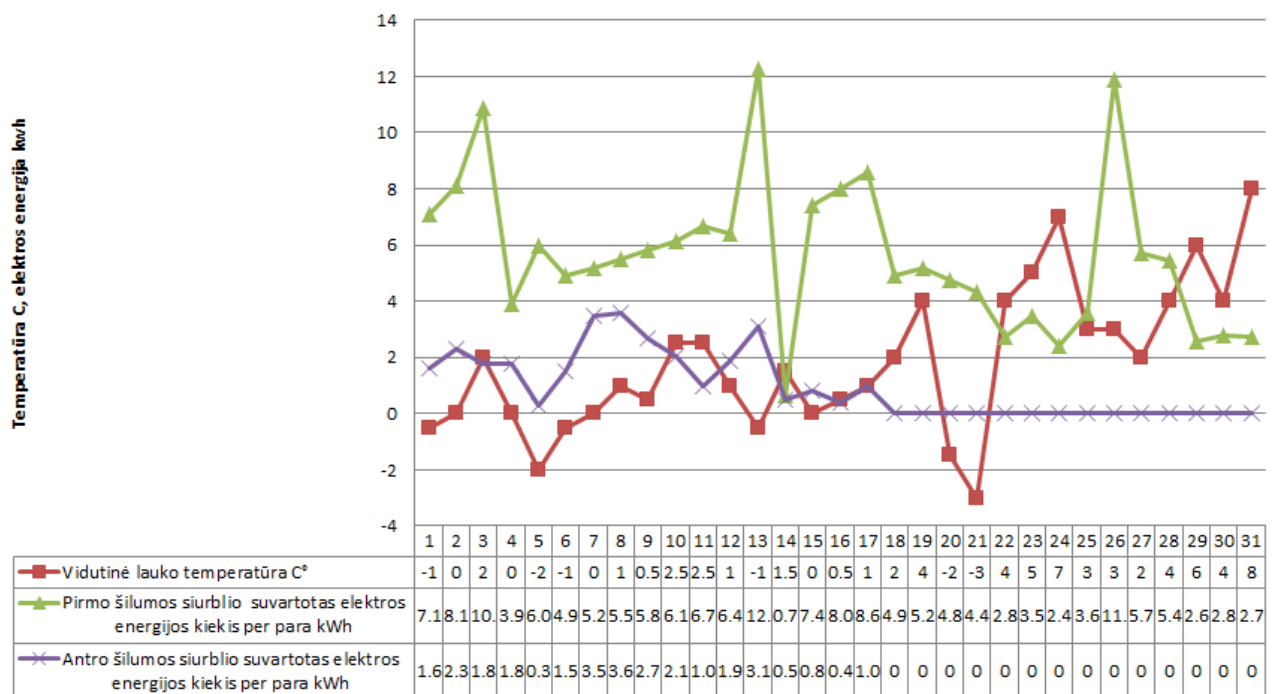
30 pav. Šilumos siurblio vasario mėnesio sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros

31 paveiksle pateikiami gauti šilumos siurblio sunaudotos elektros energijos kiekiai nuo lauko temperatūros kovo mėnesį.



**31 pav.** Šilumos siurblio sunaudotos elektros energijos kiekis nuo lauko temperatūros kovo mėnesį

Atliekamas eksperimentas kovo mėnesį, kai visas gyvenamasis namas šildomas visais trimis šilumos siurbliais, dujų katilas namo šildymui išjungtas. Paleidžiami įrengti du šilumos siurbliai antrame aukšte po 2,5 kW. Pateikiami gauti dviejų atskirų šilumos siurblių elektros energijos suvartojimai pagal lauko temperatūrą 32 paveiksle.



**32 pav.** Pirmo ir antro šilumos siurblių elektros energijos suvartojimai pagal lauko temperatūrą

Kaip matoma iš 32 paveikslo, su šilumos siurbliais kovo mėnesį buvo palaikoma 22-23 °C temperatūra ir pirmo šilumos siurblio elektros energijos suvartojimas svyravo nuo 4-12 kWh per



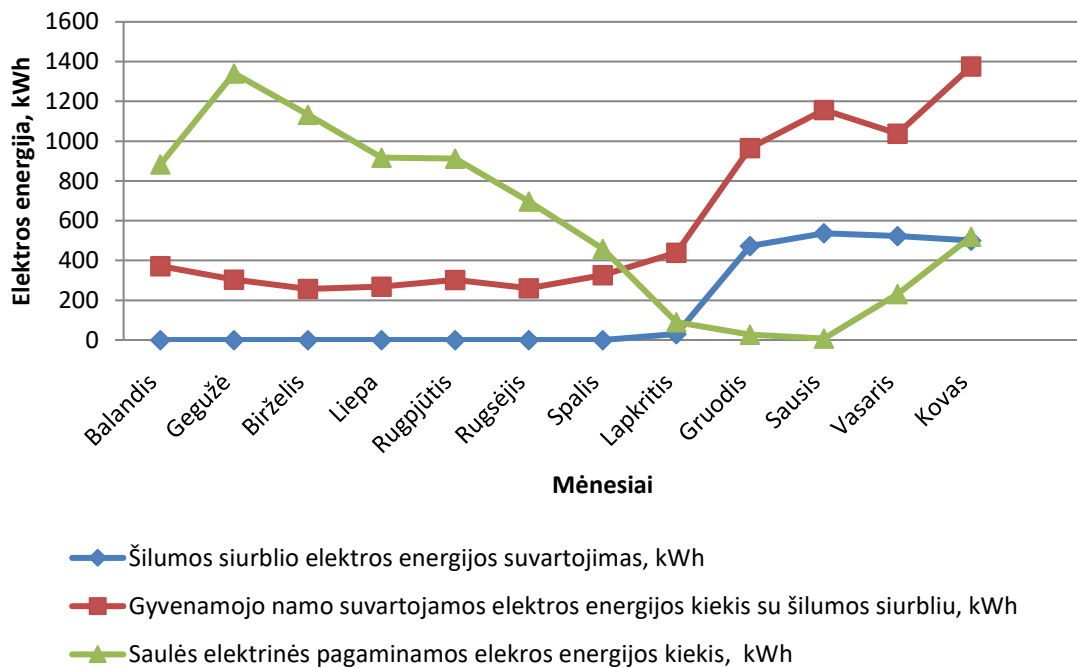
parą, nes dirbo visą laiką. Antras šilumos siurblys dirbdavo pagal poreikį, tačiau nakties metu išjungiamas dėl keliamo triukšmo. Todėl elektros energijos sąnaudos mažesnės ir siekė nuo 1 iki 4 kWh per parą.

Atlikus visą tyrimą, pateikiami gauti rezultatai 11 lentelėje: šilumos siurblio elektros energijos suvartojimai, gyvenamojo namo apkrovų suvartojimas su šilumos siurbliu ir saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis 2018-2019 metų mėnesiais.

**11 lentelė.** Saulės elektrinės sugeneravimo ir gyvenamojo namo suvartojimo elektros energijos kiekiai

| <b>Mėnesiai</b>                             | <b>Šilumos siurblio elektros energijos suvartojimas, kWh</b> | <b>Gyvenamojo namo suvartojamos elektros kiekis su šilumos siurbliu, kWh</b> | <b>Saulės elektrinės pagaminamos elektros energijos kiekis, kWh</b> |
|---|--|--|---|
| Balandis                                    | 0  | 371,30   | 883,30  |
| Gegužė                                      | 0  | 303,33   | 1341,33   |
| Birželis                                    | 0  | 256,80   | 1132,80   |
| Liepa                                       | 0  | 268,79   | 917,79  |
| Rugpjūtis                                   | 0  | 301,82   | 911,82  |
| Rugsėjis                                    | 0  | 260,44   | 696,44  |
| Spalis                                      | 0  | 327,24   | 459,24  |
| Lapkritis                                   | 90   | 438,66   | 89,66   |
| Gruodis                                     | 472,30   | 965,66   | 26,66   |
| Sausis                                      | 536,70   | 1157,46  | 7,46  |
| Vasaris                                     | 522,40   | 1038,00  | 231   |
| Kovas                                       | 501,10   | 1376,72  | 520   |
| Metinis suminis suvartojimas ir generavimas | 2122,40  | 7066,22  | 7217,50   |

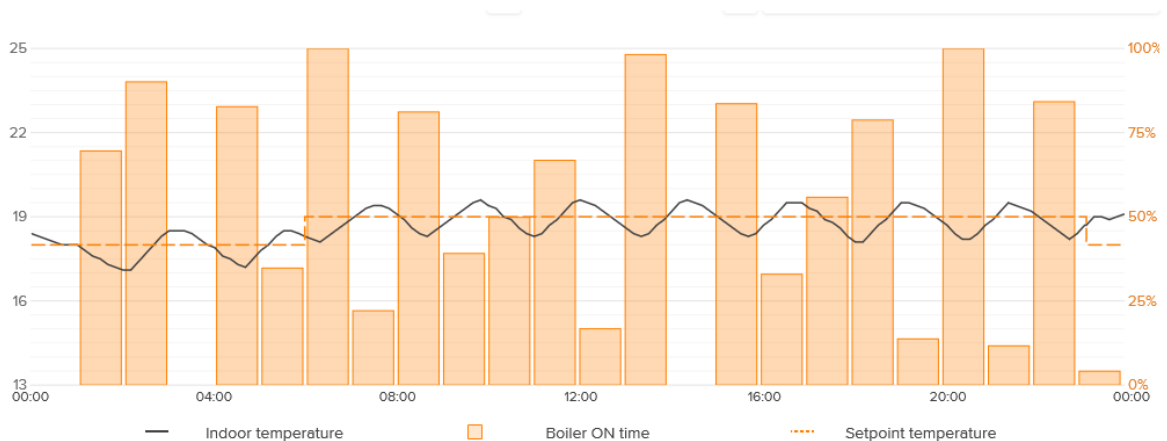
Pateikiamas 33 paveikslas, jame pavaizduota, kaip keičiasi energijos suvartojimas gyvenamajam namui su šilumos siurbliu, elektros energijos suvartojimas šilumos siurblio šaltuoju periodu bei saulės elektrinės pagaminamos energijos kiekis tyrimo laikotarpiu nuo 2018 metų kovo 31 dienos iki 2019 metų balandžio 1 dienos.



**33 pav.** Šilumos siurblio, gyvenamojo namo su šilumos siurbliu elektros energijos suvartojimas bei saulės elektrinės sugeneruotas elektros energijos kiekis

### 3.4. Dujų katilo darbo tyrimo rezultatai

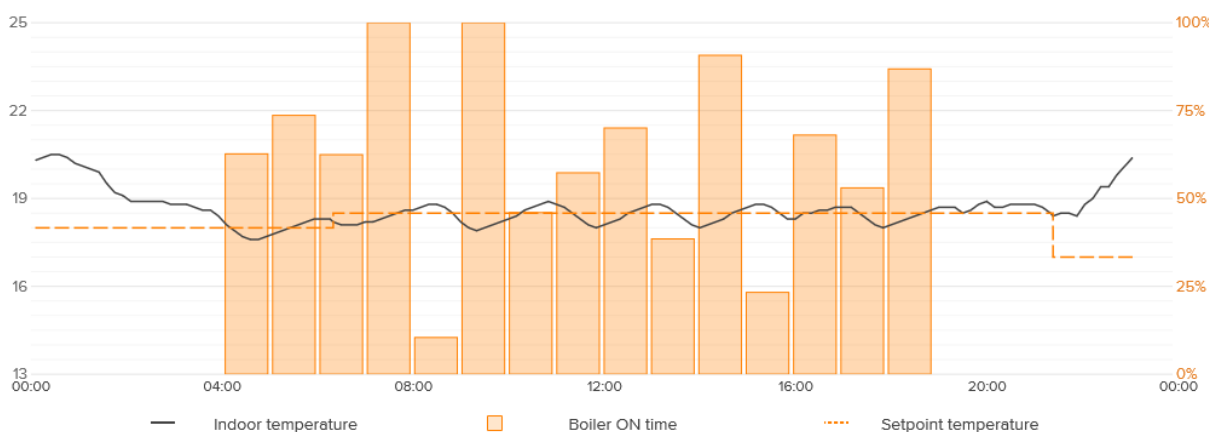
Atliekamas tyrimas su dujų katilu: nustatomos dujų sąnaudos nuo lauko temperatūros ir antro aukšto palaikomos temperatūros kambariuose. Išmanus temperatūros reguliatorius „Natamo“ (kilnojamas bevielis) pastatomas namo antrame aukšte, šalčiausiame kambaryje ir nustatoma dienos metu 19 °C temperatūra, o nakties metu 18 °C. Dujų katilo įsijungimo intervalas svyruoja 0,5 °C nuo nustatytos kambario temperatūros. Pateikiamas dujų katilo paros darbo režimas, kad katilo reguliatorius, nustatytas nakties metu 18 °C ir dienos metu 19 °C palaikytų nustatytą temperatūrą kambaryje, kai lauko temperatūra -0,5°C. Tai iliustruoja 34 paveikslas.



**34 pav.** Dujų katilo darbo režimas gyvenamojo namo antrame aukšte

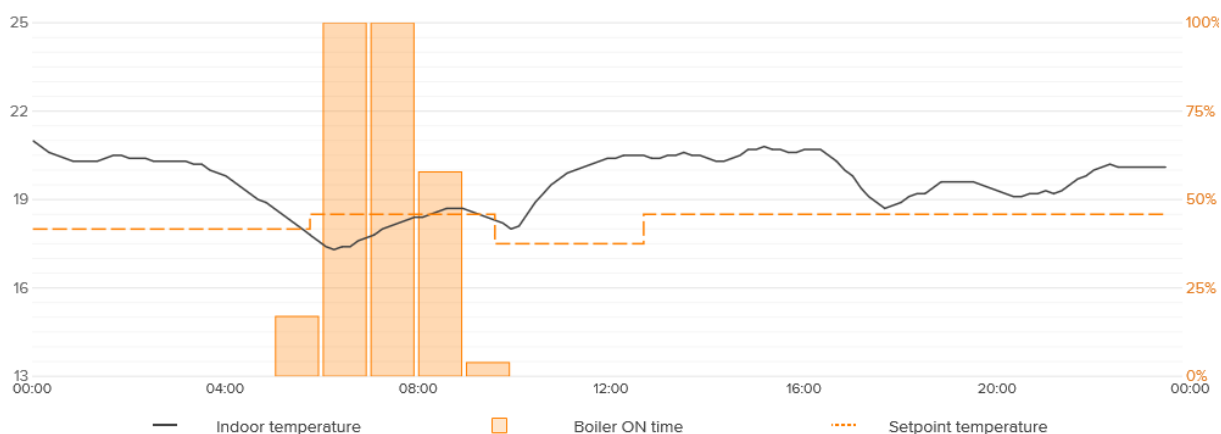
Taip pat atliktas eksperimentas, kiek galima sutaupyti dujų, užkuriant namų darbo kieto kuro katilą. Išsiaiškinta, kad vakarais sutaupoma apie 50 procentų dujų sąnaudų. Kaip matoma iš 35 paveikslo,

užkuriamas kieto kuro katilas 19 valandą, kuris kūrenasi iki 4 valandos ryto, paskui automatiškai suveikia dujų katilo kambario reguliatorius, kai nukrenta antro aukšto temperatūra nustatytos žemiau leistinos 18,5 °C ribos ir tada pradeda veikti dujų katilas.



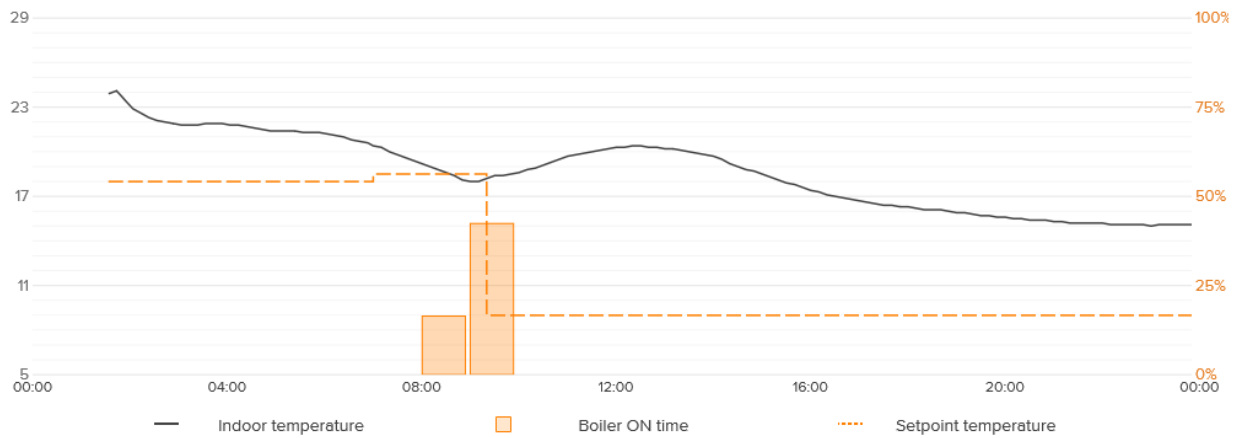
**35 pav.** Kieto kuro ir dujų katilo darbo režimas paros laikotarpyje

Taip pat pateikiamas įdomus ir retas atvejis, kai oro temperatūra yra 10 °C lauke ir šviečia saulė. Dėl saulės spindulių, per didelius langus pirmame ir antrame aukšte, saulės spinduliai prišildo ir kambarių temperatūra gali siekti gyvenamajame name 21-22 °C nuo 11 iki 16 valandos. Dujų katilo režimas pavaizduotas 36 paveiksle.



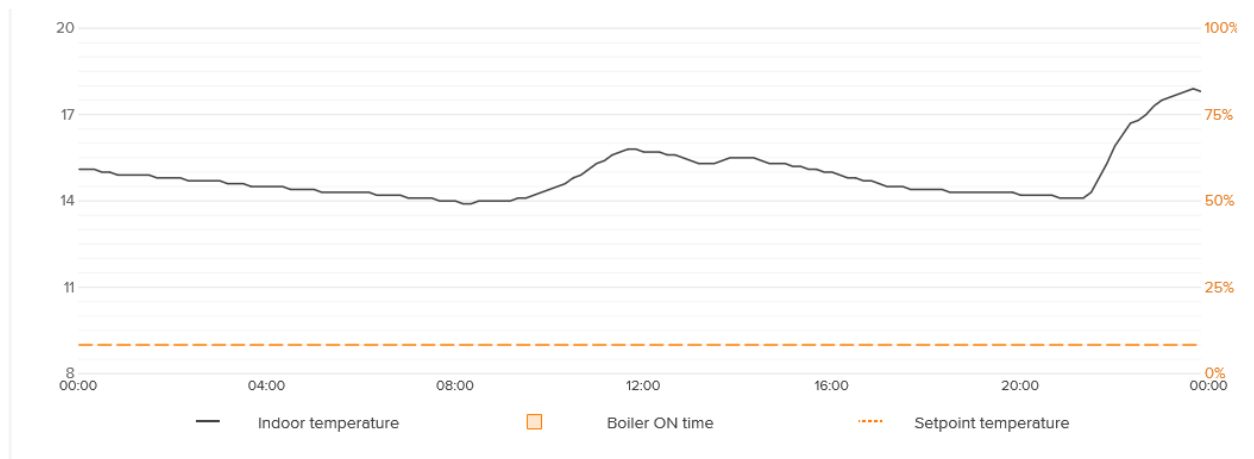
**36 pav.** Dujų ir kieto kuro katilų veikimas darbo režimas saulėta dieną

Taip pat atliktas tyrimo eksperimentas, kaip palaikoma gyvenamojo namo temperatūra vien šilumos siurbliu, kuris veikia pirmame namo aukšte, kai išvykstama iš gyvenamojo namo ilgesniam laikui ir dujų katilas pereina į neužšalimo režimą 9 °C. Dujų katilo reguliatoriui duodamas signalas, kad išvykstama iš namų 10 valandą ir nustatomas dujų katilo neužšalimo režimas 9 °C tačiau šilumos siurblys pirmame aukšte palaiko 21 °C temperatūrą (37 paveikslas).



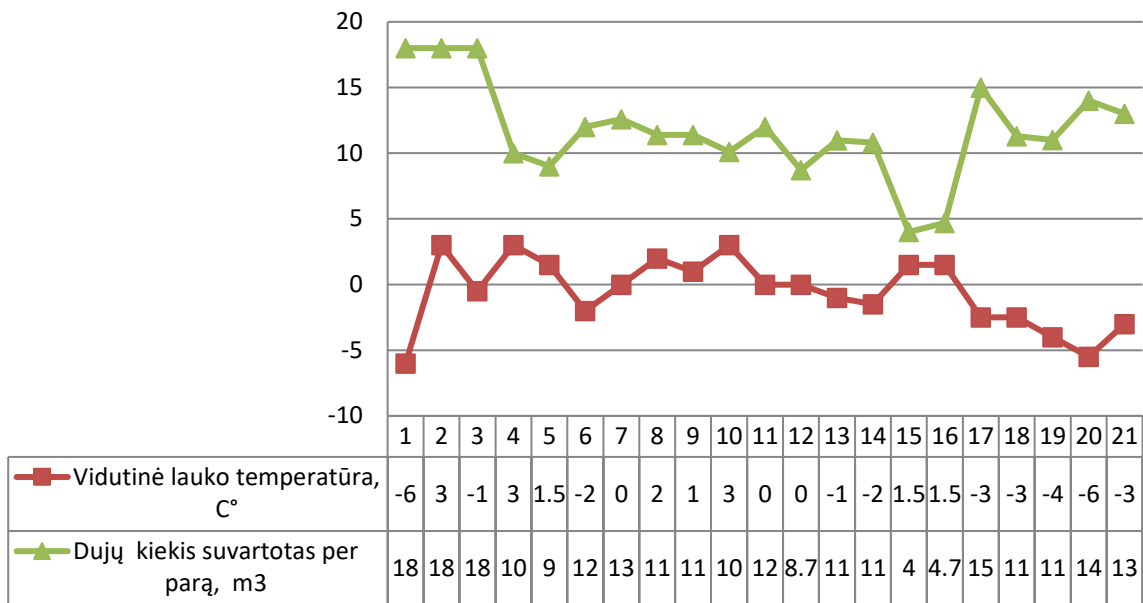
**37 pav.** Antro aukšto temperatūros pokytis veikiant šilumos siurbliui o dujų katilui nustačius neužšalimo režimą

Kaip matoma iš 37 ir 38 paveikslų, gyvenamojo namo antrame aukšte temperatūra išlieka 14-16 °C, kai šilumos siurblys palaiko pirmame aukšte 21 °C.



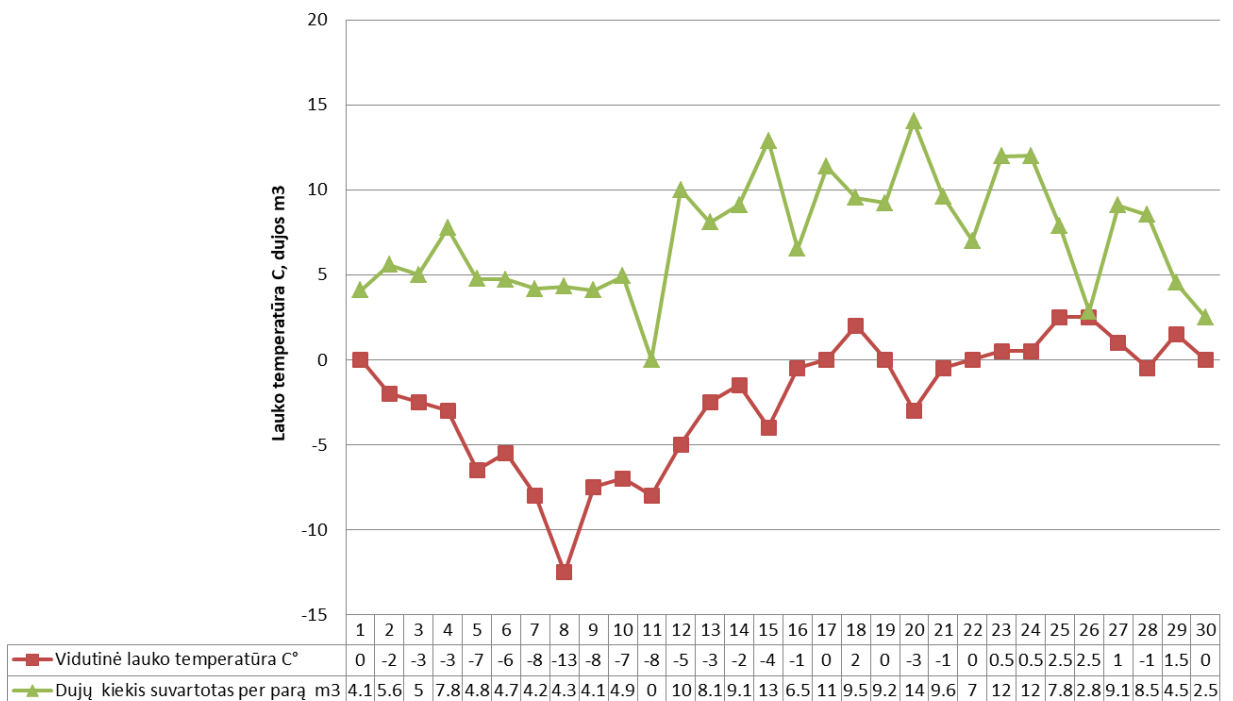
**38 pav.** Antro aukšto temperatūros pokytis veikiant šilumos siurbliui sekančia dieną o dujų katilui nustačius neužšalimo režimą

39 paveiksle pateikiamas gyvenamojo namo dujų suvartojimas nuo lauko paros vidutinės temperatūros gruodžio mėnesį, kai dujų katilas šildo antrą namo aukštą.



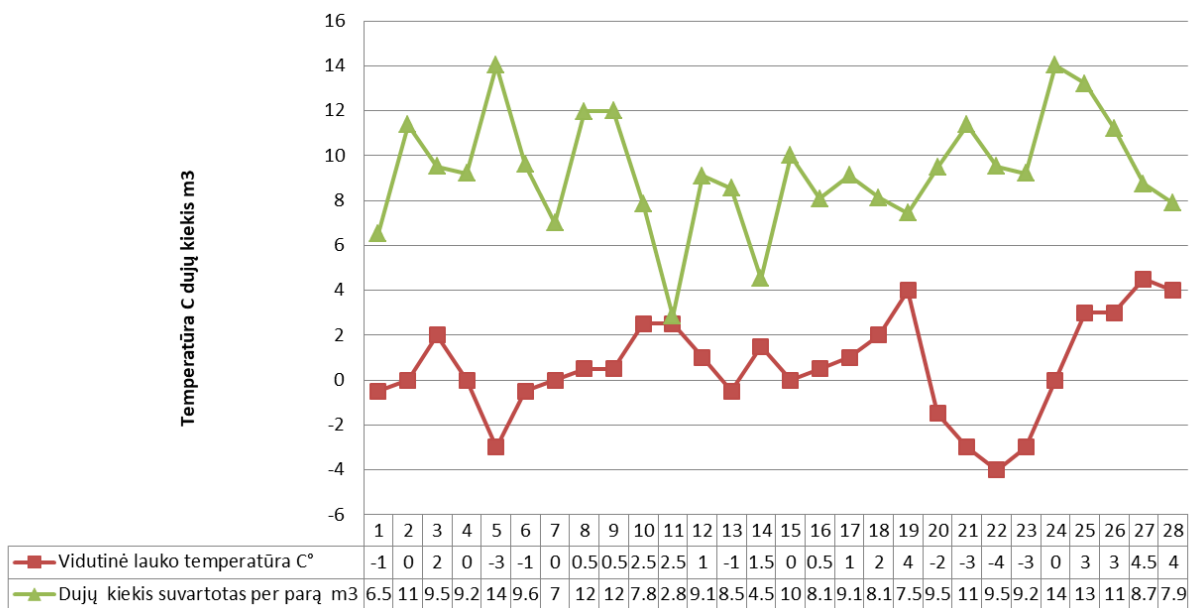
**39 pav.** Dujų katilo dujų suvartojimas gruodžio mėnesį kas parą pagal vidutinę lauko temperatūrą

Pateikiamas gyvenamojo namo dujų suvartojimas nuo lauko paros vidutinės temperatūros sausio mėnesį, kai dujų katilas šildo namo antrą aukštą (40 paveikslas).



**40 pav.** Dujų katilo dujų suvartojimas sausio mėnesį kas parą pagal vidutinę lauko temperatūrą

Pateikiamas gyvenamojo namo dujų suvartojimas nuo lauko paros vidutinės temperatūros vasario mėnesį, kai dujų katilas šildo namo antrą aukštą (41 paveikslas).



**41 pav.** Dujų katilo dujų suvartojimas vasario mėnesį kas parą pagal vidutinę lauko temperatūrą

#### 4. Saulės elektrinės atsipirkimo skaičiavimų įvertinimas

Atliekamas saulės elektrinės atsipirkimo ekonominis įvertinimas nuo 2018 metų balandžio 1 dienos iki 2019 metų kovo 31 dienos ir taip tęsiamas visiems likusiems metams. Išmatuotais duomenimis 2018-2019 metais nustatyta, kad saulės elektrinė šiuo laikotarpiu sugeneravo 7190 kWh.

Atliekant skaičiavimus priimama, kad visa pagaminama saulės elektrinės elektros energija suvartojama saviems poreikiams, todėl šiuose ekonominiuose skaičiavimuose naudojama reali, patvirtinta už atgautą elektros energiją (pasidėtą elektros energiją elektros tinkle), pirkimo kaina 0,04259 euro centų už 1 kWh [33]. Jeigu gyvenamajam namui pritrūksta pasidėtos elektros energijos, tai už trūkstamą 1 kWh [34] elektros energijos pirkimo kaina 0,13 euro centų. Ekonominiams skaičiavimams atlikti naudoti šie pradiniai duomenys, kurie pateikti 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Duomenys, kurie naudojami ekonominiams skaičiavimams atlikti

| Duomenys  | Vertės  |
|---|---------|
| SE instaliuota galia ant nuosavo namo, kW                           | 7,25    |
| SE lyginamosios kapitalo investicijos su PVM, eur/kW                | 1200    |
| Už atgautą elektros energiją kaina, eur/kWh                         | 0,04259 |
| Paskolos gražinimo trukmė, metais                                   | 10      |
| Banko finansuojama investicijų dalis, %                             | 80      |
| Banko paskolos palūkanų norma, %                                    | 4,3     |
| Metinė elektros energijos gamyba nuo 2018-04-01 iki 2019-03-31, kWh | 7210    |

Saulės elektrinės kapitalo investicijos-lėšos susideda iš trijų dedamųjų [35]:

$$K=K_{proj}+K_{isigij}+K_{mont}; \quad (4.1)$$

čia  $K_{proj}$  – SE kapitalo investicijos projektavimui, eur;  $K_{isigij}$  – SE kapitalo investicijos medžiagoms ir įrenginiams, eur; SE  $K_{mont}$  – kapitalo investicijos montavimo darbams, eur (13 lentelė).

**13 lentelė.** Kapitalo investicijos

| Rodikliai   | Kaina, eur |
|---|------------|
| $K_{proj}$ – SE kapitalo investicijos projektavimui su PVM                | 400        |
| $K_{isigij}$ – SE kapitalo investicijos medžiagomis ir įrenginiams su PVM | 7500       |
| $K_{mont}$ – SE kapitalo investicijos montavimo darbams su PVM            | 800        |

$$K=400+7500+800=8700 \text{ eur.} \quad (4.2)$$

$$k_{lyg} = \frac{K}{P_{inst.}} \quad (4.3)$$

$k_{lyg}$  – SE instaliuotos galios 1 kW kaina, eur

$P_{inst}$  – saulės elektrinės instaliuota galia, kW

$$k_{lyg} = \frac{8700}{7,25} = 1200 \text{ eur.} \quad (4.4)$$

Metinis saulės elektrinės nusidėvėjimas:

$$C_a = \frac{K}{T_{tarn}}; \quad (4.5)$$

$T_{tarn}$  – saulės elektrinės tarnavimo laikas, metais

$C_a$  – metinis SE nusidėvėjimas, eur:

$$C_a = \frac{8700}{25} = 348 \text{ eur.} \quad (4.6)$$

Metinės piniginės išlaidos (pirmo aukšto šildymas su šilumos siurbliu) išleidžiamos nuosavam namui už perkamą elektros energiją, kai mokama už atgautą elektros energiją:

$$R_{mp} = R \cdot E_{sk}$$

$$R_{mp} = 0,04259 \cdot 7210 = 307,1 \text{ eur.} \quad (4.7)$$

$R$  – priimama, kad už atgautą elektros energiją kaina - 0,04259 kWh/eur

$E_{sk}$  – realus pagamintos-suvaltos energijos kiekis, kWh

Metinės išleidžiamos pinigų sumos už perkamą elektros energiją nuosavam namui, jei būtų mokama už trūkstamą elektros energiją:

$$R_{mp} = R \cdot E_{sk}$$

$$R_{mp} = 0,13 \cdot 7210 = 937,30 \text{ eur.} \quad (4.8)$$

$R$  – priimama, kad už trūkstamą elektros energiją kaina - 0,13 kWh/eur

$E_{sk}$  – skaičiuotinas pagaminamos-suvaltos energijos kiekis, kWh

Saulės elektrinės instaliavimui paimtos paskolos atidavimas. Pasirenkamas linijinis paskolos gražinimas, nes skaičiuojant šiuo metodu, per visą laikotarpį sumokamų palūkanų suma yra



mažesnė, nei taikant anuitetinį skaičiavimo metodą. Atliekamas paskaičiavimas, kiek reikia iš banko pasiskolinti pinigų įrengti saulės elektrinę ant pastato stogo:

$$K_{\text{banko}} = K \cdot \frac{k_{\text{bf}}}{100\%} \quad (4.9)$$

$K_{\text{banko}}$  – iš banko pasiskolinti pinigai įrengti SE, eur

$k_{\text{bf}}$  – banko finansuojama investicijų dalis, %

$$K_{\text{banko}} = 8700 \cdot \frac{80\%}{100\%} = 6960 \text{ eur.} \quad (4.10)$$

Saulės elektrinės paskolos bankui grąžinimo grafikas yra pateiktas 14 lentelėje.

**14 lentelė.** Paskolos grąžinimo grafikas bankui už saulės elektrinės paskolą

| Metai    | Paskolos likutis, eur | Pastovi bankui grąžintina dalis per metus, eur | Bankui per metus mokamos palūkanos, eur | Pinigų suma per metus, eur |
|----------|-----------------------|--|---|----------------------------|
| 1        | 6960                  | 696  | 299,28                                  | 995,28                     |
| 2        | 6264                  | 696  | 269,35                                  | 965,35                     |
| 3        | 5568                  | 696  | 239,42                                  | 935,42                     |
| 4        | 4872                  | 696  | 209,49                                  | 905,49                     |
| 5        | 4176                  | 696  | 179,56                                  | 875,57                     |
| 6        | 3480                  | 696  | 149,64                                  | 845,64                     |
| 7        | 2784                  | 696  | 119,71                                  | 815,71                     |
| 8        | 2088                  | 696  | 89,78                                   | 785,78                     |
| 9        | 1392                  | 696  | 59,85                                   | 755,85                     |
| 10       | 696                   | 696  | 29,92                                   | 725,92                     |
| Iš viso: |                       | 6960   | 1646                                    | 8606                       |

Pastovi grąžintina paskolos dalis bankui per metus:

$$C_p = \frac{K_{\text{banko}}}{T_{\text{pg}}} = \frac{6960}{10} = 696 \text{ eur.} \quad (4.11)$$

$K_{\text{banko}}$  – banko paskola, eur

$C_p$  – pastovi grąžintina dalis per metus, eur

$T_{pg}$  – paskolos gražinimo trukmė, metais

Pirmus metus bankui mokamos palūkanos:

$$C_{pal,1} = K_{banko} \cdot \frac{k_{pn}}{100\%} \quad (4.12)$$

$C_{pal,1}$  – pirmus metus bankui mokamos palūkanos, eur

$k_{pn}$  – paskolos palūkanų norma, %

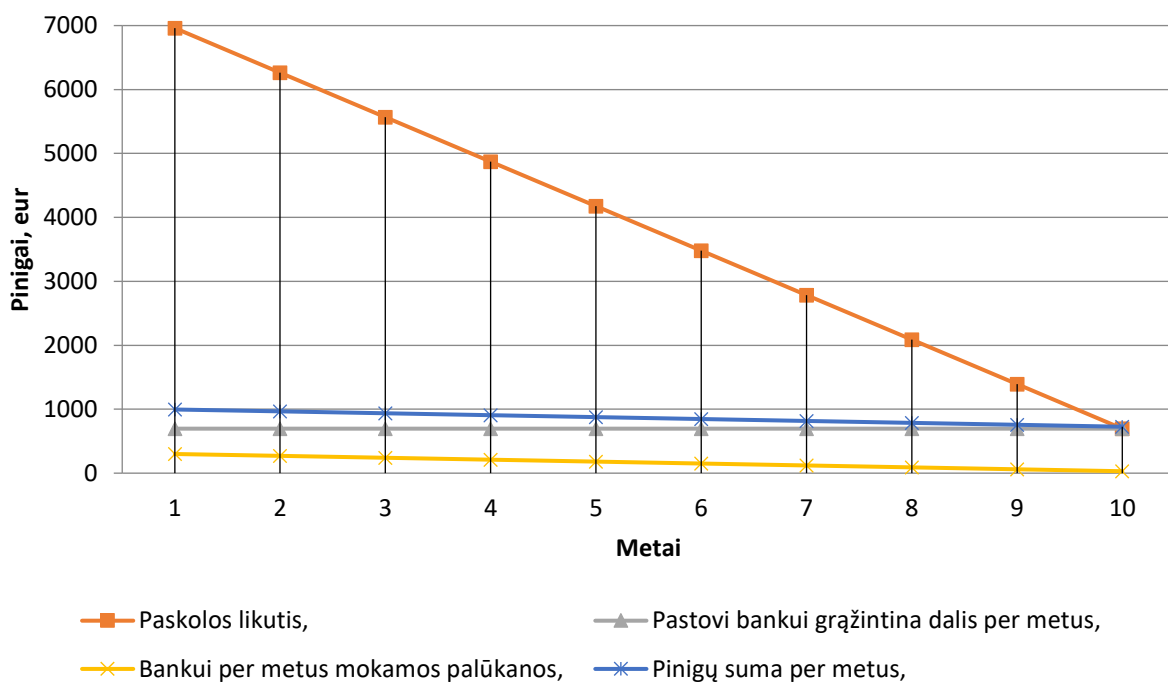
$$C_{pal,1} = 6960 \cdot \frac{4,3}{100\%} = 299,28 \text{ eur} \quad (4.13)$$

Antrus metus bankui mokamos palūkanos už saulės elektrinę

$$C_{pal,2} = (K_{banko} - C_p) \cdot \frac{k_{pn}}{100\%} \quad (4.14)$$

$$C_{pal,2} = (6960 - 696) \cdot \frac{4,3}{100\%} = 269,35 \text{ eur.} \quad (4.15)$$

Pateikiamas 42 paveikslas su banko paskolos likučiu, mokamos palūkanos bankui, bankui mokama pastovioji dalis ir pastovioji dalis su palūkanomis bei šių pinigų pasiskirstymas per 10 metų.



**42 pav.** Banko paskolos mokėjimų pasiskirstymais per 10 metų

Saulės elektrinės 7,25 kW įrengimui paėmus paskolą iš banko 6960 eurų per 10 metų susikaupia palūkanų 1646 eurai ir visa gražinimo paskolos suma lygi 8606 eurai. Taip pat nereikia pamiršti, kad prie saulės elektrinės įrengimo dar reikia pridėti savo lėšas (1740 eurų), tai yra 20 procentų viso

projekto vertės. Saulės elektrinės 7,25 kW įrengimas ant gyvenamojo namo stogo su banko paskola ir palūkanomis, kainuotų 10346 eurus ir atsipirktų per 11 metų.

Saulės elektrinės 7,25 kW atsipirkimo skaičiavimas, kai projektas įgyvendinamas savo lėšomis ir įvertinama, kad visa elektros energiją 7210 kWh bus nuperkama po 0,13 euro centų.

$$T_{SEn} = \frac{K}{R_{mp}} \quad (4.16)$$

$$T_{SEn} = \frac{8700}{937.3} = 9,28 \text{ m.} \quad (4.17)$$

Pagal atliktą skaičiavimą nustatyta, kad saulės elektrinės atsipirkimo laikotarpis būtų 9,28 metai.

Saulės elektrinės įrengimo atsipirkimo laikotarpio apskaičiavimas atliekamas, kai projektas įgyvendinamas banko pinigais, tačiau valstybė kompensuoja 30 procentų saulės elektrinės 7,25 kW įrengimo kainos, kuri sudarytų po kompensacijos 6090 eurų. Bankas reikalauja prisidėti saulės elektrinės savininko 20 procentų projekto vertės, kur sudarytų 1218 eurų ir reiktų pasiskolinti iš banko 4872 eurus.

Saulės elektrinės paskolos bankui grąžinimo grafikas, kai valstybė kompensuoja 30 procentų saulės elektrinės įrengimo kainos, yra pateiktas 15 lentelėje. Iš banko pasiskolinti pinigai instaliuoti saulės elektrinei ant pastato stogo:

$$K_{\text{banko}} = K \cdot \frac{k_{\text{bf}}}{100 \%} \quad (4.18)$$

$K_{\text{banko}}$  – iš banko pasiskolinti pinigai instaliuoti SE, eur

$k_{\text{bf}}$  – banko finansuojama investicijų dalis, %

$$K_{\text{banko}} = 6090 \cdot \frac{80\%}{100 \%} = 4872 \text{ eur.} \quad (4.19)$$

**15 lentelė.** Paskolos grąžinimo grafikas bankui už saulės elektrinę, kai valstybė dotuoja 30 procentų.

| Metai | Paskolos likutis, eur | Pastovi bankui grąžintina dalis per metus, eur | Bankui per metus mokamos palūkanos, eur | Pinigų suma per metus, eur |
|-------|-----------------------|--|---|----------------------------|
| 1     | 4872,00               | 487,20   | 209,49                                  | 696,69                     |
| 2     | 4384,80               | 487,20   | 188,54                                  | 675,74                     |
| 3     | 3897,60               | 487,20   | 167,59                                  | 654,79                     |
| 4     | 3410,40               | 487,20   | 146,64                                  | 633,84                     |
| 5     | 2923,20               | 487,20   | 125,69                                  | 612,89                     |

|          |         |         |         |         |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| 6        | 2436,00 | 487,20  | 104,74  | 591,94  |
| 7        | 1948,80 | 487,20  | 83,79   | 570,99  |
| 8        | 1461,60 | 487,20  | 62,91   | 550,05  |
| 9        | 974,40  | 487,20  | 41,89   | 529,17  |
| 10       | 487,20  | 487,20  | 20,94   | 508,15  |
| Iš viso: |         | 4872,00 | 1152,22 | 6024,23 |

Pastovi bankui gražintina dalis per metus:

$$C_p = \frac{K_{\text{banko}}}{T_{\text{pg}}} = \frac{4872}{10} = 487,2 \text{ eur.} \quad (4.20)$$

$K_{\text{banko}}$  – banko paskola, eur

$C_p$  – pastovi gražintina dalis per metus, eur

$T_{\text{pg}}$  – paskolos gražinimo trukmė, metais

Pirmus metus bankui mokamos palūkanos:

$$C_{\text{pal.,1}} = K_{\text{banko}} \cdot \frac{k_{\text{pn}}}{100 \%} \quad (4.21)$$

$C_{\text{pal.,1}}$  – pirmus metus bankui mokamos palūkanos, eur

$k_{\text{pn}}$  – paskolos palūkanų norma, %

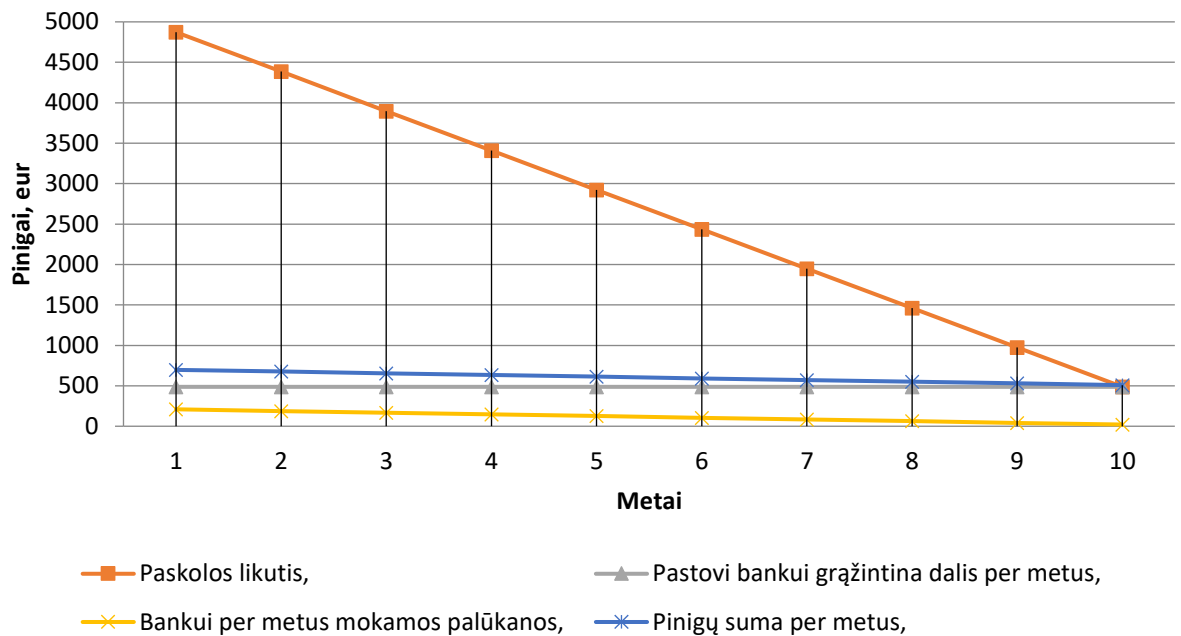
$$C_{\text{pal.,1}} = 4872 \cdot \frac{4,3}{100 \%} = 209,49 \text{ eur} \quad (4.22)$$

Antrus metus bankui mokamos palūkanos už saulės elektrinę:

$$C_{\text{pal.,2}} = (K_{\text{banko}} - C_p) \cdot \frac{k_{\text{pn}}}{100 \%} \quad (4.23)$$

$$C_{\text{pal.,2}} = (4872 - 487,2) \cdot \frac{4,3}{100 \%} = 188,54 \text{ eur.} \quad (4.24)$$

Pateikiamas 43 paveikslas su banko paskolos likučiu, mokamos palūkanos bankui, bankui mokama pastovioji dalis ir pastovioji dalis su palūkanomis bei šių pinigų pasiskirstymas per 10 metų.



**43 pav.** Banko paskolos mokėjimų pasiskirstymais per 10 metų, kai 30 procentų valstybė dotuoja

Saulės elektrinės 7,25 kW įrengimas paėmus paskolą iš banko 4872 eurus per 10 metų susikaupia palūkanos 1152,22 eurai ir gaunama, kad visa gražinimo paskolos suma 6024,23 eurai. Tačiau prie saulės elektrinės įrengimo dar reikia pridėti savo lėšas 1218 eurų, tai yra 20 procentų projekto vertės.

$$T_{SEn} = \frac{7242,22}{937,3} = 7,7 \text{ m.} \quad (4.25)$$

Saulės elektrinės 7,25 kW įrengimas iš viso, su banko paskola ir palūkanomis, kai valstybė kompensuoja 30 procentų, atsipirktų per 7,7 metus.

Saulės elektrinės įrengimo atsipirkimo laikotarpio apskaičiavimas, atliekamas, kai projektas įgyvendinamas savo lėšomis, tačiau valstybė kompensuoja 30 procentų saulės elektrinės įrengimo kainos.

$$T_{SEn} = \frac{K}{R_{mp}} \quad (4.26)$$

$$T_{SEn} = \frac{6090}{937,3} = 6,5 \text{ m.} \quad (4.27)$$

Geriausias variantas, kai žmogus saulės elektrinę įsirengia savo lėšomis ir valstybė kompensuoja 30 procentų saulės elektrinės įrengimo kainos. Tada saulės elektrinės įrengimas ant gyvenamojo namo stogo atsipirktų per 6,5 metus.

## Išvados

1. Sumodeliavus saulės elektrinę pagal gyvenamojo namo stogą gauta, kad saulės elektrinė turi sugeneruoti 6557 kWh per metus, tačiau atlikus realios saulės elektrinės tyrimą gautas faktinis elektros energijos kiekis yra 7217,5 kWh. Taip pat nustatyta, kad gyvenamojo namo saulės elektrinės pagamintas elektros energijos kiekis suvartojamas iš karto vasaros metu (kiekvieną dieną nuo 4 kWh iki 11 kWh), o pasidėtos elektros atgavimas nakties metu svyruoja nuo 1 kWh iki 4 kWh.
2. Iš tyrimo nustatyta, kad šilumos siurblio „MUZ-FH50VEHZ“ galia darbo metu svyruoja nuo 0,5 kW iki 2,2 kW, kai nustatyta kambario temperatūra 21 °C nuo 0,4 kW iki 1,6 kW, kai nustatyta kambario temperatūra nakties metu 17 °C. Taip pat šilumos siurblio elektros energijos sąnaudos priklauso nuo oro temperatūros ir svyruoja nuo 10 kWh iki 24 kWh per parą, kad palaikytų kambario temperatūra 21 °C.
3. Dujų katilas su reguliatoriumi palaiko nustatytą kambarių temperatūrą antrame aukšte 0,5 °C diapazone nuo nustatytos temperatūros. Dujų sąnaudos, kurios priklauso nuo lauko temperatūros, siekia nuo 8 iki 22 kubinių metrų per parą.
4. Įrengus šilumos siurblių šildyti gyvenamąjį namą sumažinama CO<sub>2</sub> emisiją 3,630 tonos per metus lyginat su dujų katilu, o įrengta saulės elektrinė sumažina CO<sub>2</sub> emisiją 3,799 tonos per metus.
5. Saulės elektrinės atsipirkimas be valstybės kompensacijos ir paėmus paskolą iš banko siektų 11 metų, su valstybės kompensacija ir banko paskola – 7,7 metus, be paskolos ir su valstybės kompensacija – 6,5 metų.

## Literatūros sąrašas

1. Xiao Jiang Ye, Yuan Gao Wen „Analysis is for the application of solar assisted heat pump in Wuhan City, China“, [žiūrėta 2018 m. gegužės 04 d.]. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5448293>
2. N. Aste, C. Del Pero, F. Leonforte, R. S. Adhikari, “Energy and Economic Assessment of a Hybrid Solar Assisted Head Pump System“.
3. Liu yi, Li Bing-xi, Zhou Yi, Fu Zhong-bin, Xu Xin-hai, „Study on Hybrid Solar Energy and Ground-Source Heat Pump System“, 2009 International Conference on Energy and Environment Technology.
4. Kei Inoue, Yumiko Iwafune „Operation of Heat Pump Water Heaters for Restriction of Photovoltaic Reverse Power Flow“, 2010 International Conference on Power System Technology.
5. R.S. Adhikari, M. Buzzetti, S. Magelli „Solar Photovoltaic and Thermal Systems for Electricity Generation, Space Heating and Domestic Hot Water in a Residential Building“.
6. G. Manfroi, M. Maistrello, L. C. Tagliabue, „Synergy of Geothermal Heat pumps and FV plant for buildings block“.
7. Yusuke Miyamoto, Yasuhiro Hayashi, „Prevention of output suppression through heat pump water heaters for high-penetration residential FV systems“.
8. Huan-Liang Tsai, Chieh-Yen Hsu, Bo-Zhi Lin, „Design and Evaluation of Photovoltaic/Thermal-Assisted Heat Pump Water Heating System“, 2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control.
9. F. Baccino, S. Massucco, F. Silvestro, S. Grillo, „Management strategy for unbalanced LV distribution network with electric vehicles, heat pumps and domestic photovoltaic penetration“.
10. Dirk Pietruschka, Marcus Brennenstuhl, Benjamin Matthiss, Jann Binder, „Decentralised heat pumps and small electricity storages as active components in a virtual power plant for smart grid services“.
11. Eitaro Omine, Masahiro Asari, Hiromu Kobayashi, „The Cooperative Control Method of Customer's Appliances for Stable Operation of Power Systems in Large Penetration of FV“.
12. Marc Brunner, Krzysztof Rudion, „FV Curtailment Reduction with Smart Homes and Heat Pumps“.
13. Yusuke Yoshida, Yuzuru Ueda, „Optimization of Residential FV and Water Heating System's Configuration and Operation Using Multi-Objective Particle Swarm Optimization“.
14. Lili Song, Linghai Meng, Xu Yin, Feng Gao, „Analysis of Micro-grid Integration with FV, Energy Storage and Ground-Source Heat Pump Based on DeST Simulation“.
15. Eitaro Omine, Hiroyuki Hatta, Naoyuki Takahashi, Tsuyoshi Ueno, „Smart Management System of Customer's Battery and Heat Pump Water Heater, considering the Japanese New Rule for Curtailment of FV Output“.
16. Zihao Li, Wenchuan Wu, Boming Zhang, Xue Tai, „Kullback-Leibler divergence-based distributionally robust optimisation model for heat pump day-ahead operational schedule to improve FV integration“, IET Gener. Transm. Distrib., 2018, Vol. 12 Iss. 13, pp. 3136-3144

17. Jan von Appen, „Incentive design, sizing and grid integration of residential FV systems with heat pumps and battery storage systems“.
18. Natale Arcuri, Roberto Bruno, Cristina Carpino, „FV Driven Heat Pumps for the Electric Demand-Side Management: Experimental Results of a Demonstrative Plant“.
19. Domenico Mazzeo, Nicoletta Matera, Giuseppe Oliveti, „Interaction between a wind-FV-battery-heat pump trigeneration system and office building electric energy demand including vehicle charging“.
20. Jan von Appen, Martin Braun, „Sizing and Improved Grid Integration of Residential FV Systems With Heat Pumps and Battery Storage Systems“, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 34, NO. 1, MARCH 2019.
21. Kastytis Žymantas, Valdas Jankūnas, Algimantas Kiškis, Donatas Gedmintas, „Saulės energijos panaudojimas gyvenamiesiems namams“.
22. Kęstutis Valančius, Jonas Grigaliūnas, „Saulės energijos panaudojimo modernizuojamuose daugiabučiuose analizė“, ENVIRONMENTAL PROTECTION ENGINEERING, 2016 8(4): 449-454.
23. Vytautas Adomavičius, „Atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimo galimybės daugiabučiuose namuose“, Official Journal of Lithuanian Applied Sciences Academy / Klaipėdos universitetas. ISSN 1822-0754. 2010, nr. 6.-P. 107-122.
24. Vladislav Žukovskij, Vadim Mokšin, „Šilumos siurblio tyrimai“ 10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas-Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2007 m. balandžio 19-20 d., straipsnių rinkinys.
25. Saulius Pakalka, „Šilumos siurblio darbo režimu analizė“ 20-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas-Lietuvos ateitis“ temine konferencija, 2017 m. balandžio 20 d. Vilnius.
26. Inverteriu pasirinkimas ir jų specifikacijos [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.] Prieiga per internetą: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/Quick>
27. Šilumos siurblių asortimentas ir jų specifikacijos [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.] Prieiga per internetą: <http://www.eko2siluma.lt/pagalbos-centras/veikimo-principas/>
28. Elektros energijos suvartojimas tyrimas [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.] Prieiga per internetą: [http://www.ena.lt/pat\\_el\\_fakt.htm](http://www.ena.lt/pat_el_fakt.htm)
29. Viasolis. Saulės modulių asortimentas, jų specifikacijos. [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://solitek.eu/lt/products/>
30. Fronius. Inverterio Fronius symo 7.2.3-M specifikacijos. [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/inverters/froniussymo/fronius-symo-8-2-3-m>
31. Lietuvos Respublikos Statybos ir urbanistikos ministerija, Statybinė klimatologija RSN156-94, 1995, Galvonaitė, 2013.
32. Junkers katilų asortimentas ir jų specifikacijos [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.] Prieiga per internetą: <https://www.junkers.lt/junkers-produktai/dujiniai-katilai/kondensaciai-katilai>



33. Valstybės kainų ir energetikos kontrolės komisija. Elektros energiją gaminančių vartotojų naudojimosi elektros tinklais paslaugų kainos. [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą:

<http://www.vkekk.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/elektros-energija-gaminanciuvartotoju-naudojimosi-elektros-tinklais-paslaugu-kainos.aspx>

34. Energijos skirstymo operatorius. Visuomeninės elektros energijos kainos ir tarifų planai. [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą:


<http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifaikainos-atsiskaitymas-ir-skolos/tarifai.html>








35. R. P. Deksnys. Energetikos ekonomika//Mokymo medžiaga, Kaunas, 2008.

## **Priedai**


# 1 priedas. Šilumos siurblių specifikacija

## MSZ-FH VEHZ SERIES





### Indoor Unit



MSZ-FH25/35/50VE





### Outdoor Unit



MUZ-FH25/35VEHZ      MUZ-FH50VEHZ

### Remote Controller





| Type                                 |   | Inverter Heat Pump                        |                     |                                     |             |                                     |                       |                               |                 |
|--------------------------------------|---|---|---------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|
| Indoor Unit                          |   | MSZ-FH25VE                                |                     | MSZ-FH35VE                          |             | MSZ-FH50VE                          |                       |                               |                 |
| Outdoor Unit                         |   | MUZ-FH25VEHZ                              |                     | MUZ-FH35VEHZ                        |             | MUZ-FH50VEHZ                        |                       |                               |                 |
| Refrigerant                          |   | R410A (*)                                 |                     |                                     |             |                                     |                       |                               |                 |
| Power Supply                         |   | Outdoor power supply<br>230 / Single / 50 |                     |                                     |             |                                     |                       |                               |                 |
| Cooling                              | Design Load                                   | kW  | 2,5                 | 3,5                                 | 5,0         |                                     |                       |                               |                 |
|                                      | Annual Electricity Consumption (*)            | kWh/a                                     | 96                  | 138                                 | 244         |                                     |                       |                               |                 |
|                                      | SEER (**)                                     |   | 9,1                 | 8,9                                 | 7,2         |                                     |                       |                               |                 |
|                                      | Capacity                                      | Energy Efficiency Class                   |                     | A+++                                |             | A++                                 |                       |                               |                 |
|                                      |   | Rated                                     | kW                  | 2,5                                 | 3,5         | 5,0                                 |                       |                               |                 |
| Total Input                          | Min - Max                                     | kW  | 0,8 - 3,5           | 0,8 - 4,0                           | 1,9 - 6,0   |                                     |                       |                               |                 |
|                                      | Rated   | kW  | 0,485               | 0,820                               | 1,380       |                                     |                       |                               |                 |
| Heating (Average Season) (**)        | Design Load                                   | kW  | 3,2 (-10°C)         | 4,0 (-10°C)                         | 6,0 (-10°C) |                                     |                       |                               |                 |
|                                      | Declared Capacity                             | at reference design temperature           |                     | 4,0 (-10°C)                         |             | 6,0 (-10°C)                         |                       |                               |                 |
|                                      |   | at bivalent temperature                   |                     | 4,0 (-10°C)                         |             | 6,0 (-10°C)                         |                       |                               |                 |
|                                      |   | at operation limit temperature            |                     | 2,6 (-25°C)                         |             | 3,8 (-25°C)                         |                       |                               |                 |
|                                      |   | at operation limit temperature            |                     | 0,0 (-10°C)                         |             | 0,0 (-10°C)                         |                       |                               |                 |
|                                      | Back Up Heating Capacity                      |   | kW                  |                                     | 0,0 (-10°C) |                                     |                       |                               |                 |
|                                      | Annual Electricity Consumption (*)            | kWh/a                                     | 924                 | 1173                                | 2006        |                                     |                       |                               |                 |
|                                      | SCOP (**) (4)                                 | Energy Efficiency Class                   |                     | A++                                 |             | A+                                  |                       |                               |                 |
|                                      |   | Rated                                     | kW                  | 3,2                                 | 4,0         | 6,0                                 |                       |                               |                 |
|                                      | Capacity                                      | Min - Max                                 | kW                  | 1,0 - 6,3                           | 1,0 - 6,6   | 1,7 - 8,7                           |                       |                               |                 |
| Rated                                |   | kW  | 0,580               | 0,800                               | 1,480       |                                     |                       |                               |                 |
| Operating Current (max)              |   | A   | 9,6                 | 10,6                                | 14,0        |                                     |                       |                               |                 |
| Indoor Unit                          | Input   | Rated                                     | kW                  | 0,029                               | 0,029       | 0,031                               |                       |                               |                 |
|                                      |   | Operating Current (max)                   | A                   | 0,4                                 | 0,4         | 0,4                                 |                       |                               |                 |
|                                      | Dimensions                                    |   | H x W x D           | mm                                  |             |                                     | 305 (+17) - 925 - 234 |                               |                 |
|                                      | Weight  |   | kg                  | 13,5                                |             |                                     | 13,5                  |                               |                 |
|                                      | Air Volume (SLo-Lo-Mid-Hi-SHi (**)) (Dry/Wet) | Cooling                                   | m <sup>3</sup> /min | 3,9 - 4,7 - 6,3 - 8,6 - 11,6 (10,5) |             | 3,9 - 4,7 - 6,3 - 8,6 - 11,6 (10,5) |                       | 6,4 - 7,4 - 8,6 - 10,1 - 12,4 |                 |
|                                      |   | Heating                                   | m <sup>3</sup> /min | 4,0 - 4,7 - 6,4 - 9,2 - 13,2        |             | 4,0 - 4,7 - 6,4 - 9,2 - 13,2        |                       | 5,7 - 7,2 - 9,0 - 11,2 - 14,6 |                 |
|                                      | Sound Level (SPL) (SLo-Lo-Mid-Hi-SHi (**))    | Cooling                                   | dB(A)               | 20 - 23 - 29 - 36 - 42              |             | 21 - 24 - 29 - 36 - 42              |                       | 27 - 31 - 36 - 39 - 44        |                 |
|                                      |   | Heating                                   | dB(A)               | 20 - 24 - 29 - 36 - 44              |             | 21 - 24 - 29 - 36 - 44              |                       | 25 - 29 - 34 - 39 - 46        |                 |
|                                      | Sound Level (PWL)                             |   | dB(A)               | 58                                  |             | 58                                  |                       | 60                            |                 |
|                                      | Outdoor Unit                                  |   | H x W x D           | mm                                  |             |                                     | 550 - 800 - 265       |                               | 880 - 840 - 330 |
| Weight                               |   | kg  | 37                  |                                     |             | 37                                  |                       | 55                            |                 |
| Air Volume                           | Cooling                                       | m <sup>3</sup> /min                       | 31,3                |                                     | 33,6        |                                     | 48,8                  |                               |                 |
|                                      | Heating                                       | m <sup>3</sup> /min                       | 31,3                |                                     | 33,6        |                                     | 51,3                  |                               |                 |
| Sound Level (SPL)                    | Cooling                                       | dB(A)                                     | 46                  |                                     | 49          |                                     | 51                    |                               |                 |
|                                      | Heating                                       | dB(A)                                     | 49                  |                                     | 50          |                                     | 54                    |                               |                 |
| Sound Level (PWL)                    |   | dB(A)                                     | 60                  |                                     | 61          |                                     | 64                    |                               |                 |
| Operating Current (max)              |   | A   | 9,2                 |                                     |             | 10,1                                |                       | 13,6                          |                 |
| Breaker Size                         |   | A   | 10                  |                                     |             | 12                                  |                       | 16                            |                 |
| Ext. Piping                          | Diameter                                      | Liquid / Gas                              | mm                  |                                     | 6,35 / 9,52 |                                     | 6,35 / 12,7           |                               |                 |
|                                      | Max. Length                                   | Out-In                                    | m                   |                                     | 20          |                                     | 30                    |                               |                 |
|                                      | Max. Height                                   | Out-In                                    | m                   |                                     | 12          |                                     | 16                    |                               |                 |
| Guaranteed Operating Range (Outdoor) |   | Cooling                                   | °C                  |                                     | -10 ~ +46   |                                     | -10 ~ +46             |                               |                 |
|                                      |   | Heating                                   | °C                  |                                     | -25 ~ +24   |                                     | -25 ~ +24             |                               |                 |

(\*) Refrigerant leakage contributes to climate change. Refrigerant with lower global warming potential (GWP) would contribute less to global warming than a refrigerant with higher GWP. If leaked to the atmosphere, this appliance contains a refrigerant fluid with a GWP equal to 1975. This means that if 1 kg of this refrigerant fluid would be leaked to the atmosphere, the impact on global warming would be 1975 times higher than 1 kg of CO<sub>2</sub> over a period of 100 years. Never try to interfere with the refrigerant circuit yourself or disassemble the product yourself and always ask a professional.

(\*\*) Energy consumption based on standard test results. Actual energy consumption will depend on how the appliance is used and where it is located.

(\*) SEER, SCOP and other related description are based on COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No,626/2011. The temperature conditions for calculating SCOP are based on "Average Season".

(\*) Please see page 47 for heating (warmer season) specifications.



## ViaSolis PRIME 245 - 270

Glass/Glass 60 cell module

Glass/Glass modules – advanced choice for those who look for durability, safety, efficiency.



### Why Glass/Glass technology?

Glass/Glass (G/G) modules are produced by laminating PV cells between two glasses, instead of standard glass and plastic.

In comparison with standard modules, the same glass material resistance and heat dispensing is more durable in fluctuating temperatures, hot and humid climate zones, ensuring 30-40 years lifetime.

Unlike other G/G modules in the market, ViaSolis uses innovative edge-sealant technology to protect PV cells from humidity.

PV cells are manufactured in-house using advanced technologies ensuring elimination of potential induced degradation (100% PID free cells).

Both ViaSolis cells and modules are manufactured using green energy – geothermal, solar and hydro power.

### KEY FEATURES

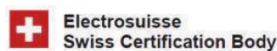
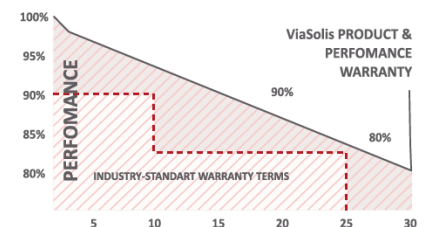
- 30+ year lifetime.** Edge-sealant protection assures superior atmospheric and humidity resistance.
- Back glass** instead of plastic assures durability and robust protection against UV, moisture, ammonia and salt corrosion.
- Higher heat dispensing.** Glass is better thermal conductor than plastic back-sheet in standard modules ensuring higher efficiency in hot climate.
- Possibility to **bond the PV modules** with adhesive material.
- 100% PID free cells.** Potential induced degradation is eliminated at cell level using PVB lamination foil.
- Compliant with IEC 61215:2005, IEC 61730:2004 standard
- Wider light spectrum absorbed.** PVB lamination foil utilise light spectrum starting from 280nm.
- Customised choice.** Range of dimensions, forms, colours and efficiency for BIPV solutions.

### RELIABLE QUALITY

- Positive power tolerance 0/+5 W
- 100% double quality control ensures modules are defect free
- Fully automated production lines eliminates human mistakes
- Manufactured and assembled in EU (Vilnius, Lithuania)

### MANUFACTURER WARRANTY

- 30 years product warranty
- 30 years performance warranty at 80 % output
- 2 years all risk insurance. Available for the following countries: Germany, Austria, Switzerland, Liechtenstein, Luxemburg, UK, France and North Italy



IEC 61215:2005  
IEC 61730:2004 standard



**MECHANICAL PARAMETERS**

|   |                    |
|---|--------------------|
| Cell (mm)   | 156x156            |
| Weight (kg)   | 27,3               |
| Dimensions (LxWxH) (mm)                             | 1673x991x7.5       |
| Cable Cross Section Size (mm <sup>2</sup> ) / Plugs | 4 / MC4 compatible |
| No. of Cells in the Line                            | 60 (10x6)          |
| Junction Box  | Huber+Suhner J-Box |
| Front / Back Glass (mm)                             | 3.2 / 3.2          |
| Packaging Configuration                             | 16 per pallet      |

**WORKING CONDITIONS**

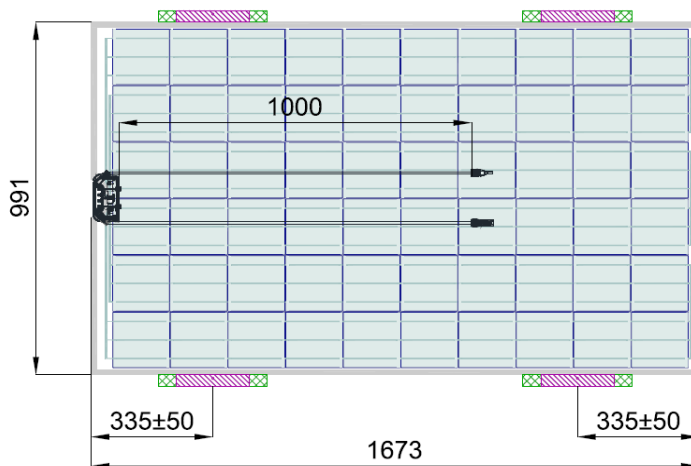
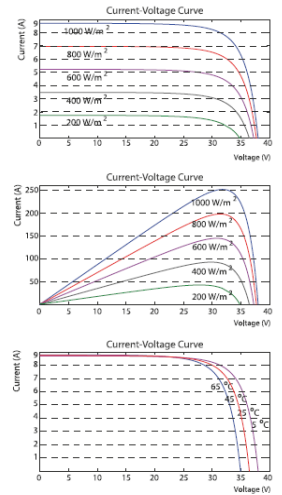
|  |                 |
|--|-----------------|
| Maximum System Voltage                   | DC 1000V (TÜV)  |
| Operating Temperature                    | -40 °C~+85°C    |
| Maximum Reverse Current                  | 15A             |
| Maximum Static Load, Front (wind / snow) | 2400Pa / 2400Pa |
| NOCT                                     | 43,6°C          |
| Safety class                             | II              |

**ELECTRICAL PARAMETERS**

| TYPE                                   | ViaSolis PRIME 60,P 245 | ViaSolis PRIME 60,P 250 | ViaSolis PRIME 60,P 255 | ViaSolis PRIME 60,P 260 | ViaSolis PRIME 60,M 265 | ViaSolis PRIME 60,M 270 |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Rated Maximum Power at STC (Wp)        | 245                     | 250                     | 255                     | 260                     | 265                     | 270                     |
| Open Circuit Voltage (Voc/V)           | 37.54                   | 37.57                   | 37.63                   | 37.66                   | 38.43                   | 38,47                   |
| Maximum Power Voltage (Vmp/V)          | 30.12                   | 30.14                   | 30.17                   | 30.19                   | 30.78                   | 30,82                   |
| Short Circuit Current (Isc/A)          | 8.68                    | 8.87                    | 9.04                    | 9.21                    | 9.12                    | 9,29                    |
| Maximum Power Current (Imp/A)          | 8.14                    | 8.30                    | 8.46                    | 8.62                    | 8.61                    | 8,77                    |
| Module Efficiency [%]                  | 14.78                   | 15.08                   | 15.38                   | 15.68                   | 13.44                   | 13,69                   |
| Power Tolerance                        | 0/+5 W                  | 0/+5 W                  | 0/+5 W                  | 0/+5 W                  | 0/+5 W                  | 0/+5 W                  |
| Temperature Coefficient of Isc (αIsc ) | +0.05%/°C               | +0.05%/°C               | +0.05%/°C               | +0.05%/°C               | +0.0455 %/°C            | +0.0455 %/°C            |
| Temperature Coefficient of Voc (βVoc)  | -0.34%/°C               | -0.34%/°C               | -0.34%/°C               | -0.34%/°C               | -0.3055 %/°C            | -0.3055 %/°C            |
| Temperature Coefficient of Pmax (γPmp) | -0.42%/°C               | -0.42%/°C               | -0.42%/°C               | -0.42%/°C               | -0.3910 %/°C            | -0.3910 %/°C            |

STC Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Module Temperature 25 °C, AM 1.5

**I-V CURVE**



**ENGINEERING DRAWING**

The module is certified with Alumero Click 6.8 L-200 clamps

Approved for:

- 2400 Pa snow load
- 2400 Pa wind load

- clamp area
- clamp mounting area

### 3 priedas. Inverterio specifikacija

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



## FRONIUS SYMO

Maximum flexibility for the applications of tomorrow



SnapInverter technology



Integrated data communication



Dynamic Peak Manager



Smart Grid Ready



SuperFlex Design



Zero feed-in

With power categories ranging from 3.0 to 20.0 kW, the transformerless Fronius Symo is the three-phase inverter for systems of every size. Owing to the SuperFlex Design, the Fronius Symo is the perfect answer to irregularly shaped or multi-oriented roofs.

The standard interface to the internet via WLAN or Ethernet and the ease of integration of third-party components make the Fronius Symo one of the most communicative inverters on the market. Furthermore, the meter interface permits dynamic feed-in management and a clear visualisation of the consumption overview.

### TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

| INPUT DATA  | SYMO 3.0-3-S           | SYMO 3.7-3-S           | SYMO 4.5-3-S           | SYMO 3.0-3-M           | SYMO 3.7-3-M           | SYMO 4.5-3-M           |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Number MPP trackers   |                        | 1                      |                        |                        | 2                      |                        |
| Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}^{2)}$ )                         |                        | 16.0 A                 |                        |                        | 16.0 A / 16.0 A        |                        |
| Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> / MPP <sub>2</sub> <sup>1)</sup> ) |                        | 24.0 A                 |                        |                        | 24.0 A / 24.0 A        |                        |
| DC input voltage range ( $U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$ )                                |                        |                        |                        | 150 - 1000 V           |                        |                        |
| Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )   |                        |                        |                        | 200 V                  |                        |                        |
| Usable MPP voltage range  |                        |                        |                        | 150 - 800 V            |                        |                        |
| Number of DC connections  |                        | 3                      |                        |                        | 2+2                    |                        |
| Max. PV generator output ( $P_{dc\ max}$ )  | 6.0 kW <sub>peak</sub> | 7.4 kW <sub>peak</sub> | 9.0 kW <sub>peak</sub> | 6.0 kW <sub>peak</sub> | 7.4 kW <sub>peak</sub> | 9.0 kW <sub>peak</sub> |

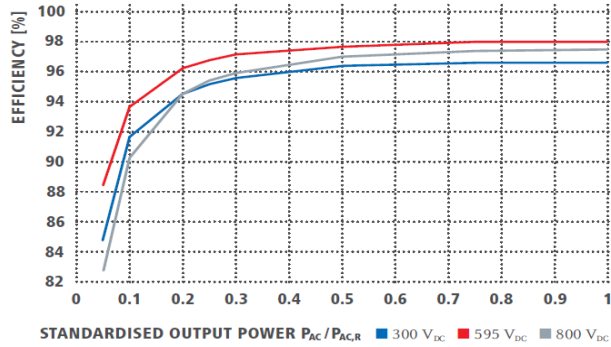
| OUTPUT DATA                           | SYMO 3.0-3-S | SYMO 3.7-3-S         | SYMO 4.5-3-S | SYMO 3.0-3-M   | SYMO 3.7-3-M         | SYMO 4.5-3-M |
|---------------------------------------|--------------|----------------------|--------------|--|----------------------|--------------|
| AC nominal output ( $P_{ac\ r}$ )     | 3,000 W      | 3,700 W              | 4,500 W      | 3,000 W  | 3,700 W              | 4,500 W      |
| Max. output power                     | 3,000 VA     | 3,700 VA             | 4,500 VA     | 3,000 VA   | 3,700 VA             | 4,500 VA     |
| AC output current ( $I_{ac\ nom}$ )   | 4.3 A        | 5.3 A                | 6.5 A        | 4.3 A  | 5.3 A                | 6.5 A        |
| Grid connection (voltage range)       |              |                      |              | 3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %) |                      |              |
| Frequency (Frequency range)           |              |                      |              | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)                                 |                      |              |
| Total harmonic distortion             |              |                      |              | < 3 %  |                      |              |
| Power factor ( $\cos\ \phi_{ac\ r}$ ) |              | 0.70 - 1 ind. / cap. |              |  | 0.85 - 1 ind. / cap. |              |

| GENERAL DATA                                 | SYMO 3.0-3-S   | SYMO 3.7-3-S | SYMO 4.5-3-S  | SYMO 3.0-3-M   | SYMO 3.7-3-M | SYMO 4.5-3-M |
|--|--|--------------|---|--|--------------|--------------|
| Dimensions (height x width x depth)          |  |              | 645 x 431 x 204 mm  |  |              |              |
| Weight                                       |  | 16.0 kg      |   |  | 19.9 kg      |              |
| Degree of protection                         |  |              | IP 65   |  |              |              |
| Protection class                             |  |              | 1   |  |              |              |
| Overtoltage category (DC / AC) <sup>2)</sup> |  |              | 2 / 3   |  |              |              |
| Night time consumption                       |  |              | < 1 W   |  |              |              |
| Inverter design                              |  |              | Transformerless   |  |              |              |
| Cooling                                      |  |              | Regulated air cooling                                       |  |              |              |
| Installation                                 |  |              | Indoor and outdoor installation                             |  |              |              |
| Ambient temperature range                    |  |              | -25 - +60 °C  |  |              |              |
| Permitted humidity                           |  |              | 0 - 100 %   |  |              |              |
| Max. altitude                                |  |              | 2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range) |  |              |              |
| DC connection technology                     | 3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2)</sup>  |              |   | 4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2)</sup> |              |              |
| AC connection technology                     | 5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2)</sup>  |              |   | 5-pole AC screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2)</sup>         |              |              |
| Certificates and compliance with standards   | ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 <sup>1)</sup> , CEI 0-21 <sup>1)</sup> , NRS 097 |              |   |  |              |              |

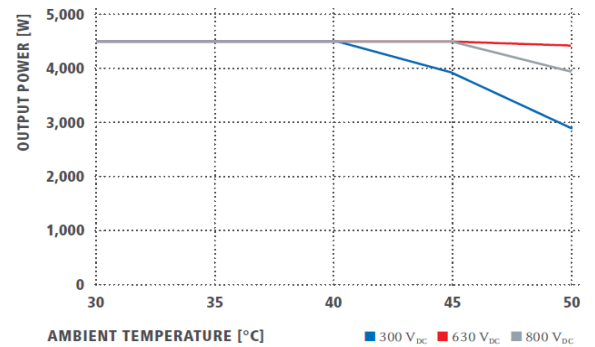
<sup>1)</sup> This applies to Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M and 4.5-3-M. <sup>2)</sup> According to IEC 62109-1.

<sup>3)</sup> 16 mm<sup>2)</sup> without wire end ferrules. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS SYMO 4.5-3-S EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS SYMO 4.5-3-S TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

| EFFICIENCY                | SYMO 3.0-3-S | SYMO 3.7-3-S | SYMO 4.5-3-S | SYMO 3.0-3-M | SYMO 3.7-3-M | SYMO 4.5-3-M |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Max. efficiency           |              |              |              | 98.0 %       |              |              |
| European efficiency (ηEU) | 96.2 %       | 96.7 %       | 97.0 %       | 96.5 %       | 96.9 %       | 97.2 %       |
| MPP adaptation efficiency | > 99.9 %     |              |              |              |              |              |

| PROTECTIVE DEVICES          | SYMO 3.0-3-S                            | SYMO 3.7-3-S | SYMO 4.5-3-S | SYMO 3.0-3-M | SYMO 3.7-3-M | SYMO 4.5-3-M |
|-----------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DC insulation measurement   |   |              |              | Yes          |              |              |
| Overload behaviour          | Operating point shift, power limitation |              |              |              |              |              |
| DC disconnect               |   |              |              | Yes          |              |              |
| Reverse polarity protection |   |              |              | Yes          |              |              |

| INTERFACES                           | SYMO 3.0-3-S  | SYMO 3.7-3-S | SYMO 4.5-3-S | SYMO 3.0-3-M | SYMO 3.7-3-M | SYMO 4.5-3-M |
|--------------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| WLAN / Ethernet LAN                  | Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON) |              |              |              |              |              |
| 6 inputs and 4 digital in/out        | Interface to ripple control receiver                            |              |              |              |              |              |
| USB (A socket) <sup>1)</sup>         | Datalogging, inverter update via USB flash drive                |              |              |              |              |              |
| 2x RS422 (RJ45 socket) <sup>1)</sup> | Fronius Solar Net   |              |              |              |              |              |
| Signalling output <sup>1)</sup>      | Energy management (potential-free relay output)                 |              |              |              |              |              |
| Datalogger and Webserver             | Included  |              |              |              |              |              |
| External input <sup>1)</sup>         | 50-Meter Interface / Input for overvoltage protection           |              |              |              |              |              |
| RS485                                | Modbus RTU SunSpec or meter connection                          |              |              |              |              |              |

<sup>1)</sup> Also available in the light version.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

| INPUT DATA   | SYMO 5.0-3-M            | SYMO 6.0-3-M            | SYMO 7.0-3-M            | SYMO 8.2-3-M            |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Number MPP trackers  | 2                       |                         |                         |                         |
| Max. input current (I <sub>dc max 1</sub> / I <sub>dc max 2</sub> )    | 16.0 A / 16.0 A         |                         |                         |                         |
| Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> /MPP <sub>2</sub> ) | 24.0 A / 24.0 A         |                         |                         |                         |
| DC input voltage range (U <sub>dc min</sub> - U <sub>dc max</sub> )    | 150 - 1000 V            |                         |                         |                         |
| Feed-in start voltage (U <sub>dc start</sub> )                         | 200 V                   |                         |                         |                         |
| Usable MPP voltage range   | 150 - 800 V             |                         |                         |                         |
| Number of DC connections   | 2+2                     |                         |                         |                         |
| Max. PV generator output (P <sub>dc max</sub> )                        | 10.0 kW <sub>peak</sub> | 12.0 kW <sub>peak</sub> | 14.0 kW <sub>peak</sub> | 16.4 kW <sub>peak</sub> |

| OUTPUT DATA                              | SYMO 5.0-3-M   | SYMO 6.0-3-M | SYMO 7.0-3-M | SYMO 8.2-3-M |
|--|--|--------------|--------------|--------------|
| AC nominal output (P <sub>ac,r</sub> )   | 5,000 W  | 6,000 W      | 7,000 W      | 8,200 W      |
| Max. output power                        | 5,000 VA   | 6,000 VA     | 7,000 VA     | 8,200 VA     |
| AC output current (I <sub>ac nom</sub> ) | 7.2 A  | 8.7 A        | 10.1 A       | 11.8 A       |
| Grid connection (voltage range)          | 3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %) |              |              |              |
| Frequency (Frequency range)              | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)                                 |              |              |              |
| Total harmonic distortion                | < 3 %  |              |              |              |
| Power factor (cos φ <sub>ac,r</sub> )    | 0.85 - 1 ind. / cap.                                       |              |              |              |

| GENERAL DATA                                 | SYMO 5.0-3-M   | SYMO 6.0-3-M | SYMO 7.0-3-M | SYMO 8.2-3-M |
|--|--|--------------|--------------|--------------|
| Dimensions (height x width x depth)          | 645 x 431 x 204 mm   |              |              |              |
| Weight                                       | 19.9 kg  |              |              | 21.9 kg      |
| Degree of protection                         | IP 65  |              |              |              |
| Protection class                             | 1  |              |              |              |
| Overvoltage category (DC / AC) <sup>1)</sup> | 2 / 3  |              |              |              |
| Night time consumption                       | < 1 W  |              |              |              |
| Inverter design                              | Transformerless  |              |              |              |
| Cooling                                      | Regulated air cooling  |              |              |              |
| Installation                                 | Indoor and outdoor installation  |              |              |              |
| Ambient temperature range                    | -25 - +60 °C   |              |              |              |
| Permitted humidity                           | 0 - 100 %  |              |              |              |
| Max. altitude                                | 2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)  |              |              |              |
| DC connection technology                     | 4x DC+ and 4x DC- Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup>  |              |              |              |
| AC connection technology                     | 5-pole AC Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup>  |              |              |              |
| Certificates and compliance with standards   | ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, S1 4777, CEI 0-21, NRS 097 |              |              |              |

/ Perfect Charging / Perfect Welding / Solar Energy



**LEARN MORE WITH  
OUR HOW-TO VIDEOS**

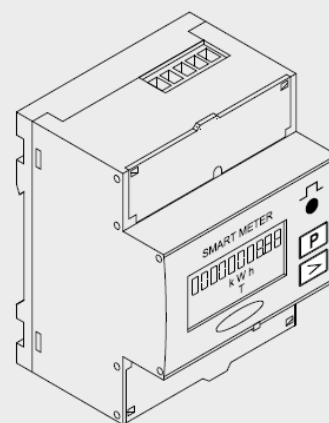
[www.youtube.com/FroniusSolar](http://www.youtube.com/FroniusSolar)

## Fronius Smart Meter 63A-3

EN

Operating Instructions

System monitoring



42,0426,0293,EN 002-28032018



# Technical data

## Technical data

**Modbus transmission speed:** 9600 baud

**Parity bit:** None

**Software version:** Datamanager 3.7.2 / Energypackage 1.3.3

| Input  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Nominal voltage (4-conductor)                          | 400 V                            |
| Nominal voltage (3-conductor)                          | 230 V and 400 V                  |
| Operating range  | ±15%                             |
| Power consumption in the voltage path (max. voltage)   | 2.2 VA (1.5 W) three-phase       |
| Nominal frequency                                      | 50 - 60 Hz                       |
| Tolerance  | 49 to 61 Hz                      |
| Nominal current, I <sub>b</sub>                        | 10 A                             |
| Maximum current, I <sub>max</sub>                      | 63 A                             |
| Starting current                                       | 40 mA                            |
| Short-time overload (EN/IEC 62053-21, EN/IEC 62053-23) | 20 I <sub>max</sub> / 0.5 s      |
| Self-consumption - current path (max. current)         | 1.5 W for phase                  |
| Power factor   | Active cosφ 0.5 ind to 0.8 cap,  |
| Operating range (EN/IEC 62053-21, EN/IEC 62053-23)     | Reactive senφ 0.5 ind to 0.5 cap |
| Current distortion factor                              | In acc. with EN 50470            |

| Output  |  |
|---|--|
| <b>Energy pulse</b>                             |  |
| Optical relay with NO contact SPST-NO, floating |  |
| Contact load                                    | 27 V DC/AC - 50 mA   |
| <b>Assignable energy</b>                        | Active or reactive energy  |
| <b>Pulse value</b> (programmable)               | 1 imp/Wh - 10 Wh - 100 Wh - 1 kWh - 10 kWh or 1 imp/varh - 10 varh - 100 varh - 1 kvarh - 10 kvarh |
| <b>Pulse duration</b> (programmable)            | 50 - 100 - 150 - 200 - 300 - 400 - 500 ms  |
| <b>RS485 communication</b>                      |  |
| Electrically isolated from measuring input      |  |
| Standard  | RS485 - 3 conductors   |
| Transmission                                    | Serial, asynchronous   |
| Protocol  | Compatible with Modbus RTU   |
| <b>Addresses</b>                                | 1 to 255   |
| Number of bits                                  | 8  |
| Stop bit  | 1  |
| <b>Parity bit</b>                               | None - odd - even  |
| <b>Baud rate</b>                                | 4800 - 9600 - 19200 bit/s  |
| Response time                                   | ≤ 200 ms   |

| <b>Insulation (EN/IEC 62052-11, 62053-21)</b> |                     |
|---|---------------------|
| Installation category                         | III                 |
| Pollution level                               | 2                   |
| Insulation voltage                            | 300 V phase-neutral |

| <b>Electromagnetic compatibility</b> |  |
|--------------------------------------|--|
| Emission test                        | In acc. with EN/IEC 62052-11, EN 50470 |
| Immunity test                        | In acc. with EN/IEC 62052-11, EN 50470 |

| <b>Operating conditions</b>                                      |             |
|--|-------------|
| Reference temperature  | 23°C (±2°C) |
| Operating range  | -25 to 55°C |
| Temperature limit for storage and transport                      | -40 to 70°C |
| Tropical model   |             |
| Max. power loss (for thermal dimensioning of the switch cabinet) | ≤ 6 W       |
| Mechanical environment   | M1          |
| Electromechanical environment                                    | E2          |

| <b>Housing</b>                    |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Housing                           | 4 modules according to DIN 43880   |
| Sealable front and terminal cover |                                    |
| Connection                        | Screw connection                   |
| Mounting                          | Can be snapped onto 35 mm DIN rail |
| Housing material                  | Polycarbonate, self-extinguishing  |
| Degree of protection (EN 60529)   | IP51 front, IP20 connections       |
| Weight                            | 260 grams                          |

| <b>Screw terminals</b> |  |
|------------------------|--|
| <b>Measuring input</b> |  |
| Wire (rigid)           | Min. 1 mm <sup>2</sup> / max. 16 mm <sup>2</sup>     |
| Wire (flexible)        | Min. 1 mm <sup>2</sup> / max. 10 mm <sup>2</sup>     |
| Recommended torque     | 1.2 Nm / max. 1.4 Nm                                 |
| <b>Output</b>          |  |
| Wire (rigid)           | Min. 0.05 mm <sup>2</sup> / max. 4 mm <sup>2</sup>   |
| Wire (flexible)        | Min. 0.05 mm <sup>2</sup> / max. 2.5 mm <sup>2</sup> |
| Recommended torque     | 0.5 Nm / max. 0.8 Nm                                 |

## 5 priedas. Dujų katilo specifikacija

## Duomenys apie prietaisą

| ZSB 22-3 C ...   |                   |                                  |                                  |                                  |
|--|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|  | Vienetai          | Gamtinės dujos                   | Propanas <sup>1)</sup>           | Butanas                          |
| Maks. nominalusis šiluminis galingumas (P <sub>max</sub> ) 40/30 °C              | kW                | 21,8                             | 21,7                             | 21,7                             |
| Maks. nominalusis šiluminis galingumas (P <sub>max</sub> ) 50/30 °C              | kW                | 21,6                             | 21,6                             | 21,6                             |
| Maks. nominalusis šiluminis galingumas (P <sub>max</sub> ) 80/60 °C              | kW                | 20,3                             | 20,3                             | 20,3                             |
| Maks. nominali šildymo šiluminė apkrova (Q <sub>max</sub> )                      | kW                | 20,8                             | 20,8                             | 20,8                             |
| Min. nominalusis šiluminis galingumas (P <sub>max</sub> ) 40/30 °C               | kW                | 8,1                              | 11,6                             | 11,6                             |
| Min. nominalusis šiluminis galingumas (P <sub>max</sub> ) 50/30 °C               | kW                | 8,0                              | 11,5                             | 11,5                             |
| Min. nominalusis šiluminis galingumas (P <sub>max</sub> ) 80/60 °C               | kW                | 7,3                              | 10,5                             | 10,5                             |
| Min. nominali šildymo šiluminė apkrova (Q <sub>max</sub> )                       | kW                | 7,5                              | 10,8                             | 10,8                             |
| Maks. nom. karšto vandens šiluminis galingumas (P <sub>nW</sub> )                | kW                | 20,4                             | 20,4                             | 20,4                             |
| Maks. nom. karšto vandens šiluminė apkrova (P <sub>nW</sub> )                    | kW                | 20,8                             | 20,8                             | 20,8                             |
| <b>Dujų prijungimo vertė</b>   |                   |                                  |                                  |                                  |
| Gamtinės dujos H (H <sub>iS</sub> = 9,5 kWh/m <sup>3</sup> )                     | m <sup>3</sup> /h | 2,1                              | -                                | -                                |
| Suskystintos dujos (H <sub>i</sub> = 12,9 kWh/kg)                                | kg/h              | -                                | 1,5                              | 1,5                              |
| <b>Leistinas dujų prijungimo srauto slėgis</b>                                   |                   |                                  |                                  |                                  |
| Gamtinės dujos ir H  | mbar              | 17 - 25                          | -                                | -                                |
| Suskystintos dujos   | mbar              | -                                | 37                               | 30                               |
| <b>Išsiplėtimo indas</b>   |                   |                                  |                                  |                                  |
| Preliminarus slėgis  | bar               | 0,5                              | 0,5                              | 0,5                              |
| Bendroji talpa   | l                 | 10                               | 10                               | 10                               |
| <b>Skaičiuojamosios reikšmės skerspjūvių apskaičiavimui pagal DIN 4705</b>       |                   |                                  |                                  |                                  |
| Išmetamųjų dujų masės srautas maks./min. vardinės šiluminės galios režime        | g/s               | 9,0/3,5                          | 9,0/4,8                          | 9,6/4,7                          |
| Išmetamųjų dujų temperatūra 80/60 °C maks./min. vardinės šiluminės galios režime | °C                | 81/61                            | 81/61                            | 81/61                            |
| Išmetamųjų dujų temperatūra 40/30 °C maks./min. vardinės šiluminės galios režime | °C                | 60/32                            | 60/32                            | 60/32                            |
| Likutinis pakėlimo aukštis   | Pa                | 80                               | 80                               | 80                               |
| CO <sub>2</sub> , esant maksimaliai vardinei šiluminei galiai                    | %                 | 9,6                              | 10,8                             | 11,5                             |
| CO <sub>2</sub> , esant minimaliai vardinei šiluminei galiai                     | %                 | 8,7                              | 10,5                             | 11,0                             |
| Išmetamųjų dujų verčių grupė pagal G 635/G 636                                   |                   | G <sub>61</sub> /G <sub>62</sub> | G <sub>61</sub> /G <sub>62</sub> | G <sub>61</sub> /G <sub>62</sub> |
| NO <sub>x</sub> -klasė   |                   | 5                                | 5                                | 5                                |
| <b>Kondensatas</b>   |                   |                                  |                                  |                                  |
| Maks. kondensato kiekis (t <sub>R</sub> = 30 °C)                                 | l/val.            | 1,7                              | 1,7                              | 1,7                              |
| Apytikrė pH vertė  |                   | 4,8                              | 4,8                              | 4,8                              |
| <b>Bendrieji nurodymai</b>   |                   |                                  |                                  |                                  |
| Maitinimo įtampa   | AC ... V          | 230                              | 230                              | 230                              |
| Dažnis   | Hz                | 50                               | 50                               | 50                               |
| Maksimalios galios sąnaudos šildymo režime                                       | W                 | 125                              | 125                              | 125                              |
| EMV ribinės vertės klasė   | -                 | B                                | B                                | B                                |
| Triukšmo lygis   | ≤ dB(A)           | 36                               | 36                               | 36                               |
| Saugos klasė   | IP                | X4D                              | X4D                              | X4D                              |
| Maks. ištekancio srauto temperatūra  | °C                | apie 90                          | apie 90                          | apie 90                          |
| Maks. leistinas šildymo darbinis slėgis (P <sub>MS</sub> )                       | bar               | 3                                | 3                                | 3                                |
| Leistina aplinkos temperatūra  | °C                | 0 - 50                           | 0 - 50                           | 0 - 50                           |
| Vardinė talpa (šildymas)   | l                 | 3,0                              | 3,0                              | 3,0                              |
| Svoris (be pakuotės)   | kg                | 41                               | 41                               | 41                               |
| Matmenys: plotis × aukštis × gylis   | mm                | 400 × 850 × 370                  | 400 × 850 × 370                  | 400 × 850 × 370                  |