

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

**Gustavas Meška**

**SAULĖS KOLEKTORIŲ SISTEMOS ŠIAULIŲ MIESTE  
ENERGETINIO EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

**Šiauliai, 2013**

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

**SAULĖS KOLEKTORIŲ SISTEMOS ŠIAULIŲ MIESTE**  
**ENERGETINIO EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

**Autorius - Gustavas Meška (EM-11 gr.)**

**Vadovas – Doc. Dr. G. Valiulis**

**Recenzentas – Doc. Dr. Leonardas Buivis**

**Katedros vedėjas – Doc. Dr. G. Valiulis**

**Šiauliai, 2013**

# TURINYS

TURINYS .....	3
SANTRAUKA .....	5
SUMMARY .....	6
LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....	8
ĮVADAS .....	10
ANALITINĖ DALIS .....	12
1. Saulės energijos ištekliai .....	12
2. Saulės kolektorinių vandens šildymo sistemų taikymas .....	14
3. Saulės kolektorinių vandens šildymo sistemų veikimo principas .....	16
4. Saulės kolektorių tipai .....	17
4.1. Neįstiklinti plokštieji saulės kolektoriai .....	17
4.2. Plokštieji saulės kolektoriai .....	18
4.3 Vakuuminiai „heat-pipe“ (netiesioginio pratekėjimo) tipo saulės kolektoriai .....	19
4.4 Vakuuminiai „u-pipe“ (tiesioginio pratekėjimo) tipo saulės kolektoriai .....	20
4.5. Cilindriniai vakuuminiai saulės kolektoriai .....	22
5. Saulės kolektorių sistemos papildomi komponentai .....	23
6. Saulės kolektorių sistemos projektavimo metodika .....	24
7. Perteklinės energijos panaudojimo būdai .....	24
PRAKTINĖ DALIS .....	26
1. Tiriamos saulės kolektorių sistemos aprašymas .....	26
1.1 WATT CPC 15 vakuuminis u-pipe saulės kolektorius .....	28
1.2 Akumuliacinė talpa HT 500ERR .....	29
1.3 Resol DeltaSol E valdiklis .....	30
1.4 Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklis – saulės kolektorių sistemos monitoringo sistema .....	30
2. Saulės kolektorių sistemos monitoringo kaupiamų duomenų nuskaitymas ir integravimas į programinio paketo MATLAB aplinką .....	33
3. „Euro Gym“ Saulės kolektorių sistemos energetinio efektyvumo tyrimas .....	35
3.1 Situacija Nr. 1 – „apsnigta“ 2012 metų diena .....	37
3.2 Situacija Nr. 2 – karščiausia 2012 metų diena .....	41

3.3 Situacija Nr. 3 – intensyviausia saulės spinduliuotė 2012 metais .....	44
3.4 Situacija Nr. 4 – debesuota 2012 metų diena.....	47
3.5 Situacija Nr. 5 – šalta 2012 metų diena .....	50
3.6 „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos efektyvumas 2012 metais....	55
4 „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos ekonominis atsiperkamumas .....	59
IŠVADOS .....	61
REKOMENDACIJOS .....	62
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	63
PRIEDAI.....	65
Priedas nr. 1. Plakatas aiškinantis tiesioginio pratekėjimo saulės kolektorių veikimo principą....	65
Priedas nr. 2. WATT CPC 15 saulės kolektoriaus sertifikuotas bandymo protokolas.....	66
Priedas nr. 3. WATT CPC 15 techniniai parametrai .....	68
Priedas nr. 4. Įrangos gamintojo prognozuojamas „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos generuojamos energijos kiekis.....	69



**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

Gustavas Meška. SAULĖS KOLEKTORIŲ SISTEMOS ŠIAULIŲ MIESTE ENERGETINIO EFEKTYVUMO TYRIMAS. Magistranto baigiamasis darbas / vadovas doc. dr. G. Valiulis.

**SANTRAUKA**

Energetinis efektyvumas yra svarbus ne tik nacionalinio, bet taip pat ir tarptautinio konkurencingumo veiksnys. Tinkamas atsinaujinančių išteklių energijos sistemos valdymas yra vienas iš svarbiausių Lietuvos Nacionalinės energetikos strategijos ir Nacionalinės energijos vartojimo efektyvumo didinimo programos uždavinių, nes energija yra svarbus Lietuvos socialinio bei ekonominio vystymosi elementas. Pažymėtina, kad stipri atsinaujinančių išteklių energetinė politika užtikrina energetinių poreikių patenkinimą, ekonominį konkurencingumą bei prisideda prie aplinkosaugos gerovės.

Pastebima, kad energetinis efektyvumas didėja, ko pasekoja kartu auga ir energijos konversijos technologijos bei yra automatizuojamos sistemos, kas ilgainiui plečia saulės kolektorių sistemų panaudojimo galimybes bei alternatyvas karšto vandens ruošimui. Darbo tikslas yra remiantis saulės energetikos pagrindu išskiriant vandens šildymo sistemą atskleisti vakuuminių saulės kolektorių sistemos Šiaulių mieste energetinio efektyvumo rodiklius. Darbo tyrimo objektu parinkta vakuuminių saulės kolektorių sistema ir jos charakteristikos.

Magistro darbe analizuotos vakuuminių saulės kolektorių, skirtų vandeniui šildyti sistemos energetiniai parametrai, rodikliai ir konstrukcijos. Taip pat šiame darbe nagrinėjama vakuuminio saulės kolektoriaus energetinės charakteristikos. Darbą sudaro dvi dedamosios dalys: analitinė ir praktinė darbo dalys.

Analitinėje dalyje apžvelgtos skirtingų tipų saulės kolektorių charakteristikos, saulės kolektorinių vandens šildymo sistemų veikimo principas ir panaudojimo galimybės. Trumpai apžvelgta perteklinės energijos panaudojimo galimybės ir saulės kolektorių sistemos projektavimo principas. Praktinėje darbo dalyje tirta saulės kolektorinė vandens šildymo sistema gamybinėmis sąlygomis. Atskleistas sistemos veikimo mechanizmas, ištirtas kolektorių našumas skirtingomis darbinėmis sąlygomis.

Darbo pabaigoje suformuluotos atlikto tyrimo išvados. Pateiktos rekomendacijos tirtos saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos administraciniam personalui.

**Reikšminiai žodžiai:** saulės kolektorius, vakuuminis saulės kolektorius, saulės spinduliuotė, akumuliacinė talpa, šilumnešis, generavimas, absorberis, vandens ruošimas, šiluminė energija, šiluminiai nuostoliai.

**ŠIAULIAI UNIVERSITY**  
**FACULTY OF TECHNOLOGY**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING**

Gustavas Meška. INVESTIGATION OF SOLAR COLLECTOR SYSTEM'S EFFICIENCY IN ŠIAULIAI CITY. Master final work / research advisor PhD G. Valiulis.

**SUMMARY**

Energy efficiency is important not only national, but also international factor for competitiveness. Proper usage of renewable energy systems management is one of the most important Lithuanian National Energy strategy and the National Energy Efficiency Programme targets, as energy is an important Lithuanian social and economic development element. It is noteworthy, that strong renewable energy policy ensures that energy needs are met, economic competitiveness, and contributes to environmental well-being.

It is noted, that energy efficiency is increasing, which results growing energy conversion technologies and the automation of the systems, eventually expanding the solar system possibilities and alternatives to heat water. The target of this research thesis is based on solar energy-based water heating system for revealing vacuum solar collector system in Siauliai energy efficiency indicators. Subject of research are vacuum solar collector system and its characteristics.

Master's thesis analyses vacuum solar collectors for water heating system energy parameters, indicators and construction. Also vacuum solar collector system energy characteristics. The work consists of two component parts: the analytical and practical parts of the research.

In the analytical part is an overview of the different types of solar collector performance, solar water heating systems operation and utilization. Short overview of surplus energy utilization possibilities and solar system design principle. In the practical part of the thesis is investigated solar collector water heating system under production conditions. Revealed mechanism of the system, investigated thermal performance under different operating conditions.

In the end of research thesis conclusions are formulated. Recommendations were given for tested solar collector water heating system administrative personnel.

**Key words:** *solar collector, vacuum solar collector, solar radiation, storage tank, coolant, generation, absorber, water heating, thermal energy, thermal losses.*

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

Lentelė nr. 1.1. Dažniausi saulės kolektorių ir akumuliacinių talpų deriniai

Lentelė nr. 2.1. WATT CPC 15 vakuuminio u-pipe saulės kolektoriaus parametrai

Lentelė nr. 2.2. Akumuliacinės talpos HT 500ERR parametrai

Lentelė nr. 2.3. Tipiniai saulės kolektorių parametrai

Lentelė nr. 2.4. „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos stebėtų situacijų tyrimo suvestinė

Lentelė nr. 2.5. „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos efektyvumo tyrimo eigoje analizuotų 2012 metų duomenų suvestinė

Lentelė nr. 2.6. „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos faktinis sugeneruotos energijos kiekis 2012 metų sezonais

Lentelė nr. 2.7. „Euro Gym“ sporto klubo šiluminės energijos poreikio karštam vandeniui ruošti tenkinimas saulės kolektorių generuojama energija

Lentelė nr. 2.8. Įrangos gamintojo prognozuojamas saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos generuojamas energijos kiekis ir faktinis sugeneruotas energijos kiekis 2012 metais.

Lentelė nr. 2.9. Saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos ekonominis atsiperkamumas

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav. Metinė saulės spinduliuotė Lietuvoje
- 1.2 pav. Beslėgis saulės energiją naudojantis vandens šildytuvas
- 1.3 pav. Saulės kolektorinė baseino šildymo sistema
- 1.4 pav. Vakuuminių saulės kolektorių sistemos principinė veikimo schema
- 1.5 pav. Neįstiklintas plokščiasis saulės kolektorius
- 1.6 pav. Plokščiasis saulės kolektorius
- 1.7 pav. Vakuuminis heat-pipe tipo saulės kolektorius
- 1.8 pav. Vakuuminis u-pipe tipo saulės kolektorius
- 1.9 pav. Cilindrinis vakuuminis saulės kolektorius
- 1.10 pav. Saulės kolektorių tvirtinimo konstrukcija
- 1.11 pav. Eksperimentinės saulės kolektorių sistemos perteklinės energijos panaudojimo pavyzdys
- 2.1 pav. Saulės kolektorių vandens šildymo sistema „Euro Gym saulės kolektorius“
- 2.2 pav. WATT CPC 15 vakuuminis saulės kolektorius
- 2.3 pav. HT 500ERR boileris
- 2.4 pav. Resol DeltaSol E valdiklis
- 2.5 pav. Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklis
- 2.6 pav. Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklio jungimo principinė schema
- 2.7 pav. Realus laiko sistemos darbo duomenys atvaizduoti principinėje sistemos schemoje
- 2.8 pav. Duomenų žymėjimų reikšmės
- 2.9 pav. Saulės kolektorių sistemos parametrai (kintamieji.xls)
- 2.10 pav. Glikolio esančio saulės kolektoriuose (mėlyna), įeinančio į sistemą (violetinė) ir išeinančio iš kolektoriaus (žalia) glikolio temperatūros laiko intervale 2012.05.19 - 2012.05.20
- 2.11 pav. „Euro Gym“ Saulės kolektorių sistemos principinė jungimo schema.
- 2.12 pav. 2012.02.01 dienos aplinkos temperatūra laiko intervale 8:00–18:00
- 2.13 pav. 2012.02.01 saulės spindulinė energija laiko intervale 8:00–18:00
- 2.14 pav. 2012.02.01 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 12:35–14:35
- 2.15 pav. 2012.07.27 aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00
- 2.16 pav. 2012.07.27 saulės spindulinė energija laiko intervale 5:00–23:00
- 2.17 pav. 2012.07.27 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 13:05–15:05
- 2.18 pav. 2012.04.09 aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00

- 2.19 pav. 2012.04.09 saulės spindulinė energija laiko intervale 6:15–20:30
- 2.20 pav. 2012.04.09 saulės spindulinė energija laiko intervale 12:55–13:55
- 2.21 pav. 2012.04.09 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 12:55–13:55
- 2.22 pav. 2012.04.07 aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00
- 2.23 pav. 2012.04.07 saulės spindulinė energija laiko intervale 12:55–13:55
- 2.24 pav. 2012.04.07 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 12:55–13:55
- 2.25 pav. 2012.02.05 paros aplinkos temperatūra
- 2.26 pav. 2012.02.05 aplinkos temperatūra laiko intervale 10:00–17.00
- 2.27 pav. 2012.02.05 saulės spindulinė energija laiko intervale 11:10–16:10
- 2.28 pav. 2012.02.05 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 11:10–16:10
- 2.29 pav. „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos faktinis sugeneruotos energijos kiekis 2012 metų mėnesiais

## IVADAS

Daugiau nei prieš šimtą metų daugelyje šalių juodai dažyti vandens rezervuarai buvo naudojami kaip paprasti saulės energijos vandens šildytuvai. Saulės energiją naudojančio vandens šildytuvo technologija žymiai patobulėjo per pastarąjį šimtmetį. Šiandienai yra įdiegta daugiau nei 30 mln. kv. m saulės kolektorių visame pasaulyje. Šimtai tūkstančių šiuolaikinių saulės energiją naudojančių vandens šildytuvų yra naudojami tokiose šalyse kaip Kinija, Indija, Vokietija, Japonija, Australija, Graikija ir kt. Kai kuriose šalyse yra įstatymiškai reglamentuojama ir reikalaujama statant naujus namus įrengti saulės energiją naudojančius vandens šildytuvus, bei integruotas saulės elektrines (pvz. Izraelis, Australija)

**Temos naujumas ir aktualumas.** Saulės spinduliuotės energija yra galingiausias atsinaujinančios energijos šaltinis žemėje. Brangstant iškastiniam kurui, senkant jo ištekliams ir didėjant aplinkos taršai yra sparčiai plėtojama saulės energetika. Šiandien Lietuvai atsinaujinantys energijos ištekliai yra ne tik būtinybė, bet ir svarbus, tuo pačiu ir perspektyvus konkurencingumo įrankis, kadangi šalis didžiąją energijos išteklių dalį importuoja iš kitų valstybių. Pažymėtina, kad Lietuvos Nacionalinėje energetikos strategijoje [5] ir Nacionalinėje energijos vartojimo efektyvumo didinimo programoje [11] didelis dėmesys yra skiriamas atsinaujinančių energijos išteklių gavimui bei panaudojimui.

Konstatuojama, kad saulės energijos ištekliai (saulės energijos elektrinės ir vandens šildymo sistemos) šiandien yra populiariausi energijos išgavimo metodai Lietuvoje. Kadangi Lietuvoje metinis saulės energijos kiekis yra apie 1,5 karto mažesnis negu Pietų Europoje, todėl yra būtina kruopščiai parinkti karšto vandens ruošimo saulės kolektoriais sistemos parametrus, užtikrinančius efektyvų sistemos funkcionavimą.

**Tyrimo problema.** Be vandens šildymo energijos sąnaudų taupymo, yra ir kitos naudos, gaunamos naudojant saulės energiją vandens šildymui. Dauguma saulės energiją naudojančių vandens šildymo sistemų turi papildomą vandens rezervuarą, kuris papildo įprastinį karšto vandens rezervuarą. Vartotojai gauna naudos iš didesnių karšto vandens talpų, nes sumažina tikimybę likti be karšto vandens. Kai kurie saulės energiją naudojančios vandens šildytuvai veikimui nereikalauja elektros energijos. Dėl šių sistemų, karšto vandens tiekimas yra saugus nuo energijos pertrūkių, kol yra pakankamai saulės šviesos sistemai veikti. Tačiau mokslinėje literatūroje pasigendama gilesnių analizių, apie saulės energiją naudojančių vandens šildymo sistemų naudingumą gamybinėmis sąlygomis.

**Baigiamojo darbo tikslas.** Atlikti saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos energetinio efektyvumo Šiaulių mieste tyrimą.

**Baigiamojo darbo objektas.** „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos energetinio efektyvumo Šiaulių mieste tyrimas.

**Baigiamojo darbo uždaviniai:**

1. Atlikti saulės kolektorių teorinę analizę.
2. Aprašyti saulės kolektorių sistemos projektavimo metodiką ir panaudojimo galimybes
3. Išanalizuoti saulės kolektorių sistemos energetinį efektyvumą Šiaulių mieste.
4. Įvertinti suprojektuotą saulės kolektorių sistemą ekonominiu požiūriu.
5. Pateikti išvadas ir rekomendacijas.

Praktinis magistro baigiamojo darbo reikšmingumas siejamas su vakuuminių saulės kolektorių sistemų panaudojimu, siekiant maksimizuoti gaunamą atsinaujinančių išteklių naudą vandens pašildymui. Darbo rezultatai leis įvertinti šių kolektorių efektyvumą 2012 metų laikotarpiu ir identifikuoti galimas jo tobulinimo, panaudojimo perspektyvas ne tik darbovietėje, bet taip pat bendram Lietuvos namų ūkiui ar tiesiog individualiems asmenims.

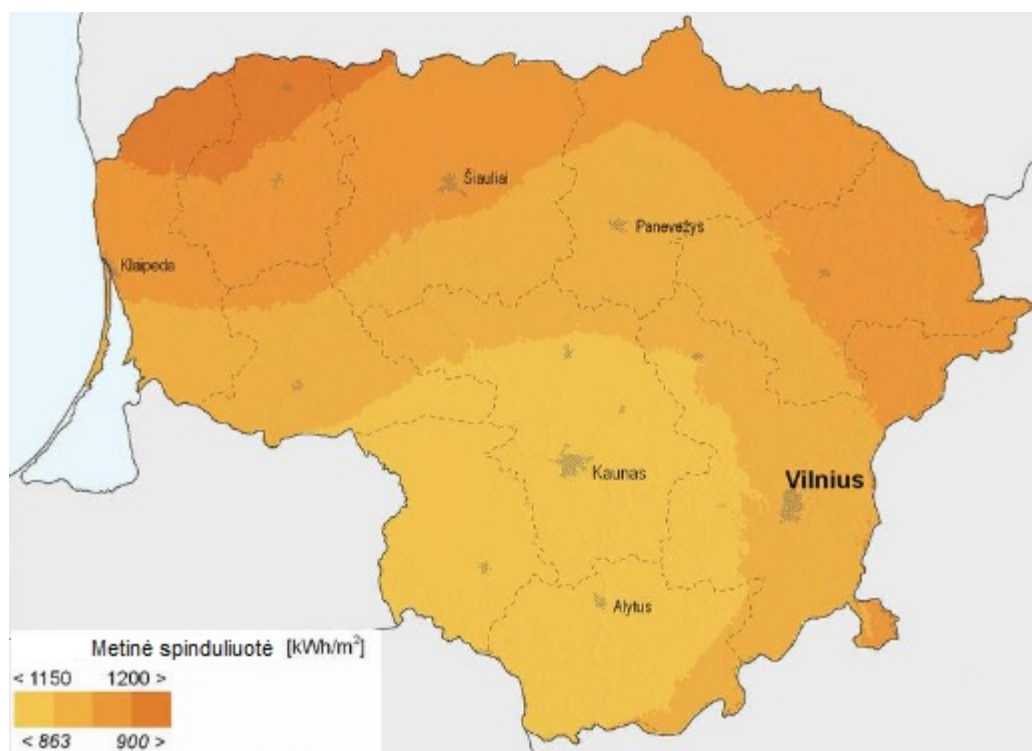
# ANALITINĖ DALIS

## 1. Saulės energijos ištekliai

Saulės energiją naudojančios vandens šildymo sistemos pritaikymas gali būti klasifikuojamas remiantis galutinio panaudojimo taikymo technologija. Dažniausiai saulės energiją naudojančios vandens šildytuvai yra pritaikomi karšto vandens tiekimui, patalpų ir baseinų šildymui.

Šiandien praktinis saulės spindulinės energijos panaudojimas pritaikant konvertuojančias technologijas yra šiluminės energijos sistemos [9] bei elektros energijos gamyba [24, 12]. Taip pat pastebima, kad skirtingų dydžių saulės kolektorių sistemos naudojamos pastatų šildymo sistemai įrengti [7, 8], bet taip pat ir karšto vandens paruošimui [6, 7]. Pažymėtina, kad šių sistemų praktinis įdiegimas ir panaudojimas generuoja didelius šiluminės energijos kiekius [6, 7, 9].

Didelės saulės kolektorių sistemos montuojamos tankiai gyvenamose teritorijose, kur šilumos vartotojų skaičius yra didelis, o tuo tarpu mažos saulės kolektorių sistemos montuojamos tose vietovėse, kur gyventojų tankis yra mažesnis. 1.1. paveikslas pateikia metinės spinduliuotės kiekius skirtingose Lietuvos regionuose.



1.1 pav. Metinė saulės spinduliuotė Lietuvoje



Pastebima, kad Lietuvoje kartu su mažos saulės kolektorių sistemomis montuojamos ir mažos galios vėjo jėgainės [16, 24, 25]. Tokiu būdu siekiama kiek įmanoma efektyviau panaudoti alternatyvius atsinaujinančius energijos išteklius šiluminės energijos aprūpinimui [14, 16].

Dažniausiai netankiai gyvenamuose rajonuose karšto vandens pašildymui naudojamos mažos saulės kolektorių sistemos [14]. Lietuvoje vidutinė saulės šviesos spinduliuotė siekia 1800 valandų per metus. Mančesteryje, Didžiojoje Britanijoje šis rodiklis siekia 1360 valandų, Vokietijoje apie 1570 valandų, Šveicarijoje ir Ženevoje 1500 valandų, Švedijoje 1470 valandų, Ispanijoje, Graikijoje ir Portugalijoje nuo 2500 iki 3000 valandų. Tuo tarpu vidutinis energijos potencialas siekia 1000 kWh/m<sup>2</sup> [18]. Panašūs saulės energijos rodikliai vyrauja Danijoje, Vokietijoje. Šiose valstybėse tankiai naudojamos mažos saulės kolektorių sistemos vandens pašildymui. Vidutiniškai nuo 15% iki 50% metinės šilumos energijos sąnaudų, skirtų karšto vandens pašildymui, padengia įrengtos saulės kolektorių sistemos [21]. Taip pat, svarbu paminėti tai, kad Lietuvos plotas yra 65 tūkst. km<sup>2</sup>, vadinasi Lietuvai tenkantis saulės energijos kiekis per metus siekia 65 mln. GWh energijos. Šis rodiklis yra apie 600 kartų didesnis už energetinius Lietuvos poreikius.

Siekiant didesnio saulės energijos panaudojimo efektyvumo šaltuoju metų laikotarpiu dauguma šalių renkasi vakuuminius saulės kolektorius ir jų sistemas. Šių saulės kolektorių išskirtinė savybė yra ta, kad vamzdelis(-iai), kuriame(-iuose) vyksta cirkuliacija ir šilumos perdavimas, yra patalpintas vakuume, kuris sąlygoja efektyvesnius sistemos rodiklius dėl minimalaus energijos nuostolio perduodamo į aplinką. Svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad vakuuminių saulės kolektorių sistemai yra reikalinga didesnė priežiūra ir kontrolė nei plokščiųjų saulės kolektorių sistemai.

## 2. Saulės kolektorių vandens šildymo sistemų taikymas

Yra nemažai karšto vandens ruošimo sistemų. Dažniausiai pasitaikančios buitinio karšto vandens ruošimo sistemos, paprastai parduodamos standartiniais komplektais kaip pavaizduota 1.2 paveiksle.



**1.2 pav.** *Beslėgis saulės energiją naudojantis vandens šildytuvas*

Kiti dažnai naudojami būdai įtraukia karšto vandens tiekimą komercinių įstaigų vartojimui, įskaitant daugiabučius namus, gyvenamųjų namų rajonus, mokyklas, sveikatos centrus, ligonines, biurų pastatus, restoranus ir viešbučius. Smulkiems prekybos ir pramonės pritaikymams, kaip automobilių plovykloms, skalbykloms ir žuvų ūkiams, tai tik keletas karšto vandens tiekimo pavyzdžių.

Saulės energiją naudojančių vandens šildytuvų sistemos taip pat gali būti naudojamos didelėms pramonės apkrovoms ir energijos tiekimas centralizuotiems šildymo tinklams. Daug didelių sistemų buvo įdiegti Šiaurės Europoje ir kitose vietose.

Vandens temperatūra baseinuose taip pat gali būti reguliuojama naudojant saulės energiją naudojančio vandens šildymo sistemą, prailginant baseinų sezoną ir sutaupyti tradicinėms energijos išlaidoms. Baseinų įranga gali būti įvairaus dydžio - nuo mažų tik vasaros lauko baseinų, pavyzdžiui, kaip pavaizduota 1.3 paveiksle, iki didelių, olimpinio dydžio vidaus baseinų, kurie veikia 12 mėnesių per metus.



**1.3 pav.** *Saulės kolektorinė baseino šildymo sistema*

Pagrindinis šių sistemų principas yra tas pats kaip su saulės energiją naudojančių vandens šildytuvų sistemom, skirtumas, kad pats baseinas veikia kaip šilumos saugykla. Lauko baseinams, tinkamo dydžio saulės energiją naudojantis vandens šildytuvas gali pakeisti įprastinį šildytuvą: baseino vanduo yra tiesiogiai pumpuojamas per saulės kolektorius ir esamas filtravimo sistemas .

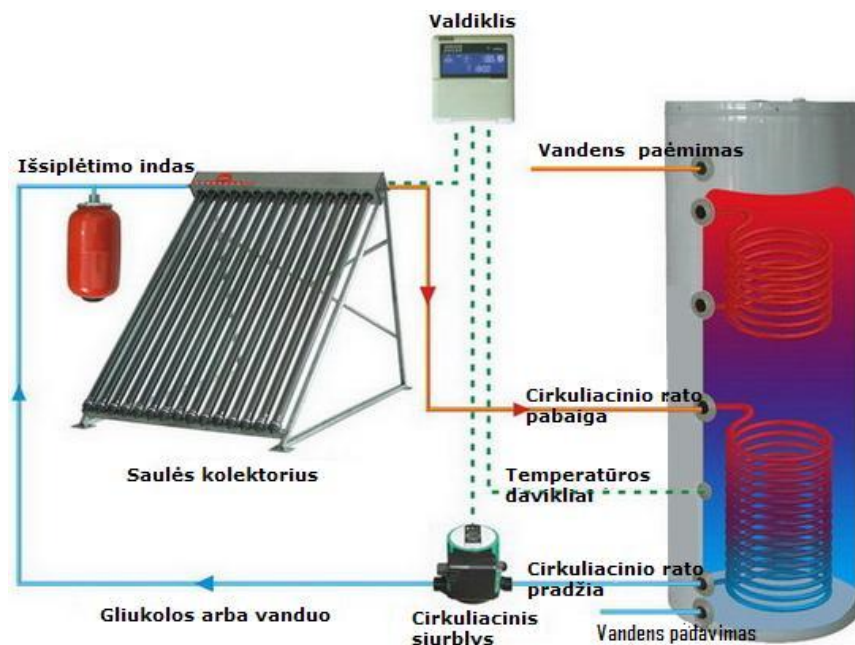
Vertinant Europos šalių energijos vartojimo tendencijas, atskleista, kad apie 40 proc. energijos suvartoja pramoninės, komercinės bei visuomeninės paskirties pastatai (t .y mokyklos, ligoninės, viešbučiai ir kt.). Nemažai suvartojamos energijos kiekio dalis tenka ir gyvenamiesiems namams. Pažymėtina, kad vykstant globalizacijos procesams ir augant ekonomikai, suvartojamos energijos kiekis didėja.

### 3. Saulės kolektoirinių vandens šildymo sistemų veikimo principas

Saulės energija (saulės spinduliai) yra surenkama saulės kolektoriaus absorberio plokštės ir perduodama šilumnešiu kolektoriaus viduje įmontuotais šilumokaičiais (netiesioginio pratekėjimo kolektoriuose). Saulės kolektoirinės vandens pašildymo sistemos naudoja saulės kolektorius ir skystą šilumnešį (dažniausiai propileno-glikolį) perduoti šilumos energiją vandeniui, paprastai per akumuliacinę talpą. Šiluminis skystis absorbuoja surinktą energiją ir perneša ją į akumuliacinę talpą. Šio proceso metu, šilumokaičiuose esantis skystis virsta garais ir kildamas į kolektoriaus viršutinę dalį atvėsta, o po to atvėsęs leidžiasi žemyn vakuume sukurdamas pastovią cirkuliaciją. Kolektorius tuo metu absorbuoja saulės energiją ir perduoda ją šilumnešiu karšto vandens talpai katilinėje. Siekiant efektyvaus absorbavimo proceso, visa cirkuliacija yra reguliuojama sistemos valdiklio ir temperatūros daviklių pagalba, kurie padeda nustatyti temperatūrą, cirkuliacijos cikliškumą, šilumnešio debitą, o kartu ir atlikti būtinus sistemos valdymo, susijusius su akumuliacinėmis talpomis, darbus.

Hidraulinius rinkinius apima siurblys (-iai) (naudojama darbinio skysčio cirkuliavimui iš kolektoirų į akumuliacinę talpą), kontrolės ir saugos įranga. Tinkamai suprojektuoti, saulės energiją naudojantys vandens šildytuvai gali dirbti, kai lauko temperatūra yra žemiau nulio, ir jie taip pat apsaugoti nuo perkaitimo, esant karštom saulėtoms dienoms.

Daugelis saulės kolektoirinių vandens šildymo sistemų, taip pat turi atsarginius šildytuvus kad užtikrinti, visus vartotojo karšto vandens poreikius, net tada kai yra saulės nepakankamumas. Saulės kolektoirinės vandens šildymo sistemos principinė schema pavaizduota 1.4 paveiksle.



1.4 pav. Vakuuminių saulės kolektoirų sistemos principinė veikimo schema

Saulės energiją naudojantys vandens šildytuvai atlieka tris pagrindinius veiksmus:

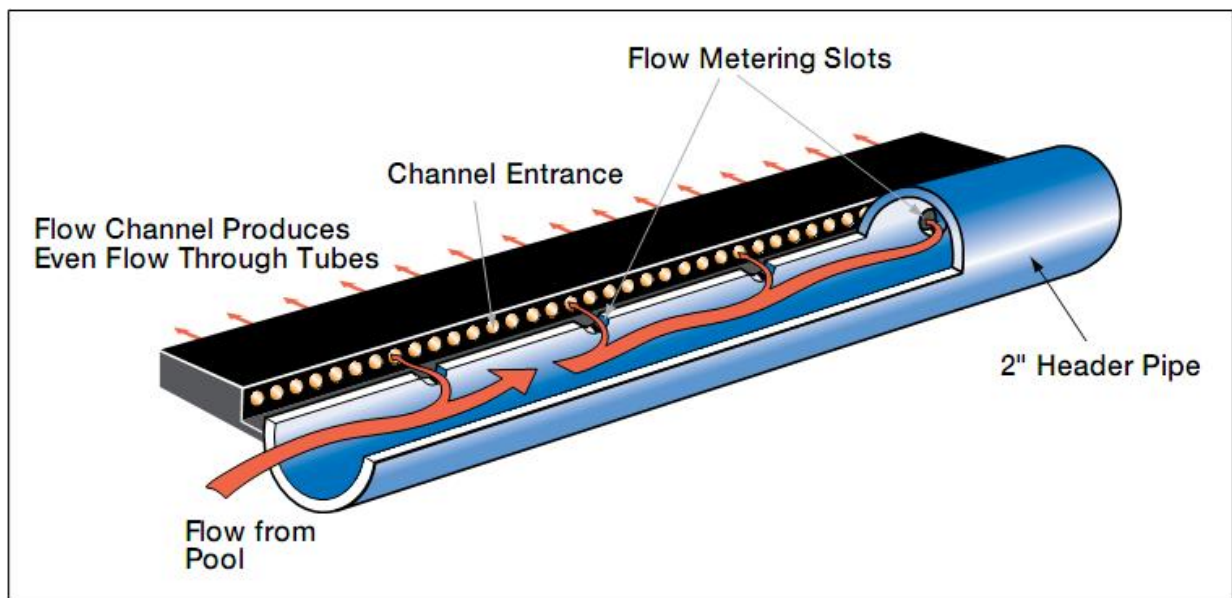
- Surinkimas: Saulės spinduliai „sugaunami“ saulės kolektorių;
- Perdavimas: cirkuliuojantys skysčiai perduoda energiją į laikymo talpą; cirkuliacija gali būti natūrali (termosifono sistemos) arba priversta naudoti cirkuliaciją (mažos galios siurblys);
- Saugojimas (akumuliacija): Karštas vanduo yra talpinamas akumuliacinėje talpoje, arba ant stogo beslėgės sistemos atveju.

#### **4. Saulės kolektorių tipai**

Yra keletas saulės kolektorių tipų. Saulės kolektorių tipo parinkimas priklauso nuo jų naudojimo pobūdžio, objekto techninių galimybių (pastato stogo parametrų ir kt.), naudojimo temperatūros ir sezoniškumo (klimato sąlygų). Dažniausi saulės kolektorių tipai: plokštieji saulės kolektoriai; vakuuminiai (vamzdiniai) heat-pipe (netiesioginio pratekėjimo) tipo saulės kolektoriai ir vakuuminiai (vamzdiniai) u-pipe tipo (tiesioginio pratekėjimo) saulės kolektoriai.

##### **4.1. Neįstiklinti plokštieji saulės kolektoriai**

Neįstiklinti plokštieji saulės energijos kolektoriai kaip pavaizduoti 1.5 paveiksle, dažniausiai gaminami iš juodo polimero. Paprastai jie neturi selektyvios dangos, nei rėmo ir izoliacijos nugaroje; jie paprastai tiesiog klojami ant stogo arba ant medinio pagrindo. Šie pigūs kolektoriai gana gerai absorbuoja (pasisavina) energiją iš saulės, bet šilumos nuostoliai į aplinką ženkliai padidėja, ypač vėjuotose vietovėse. Rezultate, neįstiklinti kolektoriai yra dažnai naudojami įrengimams kuriems reikalingas energijos tiekimas žemomis temperatūromis (baseinų šildymui, paruošiamajam vandeniui žuvų ūkyje. Šaltesniame klimate jie paprastai veikia tik vasaros sezonu dėl per didelių kolektoriaus šilumos nuostolių.



**1.5 pav.** Neįstiklintas plokščiasis saulės kolektorius

Šie saulės kolektoriai dažniausiai yra montuojami šilto klimato sąlygomis, Lietuvoje yra praktiškai nenaudojami.

#### 4.2. Plokštieji saulės kolektoriai

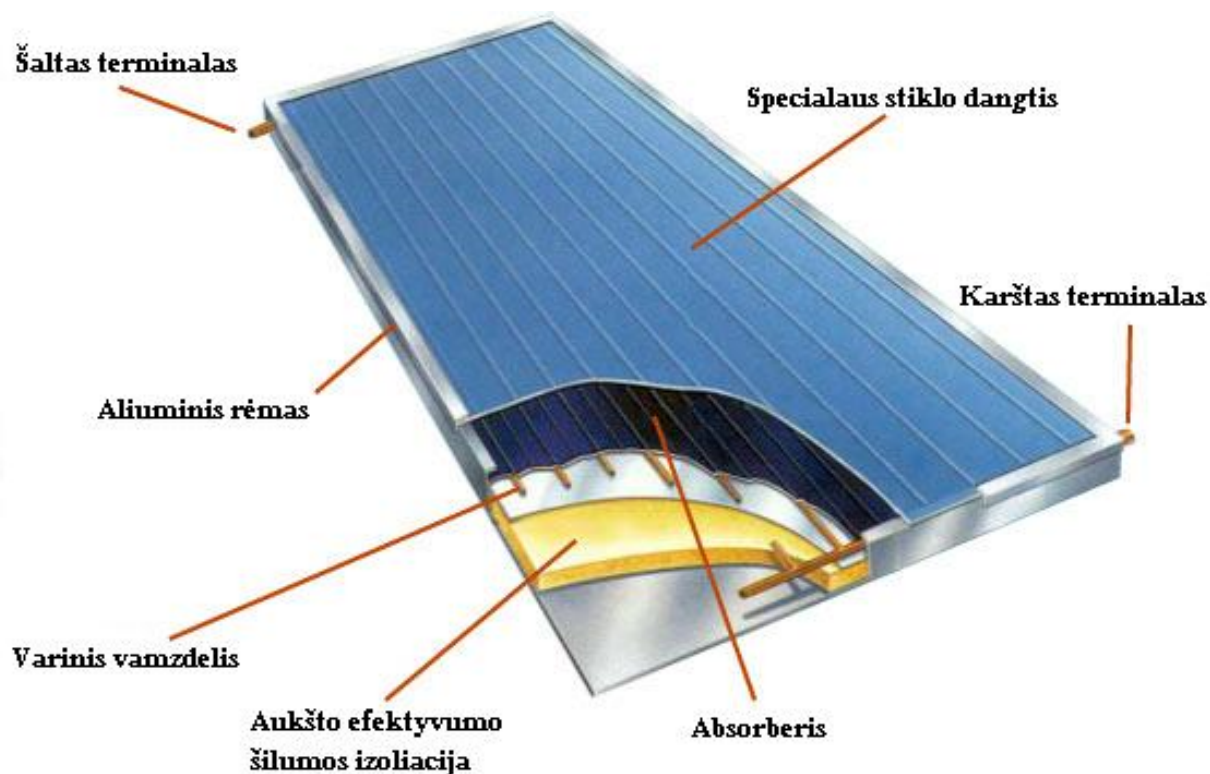
Į (įstiklintą) plokštūjį kolektorių, kaip parodyta 1.6 paveiksle, plokščiasis absorberis (sugėrėjas, kuris dažnai turi selektyvinę dangą) yra įstatytas tarp vieno arba dvigubo sluoksnio stiklo ir izoliacinių plokščių gale (nugaroje). Plokščiojo saulės kolektoriaus konstrukcija nėra sudėtinga. Šie saulės kolektoriai dažniausiai gaminami nuo 0,8 m<sup>2</sup> iki 2,5 m<sup>2</sup> ploto.

Plokštieji saulės kolektoriai dažniausiai naudojami vandens pašildymui. Jie montuojami integruojant statybinėse konstrukcijose arba ant šlaitinių stogų ant horizontalių konstrukcijų, arba ant pakreipimo konstrukcijų ant plokščių stogų [2, 14, 23].

Svarbiausios plokščiojo saulės kolektoriaus išskiriamos charakteristikos yra:

1. Plokščiojo saulės kolektoriaus danga yra skaidri ir pralaidi saulės spinduliuotei;
2. Šie saulės kolektoriai sumažina šiluminius ir konvekcinius patiriamus nuostolius;
3. Absorberio veikimo principas grindžiamas saulės spinduliuojamos energijos sugėrimas ir cirkuliacijos proceso metu yra perduodamas šilumnešiu;
4. Plokščiojo saulės kolektoriaus šiluminė izoliacija mažina patiriamus šiluminius nuostolius;
5. Kolektoriaus korpusas yra pritaikytas jo montavimui bei tvirtinimui ant statybinių konstrukcijų.





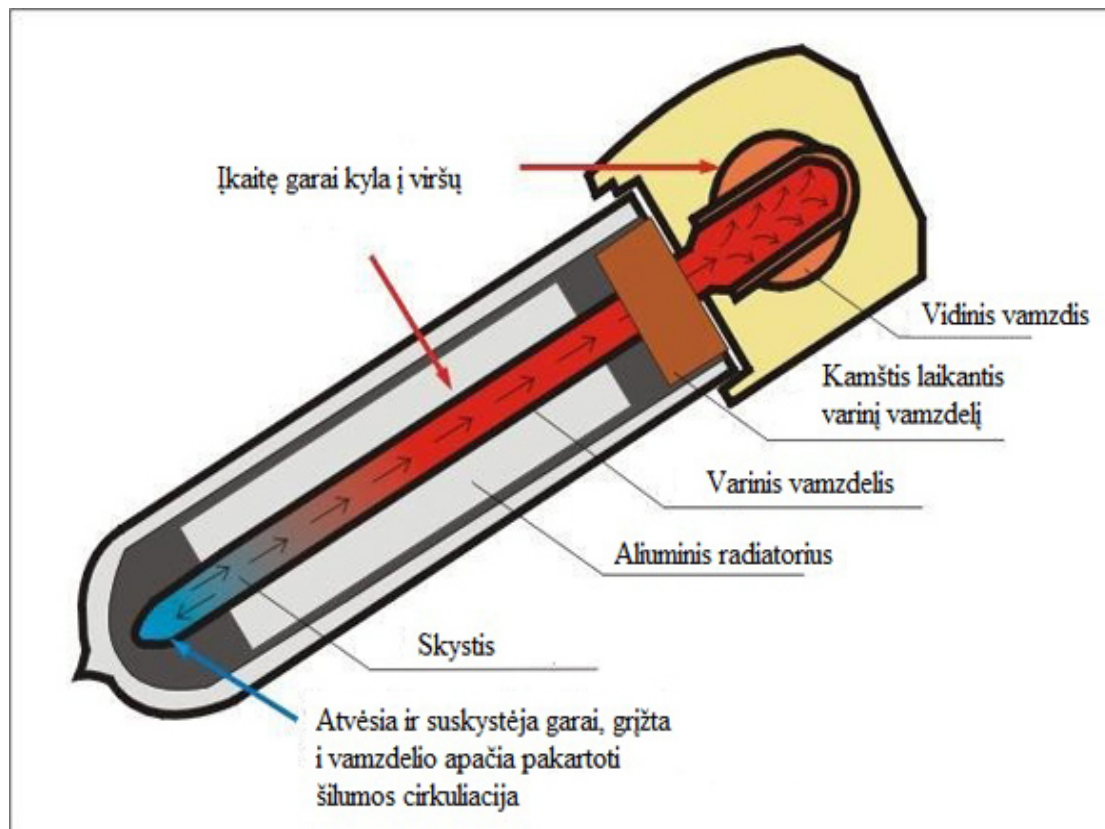
1.6 pav. Plokščiasis saulės kolektorius

Plokštieji saulės kolektoriai montuojami į mažo, vidutinio ar didelio dydžio saulės kolektorių sistemas, kurie yra jungiami su šiluminę energiją akumuliuojančiais skirtingų dydžių rezervuarais, panaudojant priverstinę ir natūralią cirkuliacijos sistemą [19, 2]. Šių saulės kolektorių panaudojimas Lietuvoje, dėl prieinamos kainos ir patenkinamų energetinių rodiklių yra gan plačiai išplitęs.

#### 4.3 Vakuuminiai „heat-pipe“ (netiesioginio pratekėjimo) tipo saulės kolektoriai

Vakuuminiai (vamzdiniai) heat-pipe tipo saulės kolektoriai kaip parodyta 1.7 paveiksle, turi absorberį (sugerėją) su selektyvine danga, įdėtą į sandarų vakuuminį stiklo vamzdelį. Jie puikūs sugaunant energiją iš saulės, jų šilumos skleidimas (nuostolis) į aplinką yra labai mažas. Šiuo metu rinkoje sistemos naudoja sandarius šilumos-vamzdelius kiekviename vakuuminiame vamzdyje, kad išgauti šilumą iš absorberio (skystis garuoja tol kol vyksta sąlytis su pašildytu absorberiu, karštis regeneruojasi vamzdelio viršuje tuo metu, kai garas kondensuojasi, ir kondensatas grįžta gravitacijos dėka į vamzdelio apačią. Vakuuminiai heat-pipe tipo kolektoriai yra tinkami sistemoms kurioms reikalingas energijos generavimas nuo vidutinės iki aukštos

temperatūros, nuo 60° C iki 80° C. Dažniausiai naudojami buitiniam karštam vandeniui ruošti ir patalpų šildymui, ypač efektyvus šaltame klimate.



**1.7 pav.** Vakuuminis heat-pipe tipo saulės kolektorius

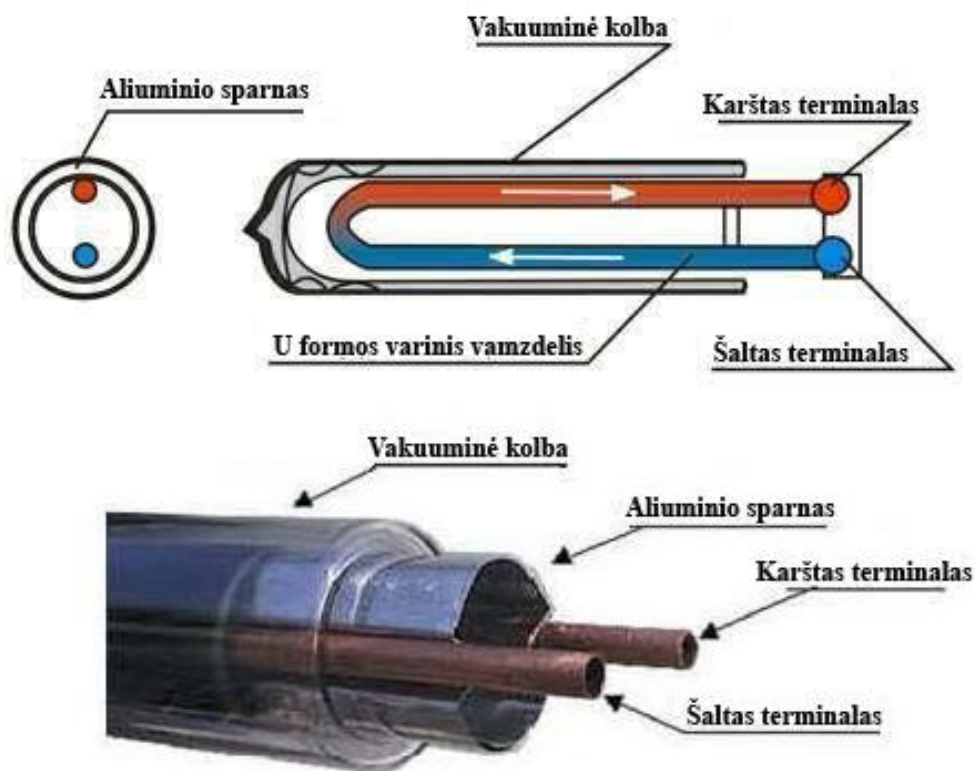
Nustatyta, kad vakuuminių saulės kolektorių absorberyje cirkuliuojančio šilumnešio temperatūra siekia 150 – 200 °C, o kartais ir daugiau. Šie kolektoriai iš atskirų elementų montuojami į vientisą sistemą. Dažnu atveju, montuojami elementai yra parenkami atsižvelgiant į bendrą projektinio saulės kolektoriaus paviršiaus plotą. Būtent vakuuminiuose saulės kolektoriuose nėra įprastinio korpuso kaip, kad jis yra tūriniuose bei plokščiuose saulės kolektoriuose. Pastarieji kolektoriai neturi šiluminės izoliacijos, kuri yra sudaryta vakuumo tarp kolektorių absorberio vamzdelių principu. Ši sistema yra sujungiamą specialiomis jungtimis viršutinėje kolektoriaus, šilumine izoliacija padengtoje dalyje ir yra sujungiamą sistemos vamzdynu. [19, 23, 10, 13, 17].

#### **4.4 Vakuuminiai „u-pipe“ (tiesioginio pratekėjimo) tipo saulės kolektoriai**

Vakuuminiai (vamzdiniai) u-pipe tipo saulės kolektorių konstrukcija labai panaši į anksčiau minėtą vakuuminį heat-pipe tipo saulės kolektorių. Esminis skirtumas jog juo šilumnešis



teka „U“ formos variniu vamzdeliu per visą kolektorių. U-pipe technologija yra efektyvesnė už heat-pipe todėl, kad nebelieka vieno temperatūros perdavimo proceso – iš garų šilumnešiui. Šilumnešis tiesiogiai teka per vakuuminės kolbas (vamzdžius) į akumuliacinėje talpoje esantį šilumokaitį. Vakuuminis u-pipe tipo saulės kolektorius pavaizduotas 1.8 paveiksle. Vakuuminiai u-pipe tipo kolektoriai yra tinkami sistemoms kurioms reikalingas energijos generavimas nuo vidutinės iki aukštos temperatūros, nuo 60° C iki 80° C. Dažniausiai naudojami buitiniam karštam vandeniui ruošti ir patalpų šildymui, ypač efektyvus šaltame klimate. Pastebima, kad vakuuminių saulės kolektorių panaudojimas Lietuvoje didėja. Jie gaminami nuo 0,5 m<sup>2</sup> iki 6 m<sup>2</sup> ploto moduliais, kurie yra jungiami į saulės kolektorių sistemas [23, 10, 17].



**1.8 pav.** Vakuuminis u-pipe tipo saulės kolektorius

Vokietija, Danija ir kitos EU valstybės plačiai naudoja vakuuminius saulės kolektorius. Šiuo atveju Lietuvoje šie kolektoriai yra mažiau paklausūs dėl didesnės kainos nei plokštieji saulės kolektoriai.

Lyginant vakuuminius ir plokščiuosius saulės kolektorius tarpusavyje ir konvencinius bei šilumos laidumo nuostolius pastebima, kad pastarieji yra mažesni vakuuminiuose saulės kolektoriuose, nei plokščiuose, ar tūriniuose. Vakuuminių kolektorių naudingumo koeficientas yra lygus 0,83 – 0,84. Pagrindiniai šių kolektorių elementai yra skaidrus išorinis – 2 cm

skersmens stiklo vamzdelis bei vidinis – 1 cm skersmens stiklo vamzdelis, kuriame teka šilumnešis. Tarpas tarp jų yra vakuumuotas vamzdelių nuo 0,2 iki 1 Pa slėgio. [19, 23, 10, 13, 17].

#### 4.5. Cilindriniai vakuuminiai saulės kolektoriai

Cilindrinuose fokusuojančiuose saulės kolektoriuose yra sumontuoti cilindriniai fokusuojantys reflektoriai. Šie saulės kolektoriai savo parametrais bei konstrukcija mažai skiriasi nuo vakuuminių saulės kolektorių. Cilindrinų fokusuojančių saulės kolektorių reflektoriai fokusuoja saulės energiją ir nukreipdami ją į vakuuminio absorberio apatinę bei šonines dalis šildo absorbuojantį paviršių. Taip pat pažymėtina, kad šiems saulės kolektoriams saulės šviesos kritimo kampo įtaka absorbuojamos energijos kiekio parametrui yra mažesnis [23]. Kadangi cilindrinų fokusuojančių saulės kolektorių absorberis yra apvalus, dėl to saulės spindulių kritimo kampas visuomet yra statmenas, o reflektorius nukreipia saulės spindulius į apatinę bei šonines absorberio dalis. Pažymėtina, kad dėl šių techninių savybių cilindrinų fokusuojančių saulės kolektorių efektyvumas yra didesnis nei plokščiųjų, tūrinių ar vakuuminių. Tačiau cilindrinų saulės kolektorių sistema yra jungiama jungtimis viršutinėje saulės kolektoriaus dalyje, taip kaip „heat-pipe“ netiesioginio pratekėjimo kolektoriuose, kuri ir yra padengta šilumine izoliacija, bei sujungta su sistemos vamzdynu. [19, 3]



1.9 pav. Cilindrinis vakuuminis saulės kolektorius

## 5. Saulės kolektorių sistemos papildomi komponentai

Be saulės kolektorių, kolektorinė vandens šildymo sistema paprastai apima šiuos komponentus:

1. Saulės kolektorių tvirtinimo konstrukcija, pavaizduota paveiksle nr. 1.10.



**1.10 pav.** *Saulės kolektorių tvirtinimo konstrukcija*

2. Karšto vandens saugojimo talpos (nebūtinės baseinų įrengimams, kai kuriems dideliems komercinėms arba pramoniniams įrengimams, kai yra tęstinis karšto vandens srautas);
3. Hidraulinis mazgas – siurblys, naudojamas skysčio pernešimui iš saulės kolektorių į karšto vandens laikymo talpą (išskyrus termosifono sistemas, kur cirkuliacija yra natūrali, ir lauko baseinų įrengimus kur yra naudojami filtravimo sistemos siurbliai); taip pat apima vožtuvus, koštuvus, šilumos plėtimosi talpas.
4. Valdiklis (regulatorius) kuris aktyvuoja siurblių tik tada, kai naudinga nukrauti šilumą iš saulės kolektorių (nėra reikalaujama termosifono sistemoms, arba jei naudojamas fotoelektros varomas cirkuliatorius);
5. Apsauga nuo užšalimo, būtina eksploatuojant šaltame ore, paprastai naudojama saulės kontūre, specialiu antifrizu (glikolis) šiluma perduodamas skysčiui (vandeniui). Saulės kolektorių skystis akumuliacinėje talpykloje yra atskiriamas nuo karšto vandens šilumokaičiu;
6. Papildomi įrenginiai, daugiausia susija su sauga, pavyzdžiui apsauga nuo perkaitimo, sezoninių sistemų apsauga nuo užšalimo, perteklinės energijos nuleidimas.

Paprastai, esamos tradicinės vandens šildymo sistemos yra naudojamos kaip rezervas esamiems saulės energiją naudojantiems vandens šildytuvams.

## 6. Saulės kolektorių sistemos projektavimo metodika

Saulės kolektorių vandens šildymo sistemų projektavimo metodikose nurodoma, kad saulės kolektorius ir akumuliacines talpas jungtų kuo trumpesnis šilumine izoliacija padengtas vamzdynas, o akumuliacinės talpos ir saulės kolektoriai būtų kuo arčiau vienas šalia kito. [21, 10, 13, 4, 8].

Pagrindinis kriterijus projektuojant saulės kolektorinę vandens šildymo sistemą yra suvartojamo karšto vandens kiekis ir jo panaudojimo rūšis:

- buitinio karšto vandens ruošimas;
- patalpų šildymas, grindinis arba radiatorinis;
- baseino šildymas;

Pagal suvartojamą vandens kiekį ir jo panaudojimą parenkama saulės kolektorių sistemos galia. Dažnai tai įgyvendinama vadovaujantis įvairiais kompiuterinių programų paketais skirtais kolektorių vandens šildymo sistemų projektavimui. Būtina atsižvelgti į kolektorių, akumuliacinių talpų ir vamzdynų montavimo technines galimybes (priklausomai nuo objekto, pvz. šlaitinis ar plokščias stogas) ir pasirinkti optimaliausią variantą.

Lentelėje nr. 1.1. pateikti dažniausi saulės kolektorių ir akumuliacinių talpų deriniai [27]:

**1.1 lentelė.** Dažniausi saulės kolektorių ir akumuliacinių talpų deriniai

Saulės kolektorių absorberio plotas, m <sup>2</sup>	3,7 – 4,4	4,4 – 5,6	5,6 – 7,5	7,5 – 9,4
Akumuliacinė talpa, l	200 – 250	300	400	500

Svarbu paminėti, šie deriniai turėtų būti taikomi situacijose, kai saulės kolektoriai montuojami orientuojant absorbuojančią dangą pietų kryptimi, 45° posvyrio kampą į horizontą. Jei toks montavimas yra neįmanomas, tada reikia didinti saulės kolektorių absorbuojamą paviršiaus plotą koeficientu atitinkančiu nuostoliams dėl netikslios orientacijos ar (ir) posvyrio kampo. [27]

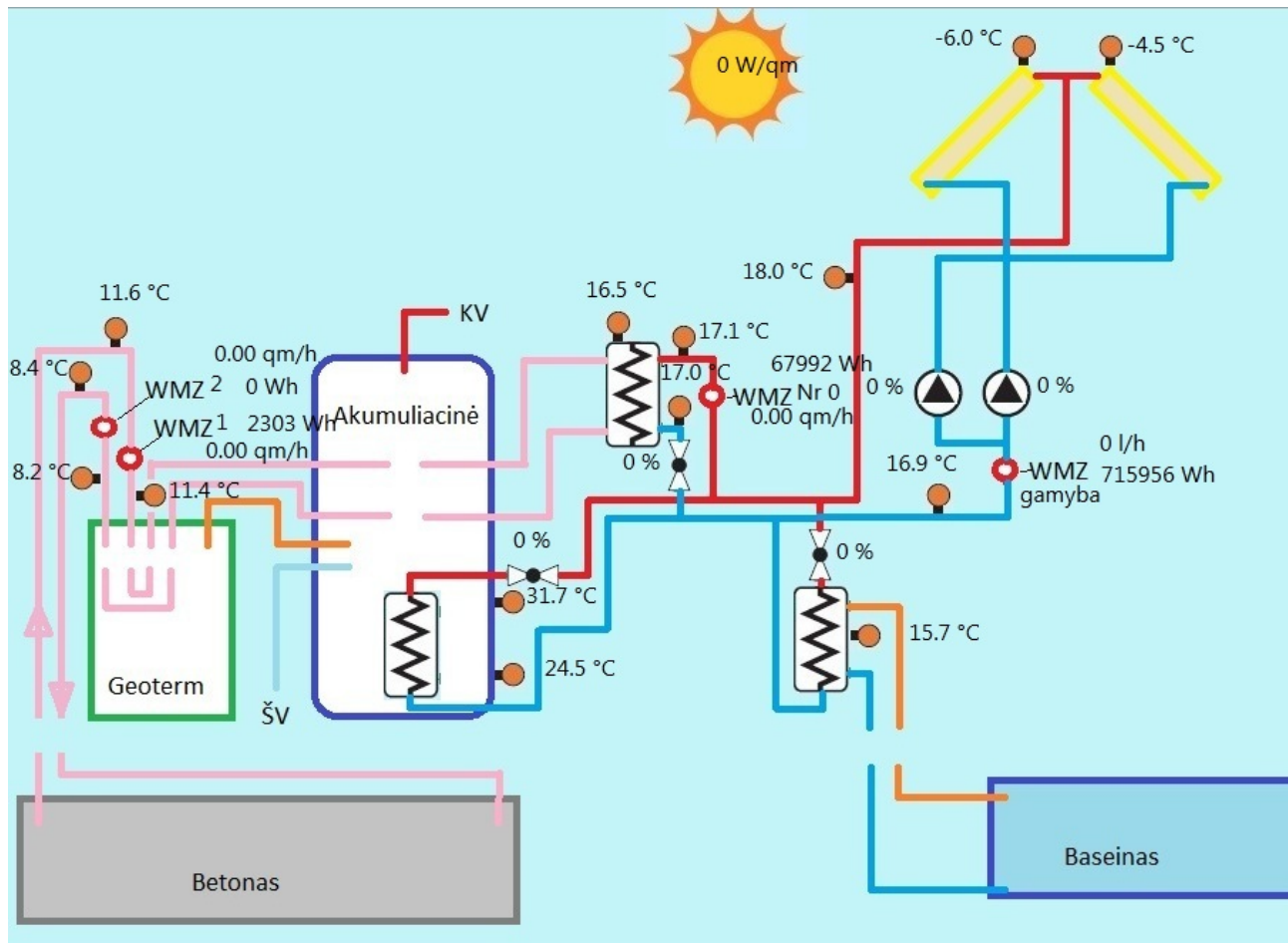
## 7. Perteklinės energijos panaudojimo būdai

Didžiausia problema projektuojant saulės kolektorines vandens šildymo sistemas yra problema dėl perteklinės energijos. Kadangi norisi kuo efektyviau išnaudoti saulės energijos potencialą šaltu metų laiku, todėl yra didinama sistemos galia. Tačiau vasarą, kai saulė būna metinio ciklo maksimume ir spinduliuoja didelius kiekius saulės šviesos energijos,

nesunaudojamas karštas vanduo turi būti išleidžiamas. Apžvelgsime populiariausius perteklinės energijos panaudojimo būdus:

- Karšto vandens padavimas į gyvatuką;
- Perteklinio vandens nuleidimas į kanalizaciją;
- Lauko ar vidaus baseino šildymas.

Paveiksle nr. 1.11 pavaizduota eksperimentinė jungtinė saulės kolektorių ir geoterminio šildymo hibridinė sistema, su šilumos akumuliaciniu betono luitu (30 m<sup>3</sup>), vadinamu „baterija“.



**1.11 pav.** Eksperimentinės saulės kolektorių sistemos perteklinės energijos panaudojimo pavyzdys

Betono luito viduje išvedžiotas varinis šilumokaitis, per kurį pratekėjas šilumnešis perduoda šilumą betonui. Išoriškai apšiltintas, kad šiluminiai nuostoliai būtų minimalūs. Betonas užkastas po namo pamatais, kuriame yra įrengta ši sistema. Visa perteklinė energija nukreipiama į betoną, kuris gali kaisti iki 70°C. Šiltu metų sezonu tikimasi „pakrauti“ betoną bent iki 60°C, o šaltu metų laiku geoterminio siurblio pagalba, šiluminė energija iš betono luito bus naudojama patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui.

# PRAKTINĖ DALIS

## 1. Tiriamos saulės kolektorių sistemos aprašymas

Sporto klubas „EUROGYM“ įsikūręs Vasario 16-osios g. 55, Šiauliuose. Tiriama saulės kolektorių vandens pašildymo sistema „Euro Gym saulės kolektorius“ sumontuota ir paleista darbui 2011.05.11 dieną. Sistema sėkmingai dirba jau dvejus metus. Saulės kolektorių vandens pašildymo sistema suprojektuota pagal sporto klubo „Euro Gym“ energijos poreikį vandens pašildymui.

Sistema susideda iš: WATT gamintojo U-tipo vakuuminių kolbų kolektorių (viso 180 kolbų), akumuliacinių vandens talpų, viso 2000 litrų, valdymo įrangos su internetiniu monitoringu, visi reikiami vamzdiniai su aksesuarais ir aprišimu pastato šilumos mazge. Sistema pašildys šaltą įvado vandenį, kuris toliau, per esamą šilumokaitį, bus tiekiamas pastato reikmėms.

Saulės kolektoriai sumontuoti ant keturaukščio, plokščio, pastato stogo, tvirtinimui panaudojant aliuminio konstrukcijas su pakeltu betonuotu pagrindu, orientuojant kolektorius į pietus, pakreipiant juos optimaliu 35° kampu nuo horizonto. Saulės kontūro magistralė, saulės sistemos siurblynė, boileriai sumontuoti ketvirtame aukšte, specialiai tam įrengtoje patalpoje.



**2.1 pav.** *Saulės kolektorių vandens šildymo sistema „Euro Gym saulės kolektorius“*

Į šiluminį mazgą nuvestos šalto/karšto ir cirkuliacinio vandens magistralės. Sistemos šaltas įvado vanduo pirma patenka į akumuliacines talpas, toliau į esamą šilumokaitį (papildomam pašildymui) ir toliau vartojimui.

Šaltas vanduo nuvestas vamzdžiu su pūsto polietileno izoliacija, karšto ir karšto cirkuliacijos vandens vamzdžiai – daugiasluoksniai, su vatos/folija izoliacija. Vamzdžiai antrame aukšte (salėje) sumontuoti horizontaliai po pakabinamomis lubomis. Atvirose vietose praeinantys vamzdžiai uždengti plastmasiniais loveliais.

Saulės kolektorių sistema užpildyta šilumnešiu propileno-glikoliu, kurio užšalimo riba yra  $-28^{\circ}\text{C}$ .

„Euro Gym“ saulės kolektorių sistemą sudaro šie įrenginiai:

- 12 vnt. CPC 15 vakuuminių u-pipe saulės kolektorių;
- 4 vnt. akumuliacinės vandens talpyklos po 500 l;
- Cirkuliacinis siurblys;
- Vandens išsiplėtimo indas 200 l;
- Glikolio išsiplėtimo indas 250 l;
- Sistemos valdiklis;
- Duomenų kaupiklis;
- Srauto reguliatorius;
- Elektriniai vožtuvai;
- Pavaros;
- Davikliai;
- Skaitikliai;
- Ventiliai;
- Automatiniai nuorintojai;
- Avarinė signalizacija;
- Nepertraukiamos srovės šaltinis;
- Avarinis perteklinės šilumos nuleidimo vožtuvas.



## 1.1 WATT CPC 15 vakuuminis u-pipe saulės kolektorius

Vakuuminis saulės kolektorius su 15 „U-Pipe“ tipo vakuuminiais vamzdžiais. Absorbuojamas plotas 3.21 m<sup>2</sup>. Efektyvumas patvirtintas Solar Keymark sertifikatu. Vakuumas garantuoja maksimalią šilumos izoliaciją, nepriklausomai nuo gamtos sąlygų. Novatoriškas reflektorius maksimaliai koncentruoja saulės energiją. Šioje sistemoje naudojama 12 tokių kolektorių (viso 180 kolbų).

2.1 lentelė. WATT CPC 15 vakuuminio u-pipe saulės kolektoriaus parametrai

WATT CPC 15 vakuuminis u-pipe saulės kolektorius	
Plotis / Aukštis / Storis	1837/1930/122 mm
Tuščio kolektoriaus masė	51 kg
Vakuuminis stiklo vamzdis	LINUO borosilikatinis stiklas
Bendras kolektoriaus plotas	3,544 m <sup>2</sup>
Absorberio plotas	3,174 m <sup>2</sup>
Absorberis	aluminio nitritas 95% / 5%
Varinių vamzdelių sistema	U-pipe (tiesioginio pratekėjimo)
Izoliacija	Vakuumas/Isover statybinė izoliacija
Optinio naudingumo koeficientas	$\eta_0 = 0,573$
Vidutinis šilumnešio srautas per kolektorių	1,5 l/min.
Šilumos nuostolių koeficientai	$a_1 = 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; $a_2 = 0,0061 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
Korpusas	aliuminis
Eksploatacijos laikas	25 metai
Standartai / Sertifikatai	EN 12975 / SOLAR KEYMARK

Detalūs CPC 15 saulės kolektoriaus parametrai pateikti priede nr. 3



2.2 pav. WATT CPC 15 vakuuminis saulės kolektorius

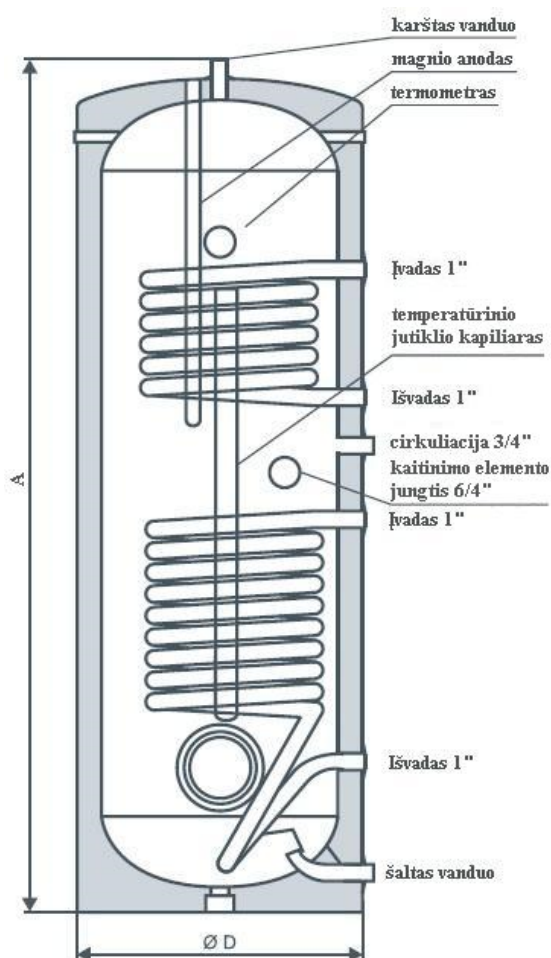


## 1.2 Akumuliacinė talpa HT 500ERR

HT 500ERR boileris yra specialus boileris saulės kolektorių sistemai. Jo talpa yra 500 litrų. Jis turi du šilumokaičius. Apatiniu šilumokaičiu teka šilumnešis kuris atiteka iš kolektorių, o viršutinis jungiamas prie esamos šildymo sistemos (elektra, dujinis katilas, kieto kuro katilas ir t.t.) Jis yra gerai izoliuotas, todėl naudojamas kaip akumuliacinė talpa. Tiriamoje sistemoje naudojami 4 boileriai, kurių bendra talpa 2000 litrų.

2.2 lentelė. Akumuliacinės talpos HT 500ERR parametrai

Nominali talpa (l)	500 l
Diametras (mm)	760 mm
Aukštis (mm)	1910 mm
Svoris (kg)	218 kg
Saulės (apatinio) šilumokaičio plotas (m <sup>2</sup> )	1,76 m <sup>2</sup>
Viršutinio šilumokaičio plotas (m <sup>2</sup> )	0,7 m <sup>2</sup>
Izoliacijos storis (mm)	50 mm



2.3 pav. HT 500ERR boileris

### 1.3 Resol DeltaSol E valdiklis

Resol DeltaSol E sistemos valdiklis temperatūros jutiklių pagalba seka glikolio kolektoriuje bei vandens talpose temperatūrų skirtumus, valdo siurblius ir el. vožtuvus. Piranometro pagalba fiksuoja saulės spindulinę energiją. Automatizuotas šilumnešio debito valdymas kolektoriniame kontūre pagal esamas vandens ir šilumnešio temperatūras.



2.4 pav. Resol DeltaSol E valdiklis



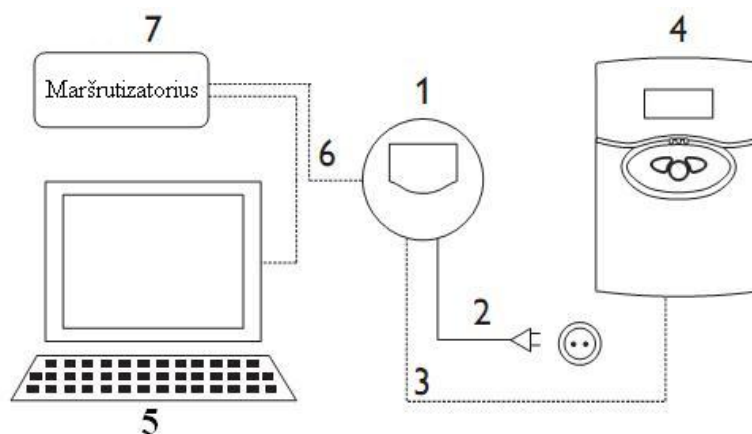
2.5 pav. Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklis

### 1.4 Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklis – saulės kolektorių sistemos monitoringo sistema

Monitoringo sistema veikia dėka Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklio, pavaizduoto paveiksle nr. 2.5. Jis yra jungiamas į sistemos valdiklį, iš kurio yra nuskaitomi sistemos būklės duomenys ir įrašomi į vidinę kaupiklio atmintį. Tai pat yra galimybė stebėti sistemos būklę realiu laiku interneto pagalba.

Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklis leidžia ilgą laiką saugoti didelius kiekius duomenų. Kaupiklis gali būti konfigūruojamas ir sukaupti duomenys nuskaitomi per WEB sąsają su standartine interneto naršykle. DL2 tinka visiems RESOL valdikliams su VBus sąsaja. Jis gali būti prijungtas tiesiogiai prie kompiuterio arba maršrutizatoriaus nuotoliniai prieigai, tai leidžia patogiai stebėti sistemos darbą, sugeneruotos energijos kiekius arba gedimų diagnostiką.

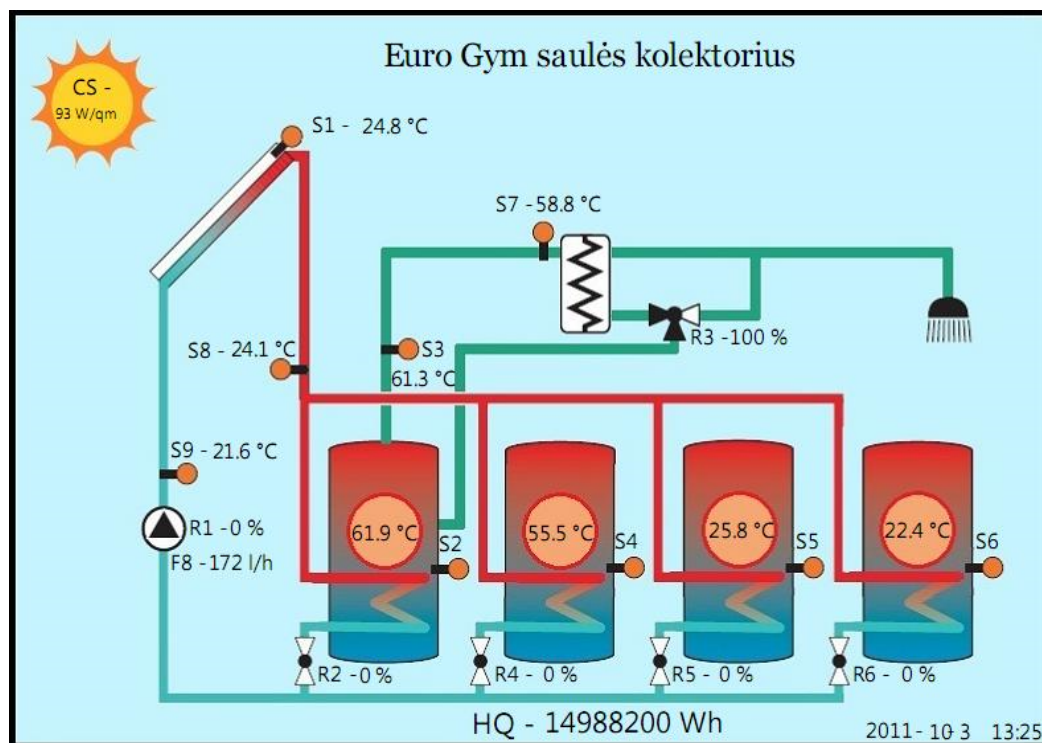
Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklio jungimas pavaizduotas paveiksle nr. 2.6:



**2.6 pav.** Resol Datalogger DL2 duomenų kaupiklio jungimo principinė schema

Sujungiamas DL2 duomenų kaupiklis (1 pozicija) duomenų kabeliu (RESOL VBus, 3 pozicija) su RESOL valdikliu (4 pozicija). Maitinimo laidas jungiamas į elektros lizdą (2 pozicija). Maršrutizatorius (7 pozicija) arba kompiuteris (5 pozicija) prijungiamas tinklo kabeliu (6 pozicija).

Paveiksle nr. 2.7 pavaizduotas pagrindinis monitoringo sistemos langas, kuriame pateikiama pagrindinė sistemos darbo informacija. Matome principinę sistemos schemą, temperatūrinių jutiklių temperatūras, saulės spinduliuotės lygį, cirkuliacinių siurblių darbinę apkrovą, siurblių varomo skysčio greitį, sugeneruotą šiluminės energijos kiekį bei įeinančią ir išeinančią šilumnešio temperatūrą į/iš boilerių.



**2.7 pav.** Realaus laiko sistemos darbo duomenys atvaizduoti principinėje sistemos schemoje

Žymėjimų reikšmės pateiktos 2.8 paveiksle:

<b>Resol deltasol E reikšmės</b>		
“Live data“ reikšmė	Trumpinys	Paaaiškinimas
Temperature sensor 1:	S1	Saulės kolektoriaus temperatūros jutiklis
Temperature sensor 2:	S2	Vandens talpos Nr.1 temperatūros jutiklis
Temperature sensor 3:	S3	Vandens temperatūros už vandens talpos Nr.1 jutiklis
Temperature sensor 4:	S4	Vandens talpos Nr.2 temperatūros jutiklis
Temperature sensor 5:	S5	Vandens talpos Nr.3 temperatūros jutiklis
Temperature sensor 6:	S6	Vandens talpos Nr.4 temperatūros jutiklis
Temperature sensor 7:	S7	Vandens temperatūros prieš plokštelinį šilumokaitį jutiklis
Temperature sensor 8:	S8	Paduodamo iš saulės kolektoriaus šilumnešio temperatūros jutiklis
Temperature sensor 9:	S9	Grįžtamo į saulės kolektorių šilumnešio temperatūros jutiklis
Irradiation CS:	CS	Saulės intensyvumo jutiklis
Pump speed relay 1:	R1	Saulės kolektoriaus kontūro cirkuliacinis siurblys
Pump speed relay 2:	R2	Vandens talpos Nr.1 užkrovimo vožtuvas 100% - atidaryta, 0% - uždaryta
Pump speed relay 3:	R3	Cirkuliacinio vandentiekio permetimo vožtuvas 100% - didysis žiedas, 0% - mažasis žiedas
Pump speed relay 4:	R4	Vandens talpos Nr.2 užkrovimo vožtuvas 100% - atidaryta, 0% - uždaryta
Pump speed relay 5:	R5	Vandens talpos Nr.3 užkrovimo vožtuvas 100% - atidaryta, 0% - uždaryta
Pump speed relay 6:	R6	Vandens talpos Nr.4 užkrovimo vožtuvas 100% - atidaryta, 0% - uždaryta
Error mask:		Klaidos kodas
Messages:		Valdiklio pranešimai
System:		Saulės kolektoriaus tipinė šildymo schema
Flow temperature	S8	Saulės kolektoriaus temperatūros jutiklis
Return temperature:	S9	Buferinės talpos Nr.1 temperatūros jutiklis
Flow rate sensor 8:	F8	Debitomatis
Heat quantity:	HQ	Šilumos kiekis

**2.8 pav.** Duomenų žymėjimų reikšmės

Monitoringo sistema pateikia išsamią informaciją apie sistemos darbą. Informacija gali būti panaudota įvairiais tikslais. Aprašyta sistema yra pilnai automatizuota, dėka jutiklių ir valdiklio yra užtikrinamas efektyvus sistemos darbas.



## 2. Saulės kolektorių sistemos monitoringo kaupiamų duomenų nuskaitymas ir integravimas į programinio paketo MATLAB aplinką

Dažnai susiduriama su procesais, kurie atsižvelgiant į šiuolaikinius gyvenimo tempus bei technologijų lygį, privalo būti optimizuoti. Iki šiol daugumą darbų reikėjo atlikti naudojant pieštukus, skaičiavimus atlikti skaičiavimo mašinėle, braižant reikėjo turėti liniuotę, matlankį ir t.t. Visą tai galima daryti pilnai arba dalinai panaudojant programinę įrangą arba naudoti sistemas, kurių pagalba galima automatizuoti duomenų bazės kaupimą, jų pasiskirstymą, kontrolę, vertinimą ir rezultatus.

Rašant Magistro darbą man yra labai aktualus saulės kolektorių sistemos monitoringo kaupiamų duomenų apdorojimas. Su programinio paketo MATLAB pagalba parašysime programą, kuri visus empirinius duomenis išbarstytus Microsoft Excel byloje (duomenų kaupiklis saugo duomenis .xls formatu) sustruktūrizuos ir norimus rezultatus išves grafikų forma.

Saulės kolektorių monitoringo sistema fiksuoja įvairius kolektorinės šildymo sistemos parametrus ir išsaugo juos duomenų kaupiklyje. Išrenkami tik reikalingi sistemos duomenys, jiems priskiriami kintamųjų pavadinimai pagal jų reikšmes. Reikalingi saulės kolektorių sistemos parametrai atvaizduoti paveiksle nr. 2.9.

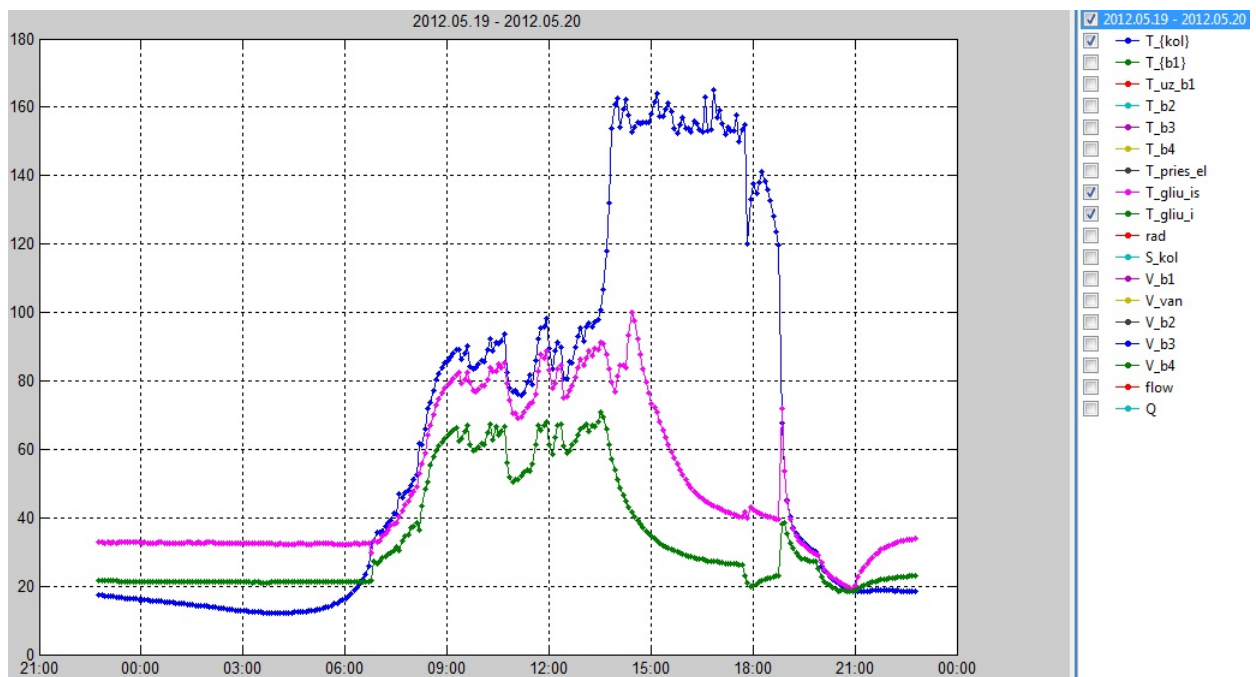
	A	B	C
1	Stulpelis	Kintamasis	Reikšme
2	1	T	Data ir laikas
3	2	T_{kol}	Saulės kolektoriaus temperatūrinis jutiklis
4	3	T_{b1}	Vandens talpos Nr. 1 temperatūrinis jutiklis
5	4	T_uz_b1	Vandens temperatūros už vandens talpos Nr. 1
6	5	T_b2	Vandens talpos Nr. 2 temperatūrinis jutiklis
7	6	T_b3	Vandens talpos Nr. 3 temperatūrinis jutiklis
8	7	T_b4	Vandens talpos Nr. 4 temperatūrinis jutiklis
9	8	T_pries_el	Vandens temperatūros prieš elektrinį šilumokaitį jutiklis
10	9	T_gliu_is	Paduodamo iš saulės kolektorių silumnesio temperatūros jutiklis
11	10	T_gliu_i	Grįžtamo iš saulės kolektorių silumnesio temperatūros jutiklis
12	12	rad	Saulės intensyvumo jutiklis
13	15	S_kol	Saulės kolektoriaus konturo cirkuliacinis siurblys
14	16	V_b1	Vandens talpos Nr. 1 užkrovimo vožtuvas
15	17	V_van	Cirkuliacinio vandentiekio permetimo vožtuvas
16	18	V_b2	Vandens talpos Nr. 2 užkrovimo vožtuvas
17	19	V_b3	Vandens talpos Nr. 3 užkrovimo vožtuvas
18	20	V_b4	Vandens talpos Nr. 4 užkrovimo vožtuvas
19	41	flow	Debitomatis
20	42	Q	Silumos kiekis
21	34	L	Laikas "03:14:00"
22	35	Y	Metai
23	36	M	Menuo
24	37	D	Diena

2.9 pav. Saulės kolektorių sistemos parametrai (kintamieji.xls)

MATLAB programinio paketo aplinkoje užrašomas kodas. Aktyvius MATLAB kodą, reikalingi duomenys pagal kintamieji.xls yra nuskaitomi ir įrašomi į atmintį.

MATLAB programinio paketo aplinkoje galima keisti datą ir gauti reikšmes užduotame laiko intervale. Laisvai pasirinktus duomenis galima atvaizduoti grafikuose. Paveiksle nr. 2.10 pavaizduoti rezultatai.

Iš šio grafiko matyti, jog 2012 metų gegužės 20 dieną, įvyko gedimas saulės kolektorių kontūro automatikoje, ko sekoje sustojo veikti cirkuliacinis siurblys. Glikolio temperatūra saulės kolektoriuose viršijo kritinę ribą ir glikolis virto garais, sistema nustojo funkcionuoti.

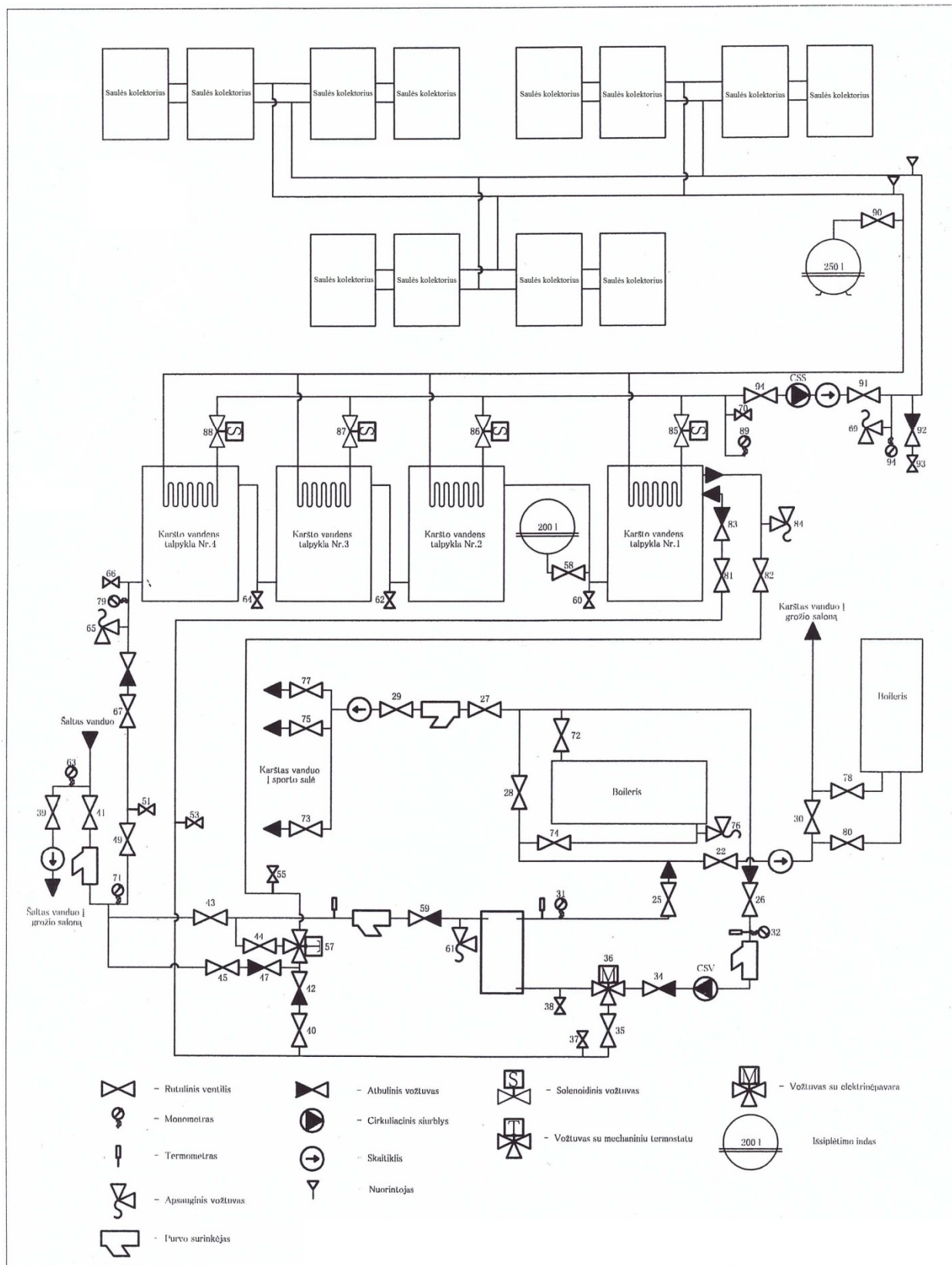


**2.10 pav.** Glikolio esančio saulės kolektoriuose (mėlyna), įeinančio į sistemą (violetinė) ir išeinančio iš kolektoriaus (žalia) glikolio temperatūros laiko intervale 2012.05.19 - 2012.05.20

Apibendrinant, šis duomenų kaupiklio (Datalogger) duomenų nuskaitymas ir atvaizdavimas grafiškai ne tik prisidės prie patogesnio magistrinio darbo tyrimo atlikimo, bet ir kasdieniniam praktiniam pritaikymui darbovietėje. Atsiradus sistemos sutrikimams, bus patogiau identifikuojama problema ir priimtas greitesnis sistemos gedimo pašalinimo sprendimas.

### 3. „Euro Gym“ Saulės kolektorių sistemos energetinio efektyvumo tyrimas

Tyrimo metu analizuojami 2012 kalendorinių metų surinkti „Euro Gym“ saulės kolektorių sistemos veikimo duomenys.



2.11 pav. „Euro Gym“ Saulės kolektorių sistemos principinė jungimo schema.

Sistemos duomenų kaupiklis kaupia 2.8 pav. iliustruotus duomenis. Papildomai surinkti duomenys iš Šiaulių hidrometeorologijos stoties apie 2012 kalendorinių metų aplinkos temperatūrą, kritulių intensyvumą ir jų kiekį. Paveiksle 2.11 pateikta tiriamos sistemos principinė jungimo schema.

Kovo – balandžio, rugsėjo – spalio pereinamaisiais mėnesiais dieną temperatūra būna žema, neretai ir neigiama, taip pat būdingas vidutinis debesuotumas. Tokiomis klimato sąlygomis efektyviausi yra vakuuminiai kolektoriai, kurių savybėms priskiriami maži šilumos nuostoliai. Tačiau šie kolektoriai turi ir trūkumų. Pagrindinis yra tai, jog pasižymi maža išsklaidytos energetinės spinduliuotės absorbcija. Dažniausiai šiam trūkumui sumažinti, neretai pašalinti yra naudojami metaliniai CPC (Compound parabolic concentrator) veidrodžiai. Taip pat naudojami veidrodžiai ir ant vakuuminio vamzdžio paviršiaus. Tokiu būdu esant dideliame spindulių kritimo kampui pagerėja absorbcija [22].

Pagrindinis parametras kuris apibrėžia saulės kolektorių efektyvumą transformuojant saulės spindulinę energiją yra naudingumo koeficientas. Jis aprašomas lygtimi:

$$\eta = \eta_0 - a_1x - a_2x^2 ; (1)$$

$$x = (T_m - T_a) / G_k ; (2)$$

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2 ; (3)$$

$\eta$  – kolektoriaus naudingumo koeficientas ;

$\eta_0$  – kolektoriaus optinio naudingumo koeficientas ;

$a_1, a_2$  – kolektoriaus koeficientai,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ;

$x$  – redukuotas temperatūrų skirtumas;

$G_k$  – saulės energetinė apšvita,  $W/m^2$ ;

$T_m$  – vidutinė šilumnešio temperatūra,  $^\circ C$ ;

$T_1, T_2$  – įtekančio ir ištekančio iš kolektoriaus šilumnešio temperatūra,  $^\circ C$ ;

$T_a$  – aplinkos temperatūra,  $^\circ C$ .

Šie kolektoriaus koeficientai, kaip  $\eta_0$ ,  $a_1$  ir  $a_2$  yra nustatomi kolektorių bandymų metu. Koeficientas  $\eta_0$  charakterizuoja kolektoriaus gebėjimą ir savybes absorbuoti saulės energiją. Tuo tarpu  $a_1$  ir  $a_2$  charakterizuoja šilumos nuostolius kolektoriuje. Pažymėtina, kad vakuuminių kolektorių efektyvumas visam kolektoriaus plotui yra panašūs lyginant su plokščiųjų kolektorių parametrais, tačiau vakuuminiuose kolektoriuose šilumos nuostoliai yra 3 – 4 kartus mažesni nei plokščiuose kolektoriuose. Dėl šios priežasties kolektorių gamintojai akcentuoja šių kolektorių efektyvų panaudojimą esant aukštai temperatūrai mažo debito režimo metu, kad būtų gaunamas



maksimalus energijos metinis kiekis. Taip pat sutinkama, kad vakuuminių kolektorių sistemos, nors ir yra finansiškai brangesnės, tačiau lyginant su plokščiaisiais kolektoriais, jų parametrai, savybės ir rodikliai yra labai panašūs [1].

Papildomai be išvardintų charakteristikų bei parametų yra nustatoma tuščios eigos temperatūra sustabdžius šilumos nešėjo cirkuliaciją, hidrauliniai nuostoliai ir kt. Tokiu būdu, šių kolektorių gamintojai, remdamiesi atliktų tyrimų rezultatais informuoja rekomenduojamą maksimalų ir minimalų šilumnešio debitą kolektoriuje. [15]

**2.3 lentelė** Tipiniai saulės kolektorių parametrai [15]

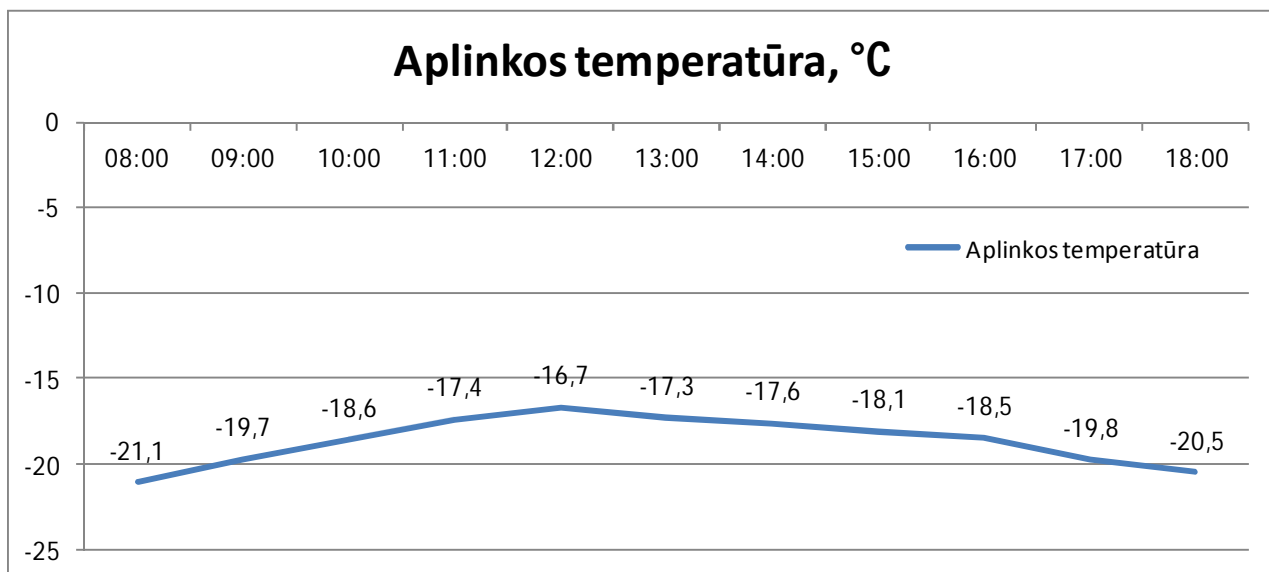
Parametras	Plokščias vidutinės klasės kolektorius	Vakuuminis vidutinės klasės kolektorius	Vakuuminis aukštos klasės kolektorius
1. Optinio naudingumo koeficientas $\eta_o$ : a) skaidrios dangos plotui; b) bendram plotui.	0,757 0,671	0,614 0,399	0,739 0,552
2. Koeficientas $a_1$ , $W/m^2 K$ : a) skaidrios dangos plotui; b) bendram plotui	3,84 3,41	1,30 0,85	1,08 0,8
3. Koeficientas $a_2$ , $W/m^2 K^2$ : a) skaidrios dangos plotui; b) bendram plotui.	0,0164 0,0145	0,0073 0,0047	0,0056 0,0042

„Euro Gym“ saulės kolektorių tyrimai buvo atlikti gamybinėmis sąlygomis. Tiriant saulės kolektorių efektyvumą negalėjau keisti darbinių sistemos parametų ir trikdyti sistemos valdiklio darbo. Todėl, iš turimų 2012 kalendorinių metų rodiklių, remiantis skirtingomis klimato sąlygomis ir laiko intervalais, išrinkti duomenų intarpai kurie pavadinti – situacija.

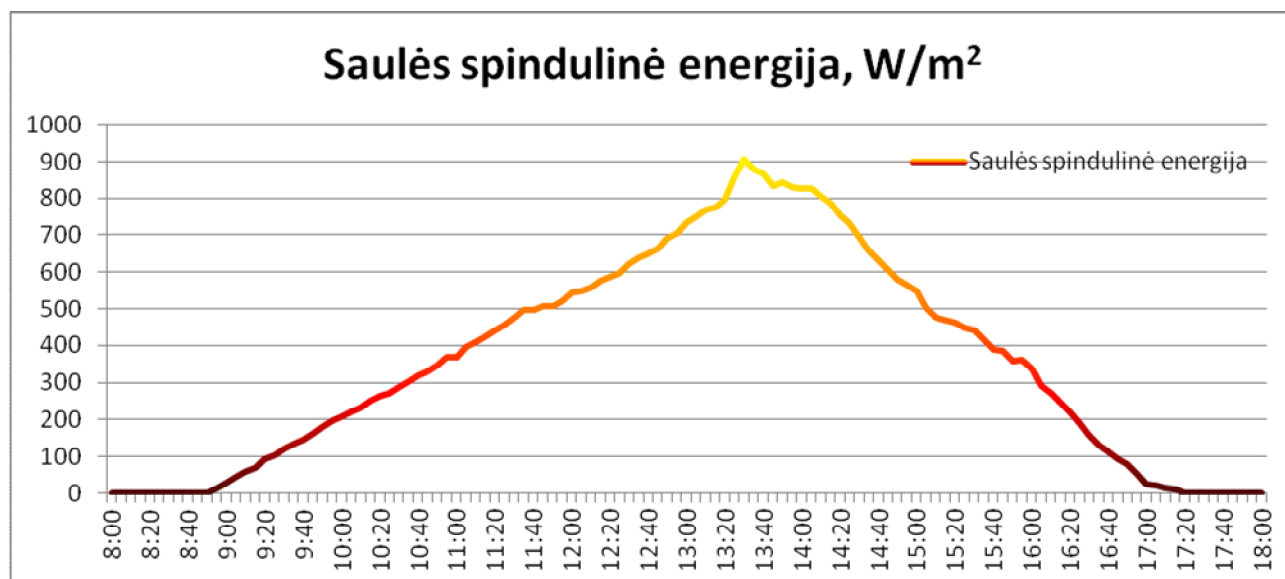
### 3.1 Situacija Nr. 1 – „apsnigta“ 2012 metų diena

2012.02.01 užfiksuota viena iš šalčiausių ir giedriausių 2012 metų žiemos dienų. Vidutinė saulės spindulinė energija šią dieną –  $404 W/m^2$ . Skaičiuojant kolektoriaus naudingumo koeficientą vidutinę saulės spindulinę energiją imsime laiko intervale kai saulės spinduliuojama energija buvo dienos maksimume (orientuota pietų kryptimi), nebuvo debesų ir kritulių. Vidutinė saulės spindulinė energija ir aplinkos temperatūra laiko intervale 12:35–14:35 –  $773 W/m^2$ ,  $-17,43 ^\circ C$ . Svarbu paminėti, kad šią dieną kolektoriai buvo padengti storu sluoksniu sniego. Paveiksle nr. 2.12

pavaizduota 2012.02.01 dienos aplinkos temperatūra laiko intervale 8:00–18:00. Paveikslė nr. 2.13 pavaizduota saulės spindulinė energija laiko intervale 8:00–18:00.



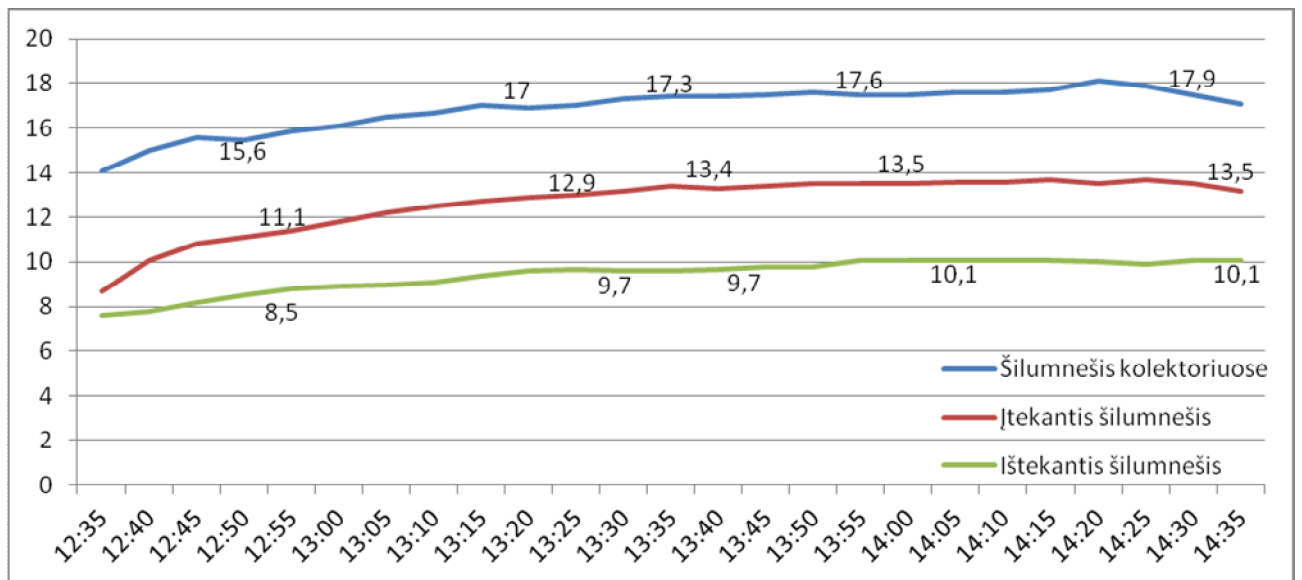
**2.12 pav.** 2012.02.01 dienos aplinkos temperatūra laiko intervale 8:00–18:00



**2.13 pav.** 2012.02.01 saulės spindulinė energija laiko intervale 8:00–18:00

Iš 2.12 ir 2.13 paveikslų galima teigti, kad diena buvo šalta ir giedra.

Paveikslė nr. 2.13 pavaizduotos 2012.02.01 įtekančio į kolektorius, ištekančio iš kolektorių ir kolektoriuose esančio šilumnešio temperatūros laiko intervale 12:35–14:35.



**2.14 pav.** 2012.02.01 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 12:35–14:35

Iš paveikslo 2.14 galima daryti išvadą, jog šilumnešio temperatūros skirtinguose saulės kolektorių sistemos taškuose yra tolygiai priklausomos viena nuo kitos.

Apskaičiuosime saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 12:35–14:35, kai:

$$T_a = -17,43 \text{ } ^\circ\text{C}; G_k = 773 \text{ W/m}^2; T_1 = 12,632 \text{ } ^\circ\text{C}; T_2 = 9,428 \text{ } ^\circ\text{C}; \eta_0 = 0,573; a_1 = 0,40 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$a_2 = 0,0061 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Saulės kolektoriaus koeficientai  $\eta_0$ ,  $a_1$  ir  $a_2$  yra pateikti priede nr. 2.

Apskaičiuojame vidutinę šilumnešio temperatūrą  $T_m$ :

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2 ;$$

$$T_m = (9,428 + 12,632) / 2 ;$$

$$T_m = 11,03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Apskaičiuojame redukuotą temperatūrų skirtumą  $x$ :

$$x = (T_m - T_a) / G_k ;$$

$$x = (11,03 + 17,43) / 773 ;$$

$$x \approx 0,0368176$$

Apskaičiuojame saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 12:35–14:35:

$$\eta = \eta_0 - a_1x - a_2x^2;$$

$$\eta = 0,573 - (0,40 \cdot 0,0368176) - (0,0061 \cdot 0,0368176^2);$$

$$\eta = 0,573 - 0,1472704 - 0,000008268 = 0,425721332 \approx 0,4257;$$

$$\eta = 0,4257$$

Apskaičiavus saulės kolektoriaus efektyvumą, galima paskaičiuoti sistemos sugeneruotą energijos kiekį laiko intervale 12:35–14:35. Kadangi, saulės energetinė apšvieta matuojama  $W/m^2$ , todėl sudauginsime bendrą saulės kolektorių absorbuojamąjį plotą ir saulės spindulinės energijos kiekį ir jos trukmę:

$P_{s1}$  – „Euro Gym“ saulės kolektorių sistemos galia (situacija nr. 1), W;

$S_{sis}$  – „Euro Gym“ saulės kolektorių sistemos naudingas plotas,  $m^2$ ;

$S_{cpc}$  – WATT CPC 15 saulės kolektoriaus naudingas plotas,  $m^2$ ;

$N_k$  – Saulės kolektorių skaičius sistemoje;

$Q_{s1}$  – Saulės kolektorių sistemos sugeneruotas energijos kiekis (situacija nr. 1), kWh;

$t$  – Saulės energetinės spinduliuotės trukmė, h;

$$S_{sis} = S_{cpc} \cdot N_k; \quad (4)$$

$$P_{s1} = S_{sis} \cdot G_k; \quad (5)$$

$$Q_{s1} = P_{s1} \cdot t \cdot \eta; \quad (6)$$

$$S_{sis} = 3,174 \cdot 12;$$

$$S_{sis} = 38,088 \text{ m}^2;$$

$$P_{s1} = 38,088 \cdot 773 = 29442,024 \approx 29,44 \text{ kW};$$

$$P_{s1} = 29,44 \text{ kW};$$

$$Q_{s1} = 29,44 \cdot 2 \cdot 0,4257 \approx 25,07 \text{ kWh};$$

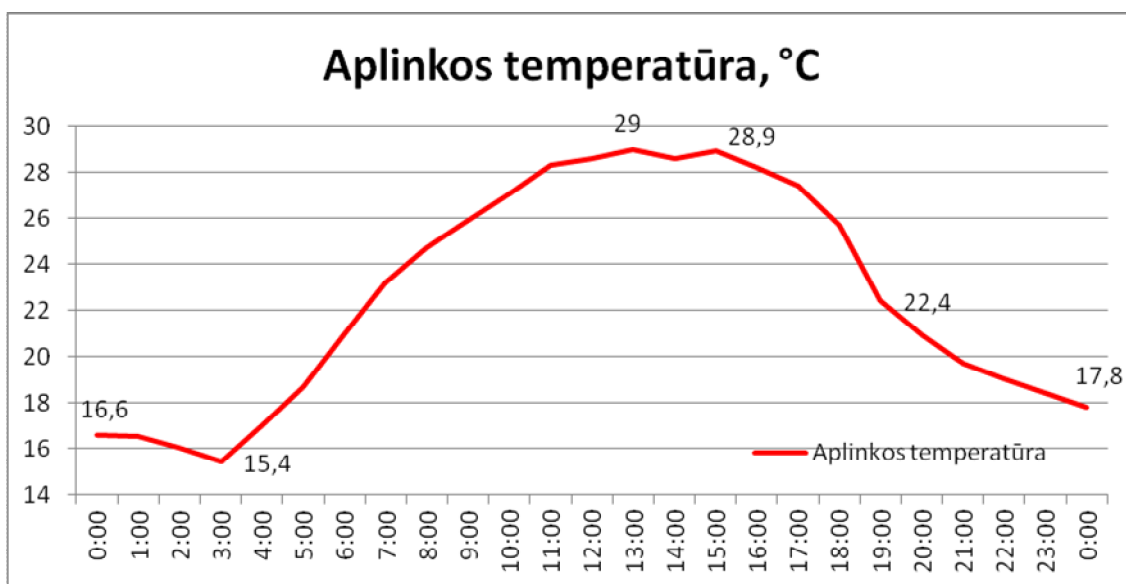
$$Q_{s1} = 25,07 \text{ kWh}$$

2012.02.01, vidutinė saulės spindulinė energija ir aplinkos temperatūra laiko intervale 12:35–14:35 –  $773 \text{ W/m}^2$ ,  $-17,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . „Euro Gym“ saulės kolektorių sistema turėjo sugeneruoti 25,07 kWh šiluminės energijos ir perduoti ją šilumnešiu. Sistemos naudingumo koeficientas šioje situacijoje:  $\eta = 0,4257$ . Sistemos siurblys veikė 30% pajėgumu, šilumnešio vidutinis debitas 220 l/h. Kraunama akumuliacinė talpa nr. 1. Sistemos energijos apskaitos skaitiklio matuojančio perduoto energijos kiekio vandeniui rodmenys (faktinis energijos kiekis) yra  $Q_{s1f} = 1,455 \text{ kWh}$ , tai yra tik 5,8% saulės šviesos tiekiamos energijos buvo panaudota vandens šildymui. Vandens savitoji šiluma yra  $c_v = 4180 \text{ J}$ , vadinasi 1000 l vandens pakelti  $1^\circ\text{C}$  reikalinga 1,161 kWh energijos. Kadangi akumuliacinė talpa nr. 1 yra 500 l, todėl reikalingas energijos kiekis yra:  $1,161 / 2 = 0,5805 \text{ kWh}$ . Apskaičiavus gauname: vandens temperatūra akumuliacinėje talpoje pakilo  $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

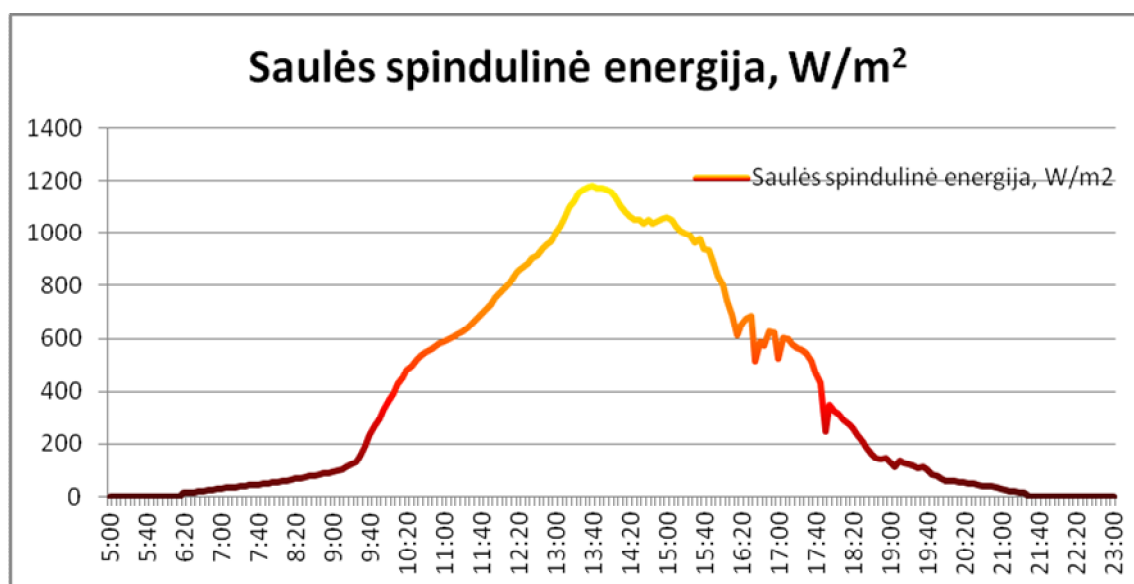
Iš šių duomenų galime spręsti, jog visa kita saulės šviesos šiluminė energija liko nepanaudota karšto vandens ruošimui dėl apsnigusių saulės kolektorių.

### 3.2 Situacija Nr. 2 – karščiausia 2012 metų diena

2012.07.27 užfiksuota viena iš karščiausių ir giedriausių 2012 metų vasaros dienų. Vidutinė saulės spindulinė energija šią dieną –  $495 \text{ W/m}^2$ . Skaičiuojant kolektoriaus naudingumo koeficientą vidutinę saulės spindulinę energiją imsime laiko intervale kai saulės spinduliuojama energija buvo dienos maksimume, nebuvo debesų ir kritulių. Vidutinė saulės spindulinė energija laiko intervale 13:05–15:05 –  $1101 \text{ W/m}^2$ , vidutinė aplinkos temperatūra pasirinktame laiko intervale –  $28,83 \text{ }^\circ\text{C}$ . Paveiksle nr. 2.15 pavaizduota 2012.07.27 paros aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00. Paveiksle nr. 2.16 pavaizduota saulės spindulinė energija laiko intervale 5:00–23:00.



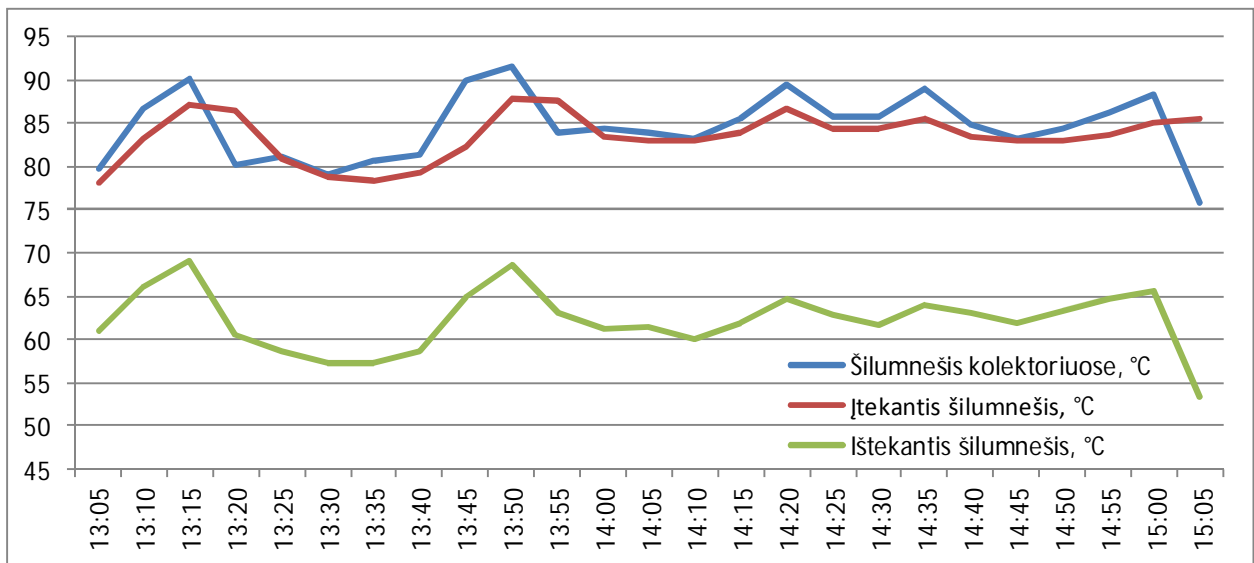
2.15 pav. 2012.07.27 aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00



2.16 pav. 2012.07.27 saulės spindulinė energija laiko intervale 5:00–23:00

Iš 2.15 ir 2.16 paveikslų galima teigti, kad diena buvo šilta ir giedra.

Paveiksle nr. 2.17 pavaizduotos 2012.02.01 įtekančio į kolektorius, ištekančio iš kolektorių ir kolektoriuose esančio šilumnešio temperatūros laiko intervale 13:05–15:05.



**2.17 pav.** 2012.07.27 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 13:05–15:05

Iš paveikslo 2.17 galima teigti, jog šilumnešio temperatūros skirtinguose saulės kolektorių sistemos taškuose yra priklausomos viena nuo kitos. Lyginant su paveikslu nr. 2.14 (situacija nr.1), kai aplinkos temperatūra buvo minusinė, o vidutinis temperatūrų skirtumas pasirinktuose laiko intervaluose – 46 °C (situacijas nr. 1 ir situacija nr.2), galima daryti išvadą, jog aplinkos temperatūra šiose situacijose beveik neįtakoja šiluminės energijos praradimų dėl šiluminių nuostolių vamzdžiuose, magistralėje tarp saulės kolektorių mazgo ir akumuliacinių talpų. Netolygiai kintančios šilumnešio temperatūros atsirado dėl šildomo vandens vartojimo šildymo momentu ir pakeistos šildomos akumuliacinės talpos, kadangi talpa nr.2 buvo prišildyta iki nustatytos temperatūros – 70 °C, šildymas buvo nukreiptas į talpą nr. 3 kurioje vanduo buvo 20 °C. Iš grafiko matyti, jog laiko momentais 13:20–13:25 ir 13:55–14:00 įtekančio šilumnešio į akumuliacines talpas temperatūra aukštesnė nei pačiuose kolektoriuose esančio šilumnešio, taip atsitiko dėl duomenų kaupiklio duomenų fiksavimo paklaidų.

Apskaičiuosime saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 13:05–15:05, kai:

$$T_a = 28,83 \text{ } ^\circ\text{C}; G_k = 1101 \text{ W/m}^2; T_1 = 83,544 \text{ } ^\circ\text{C}; T_2 = 62,544 \text{ } ^\circ\text{C}; \eta_0 = 0,573; a_1 = 0,40 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$a_2 = 0,0061 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Apskaičiuojame vidutinę šilumnešio temperatūrą  $T_m$ :

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2 ;$$

$$T_m = (62,544 + 83,544) / 2 ;$$

$$T_m = 72,852 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Apskaičiuojame redukuotą temperatūrų skirtumą  $x$ :

$$x = (T_m - T_a) / G_k ;$$

$$x = (72,852 - 28,83) / 1101 ;$$

$$x = 0,03998.$$

Apskaičiuojame saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 13:05–15:05:

$$\eta = \eta_0 - a_1x - a_2x^2;$$

$$\eta = 0,573 - (0,40 \cdot 0,03998) - (0,0061 \cdot 0,03998^2);$$

$$\eta = 0,573 - 0,015992 - 0,00000975 \approx 0,5569;$$

$$\eta = 0,5569.$$

Apskaičiavus saulės kolektoriaus efektyvumą, galima paskaičiuoti sistemos sugeneruotą energijos kiekį laiko intervale 13:05–15:05:

$$P_{s2} = S_{sis} \cdot G_k; \quad (5)$$

$$Q_{s2} = P_{s1} \cdot t \cdot \eta; \quad (6)$$

$$P_{s2} = 41,93 \text{ kW};$$

$$Q_{s2} = 46,71 \text{ kWh}.$$

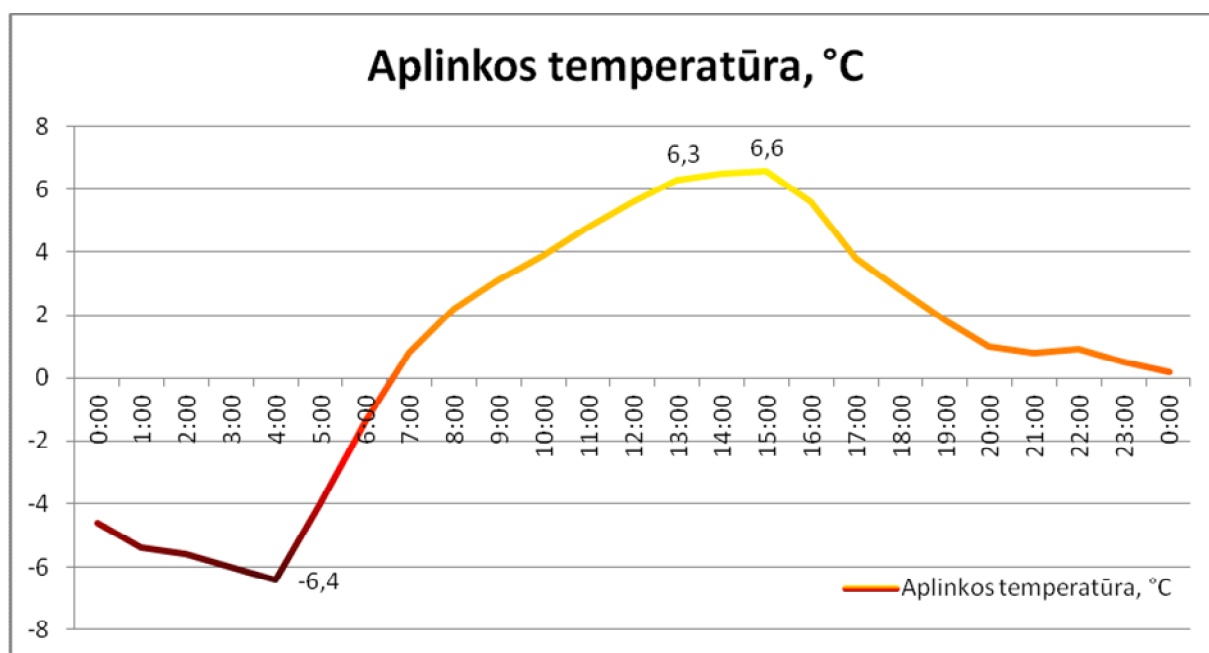
2012.07.27, vidutinė saulės spindulinė energija ir aplinkos temperatūra laiko intervale 13:05–15:05 –  $1101 \text{ W/m}^2$ ,  $28,83 \text{ } ^\circ\text{C}$ . „Euro Gym“ saulės kolektorių sistema sugeneravo 46,71 kWh šiluminės energijos. Sistemos naudingumo koeficientas šioje situacijoje:  $\eta = 0,5569$ . Sistemos siurblys vidutiniškai veikė 88,4% pajėgumu, šilumnešio vidutinis debitas 805 l/h. Kraunama akumuliacinė talpa nr. 2 ir nr. 3. Svarbu paminėti, jog „Euro Gym“ saulės kolektorių sistema nematuoja paduodamo karšto vandens iš akumuliacinių talpų vartojimui kiekio. „Euro Gym“ saulės kolektorių sistemos energijos apskaitos skaitiklio duomenimis, faktinis saulės energijos kiekis, panaudotas vandeniui šildyti laiko intervale 13:05–15:05 yra  $Q_{s2f} = 35,76 \text{ kWh}$ , tai yra 76,56% absorbuotos energijos buvo panaudota vandens šildymui. Svarbu paminėti, kad yra galimos jutiklių paklaidos, dėl artimų temperatūrų reikšmių tarp šilumnešio saulės kolektoriuje ir įtekančio

šilumnešio į akumuliacinių talpų šilumokaičius, kadangi duomenys yra fiksuojami 5 minučių intervale.

### 3.3 Situacija Nr. 3 – intensyviausia saulės spinduliuotė 2012 metais

2012.04.09 užfiksuota intensyviausia saulės spinduliuotė 2012 metais. Skaičiuojant kolektoriaus naudingumo koeficientą vidutinę saulės spindulinę energiją imsime laiko intervale kai saulės spinduliuojama energija buvo dienos maksimume, nebuvo debesų ir kritulių. Vidutinė saulės spindulinė energija laiko intervale 12:55–13:55 –  $1325 \text{ W/m}^2$ , vidutinė aplinkos temperatūra pasirinktame laiko intervale –  $6,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Šildoma akumuliacinė talpa nr. 3, talpoje esančio vandens temperatūra prieš pradėdant šildymą –  $21,4 \text{ }^\circ\text{C}$

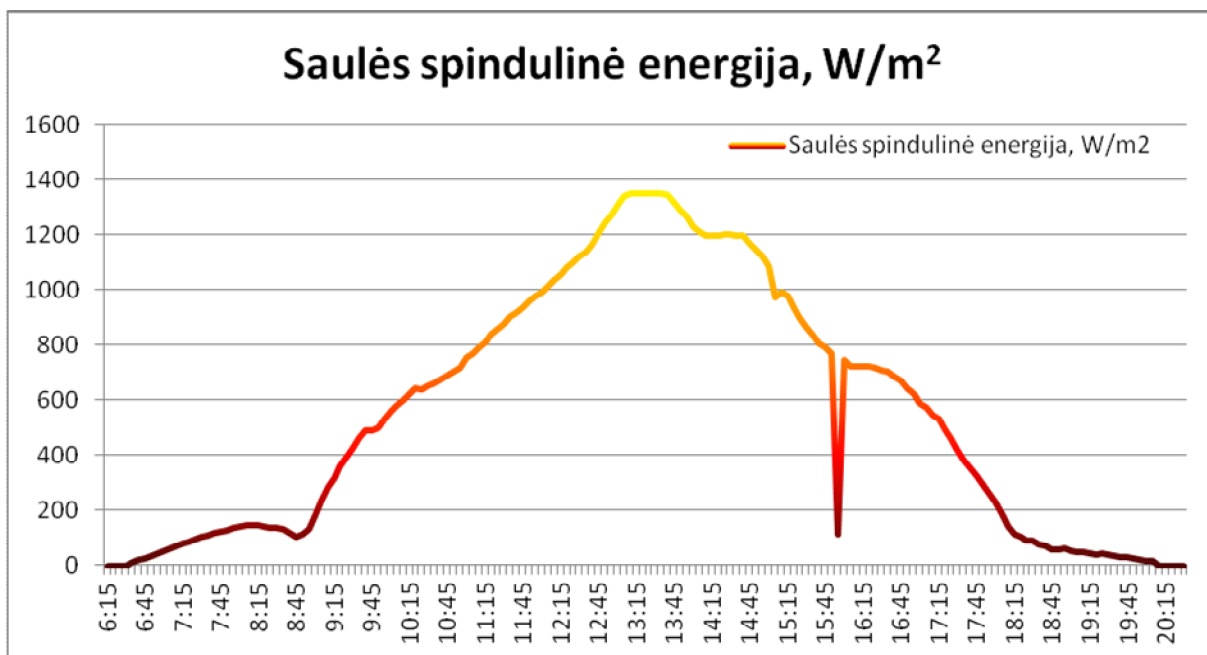
Paveiksle nr. 2.18 pavaizduota 2012.04.09 paros aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00.



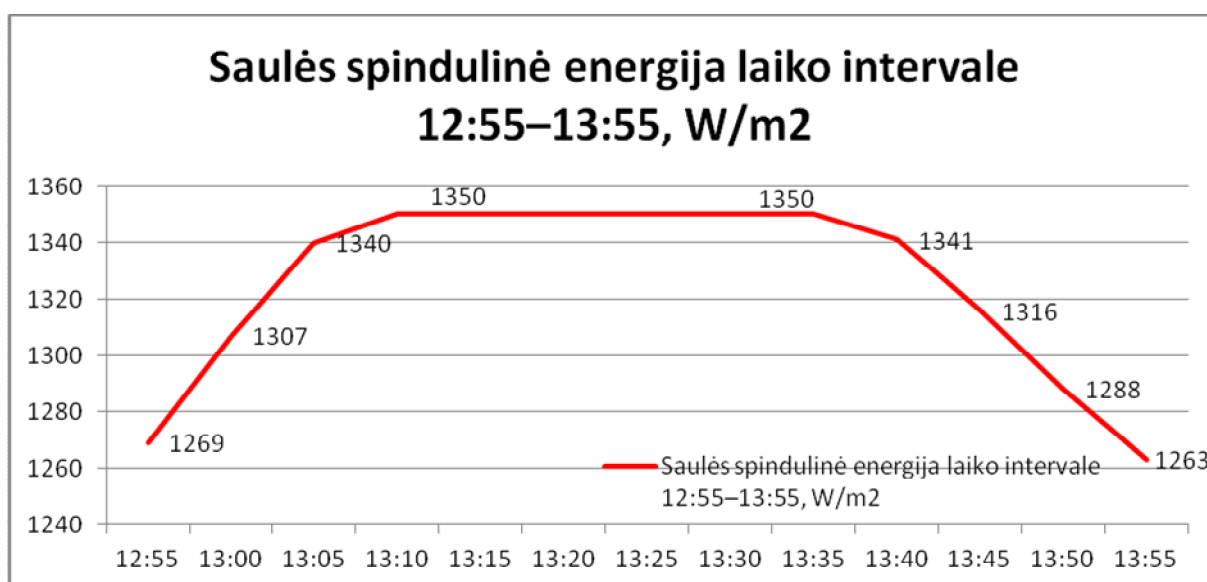
2.18 pav. 2012.04.09 aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00

Paveiksluose nr. 2.19 ir nr. 2.20 pavaizduota saulės spindulinė energija laiko intervaluose 7:10–20:30 ir 12:55–13:55.



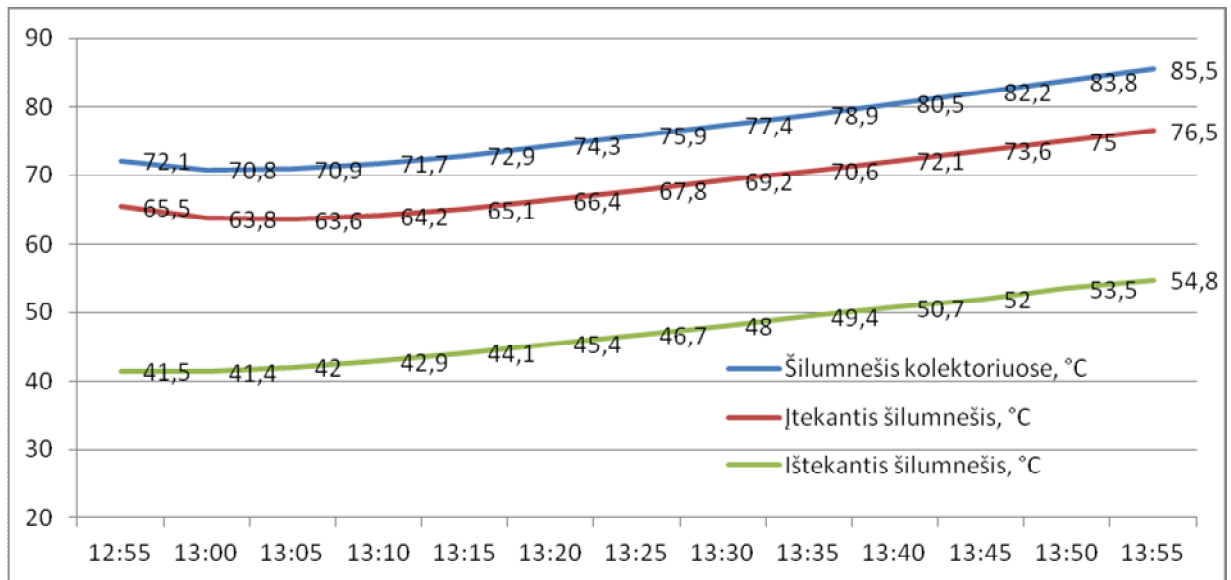


**2.19 pav.** 2012.04.09 saulės spindulinė energija laiko intervale 6:15–20:30



**2.20 pav.** 2012.04.09 saulės spindulinė energija laiko intervale 12:55–13:55

Paveiksle nr. 2.21 pavaizduotos įtekančio į kolektorius, ištekančio iš kolektorių ir kolektoriuose esančio šilumnešio temperatūros laiko intervale 12:55–13:55.



**2.21 pav.** 2012.04.09 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 12:55–13:55

Iš paveikslo 2.21 galima teigti, jog šilumnešio temperatūros skirtinguose saulės kolektorių sistemos taškuose esant beveik tolygiai saulės apšvietai (paveikslas nr. 2.20), nenaudojant šildomo vandens talpose ir šildant tik vieną talpą yra tolygiai priklausomos viena nuo kitos ir tolygiai didėjančios. Lyginant situaciją nr. 1, nr. 2 ir nr. 3, galima daryti išvadą, jog šiluminiai nuostoliai vamzdžiuose, magistralėje tarp saulės kolektorių mazgo ir akumuliacinių talpų, priklauso nuo šilumnešio temperatūros ir aplinkos temperatūros (kuo didesnė šilumnešio temperatūra, tuo didesni nuostoliai į aplinką).

Apskaičiuosime saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 12:55–13:55, kai:

$$T_a = 6,4 \text{ } ^\circ\text{C}; G_k = 1325 \text{ W/m}^2; T_1 = 68,723 \text{ } ^\circ\text{C}; T_2 = 47,108 \text{ } ^\circ\text{C}; \eta_0 = 0,573; a_1 = 0,40 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$a_2 = 0,0061 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

Apskaičiuojame vidutinę šilumnešio temperatūrą  $T_m$ :

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2 ;$$

$$T_m = 57,916 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Apskaičiuojame redukuotą temperatūrų skirtumą  $x$ :

$$x = (T_m - T_a) / G_k ;$$

$$x = 0,03888.$$

Apskaičiuojame saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 12:55–13:55:

$$\eta = \eta_0 - a_1x - a_2x^2;$$

$$\eta = 0,5574$$

Apskaičiavus saulės kolektoriaus efektyvumą, galima paskaičiuoti sistemos sugeneruotą energijos kiekį laiko intervale 12:55–13:55:

$$P_{s3} = S_{sis} \cdot G_k; \quad (5)$$

$$Q_{s3} = P_{s1} \cdot t \cdot \eta; \quad (6)$$

$$P_{s3} = 50,47 \text{ kW};$$

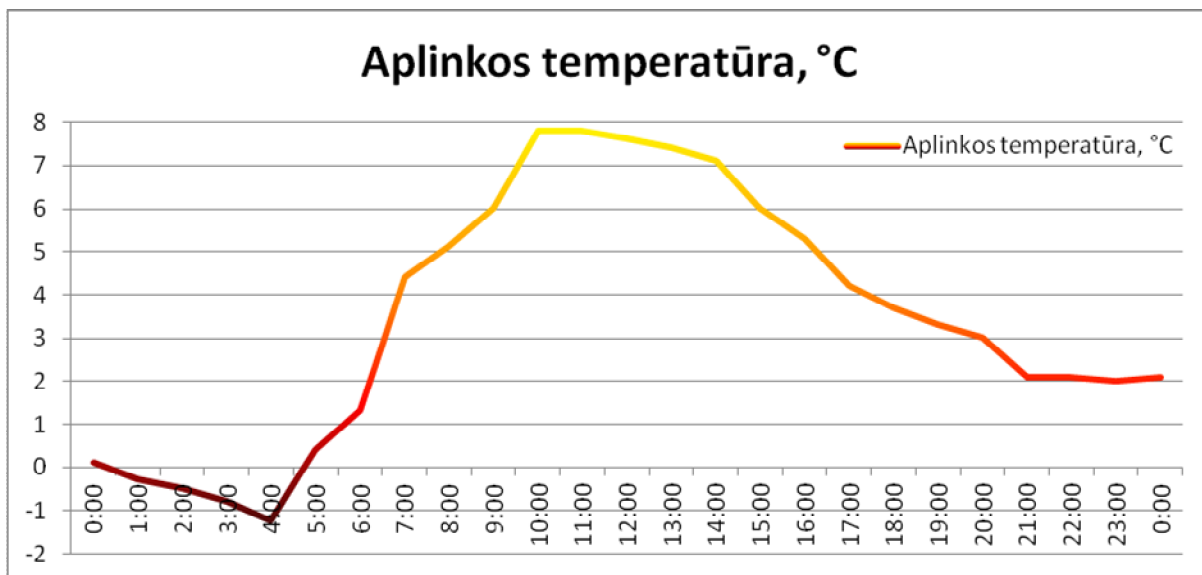
$$Q_{s3} = 28,13 \text{ kWh}.$$

2012.04.09, vidutinė saulės spindulinė energija ir aplinkos temperatūra laiko intervale 12:55–13:55 – 1325 W/m<sup>2</sup>, 6,4 °C. „Euro Gym“ saulės kolektorių sistema sugeneravo 28,13 kWh šiluminės energijos. Sistemos naudingumo koeficientas šioje situacijoje:  $\eta = 0,5574$ . Sistemos siurblys veikė 100% pajėgumu, šilumnešio vidutinis debitas 903 l/h. Kraunama akumuliacinė talpa nr. 3. Saulės kolektorių sistemos energijos apskaitos skaitiklio duomenimis, naudingas (faktinis) saulės energijos kiekis, panaudotas vandeniui šildyti laiko intervale 12:55–13:55 yra  $Q_{sf} = 20,62$  kWh, tai yra 73% absorbuotos energijos buvo panaudota vandens šildymui. Lyginant situacijų nr.2 ir nr.3 faktinį sugeneruotą šilumos kiekį ir saulės spindulinę energiją, galima daryti išvadą, jog didelę įtaką sistemos bendram efektyvumui daro saulės spindulinė energija.

### 3.4 Situacija Nr. 4 – debesuota 2012 metų diena

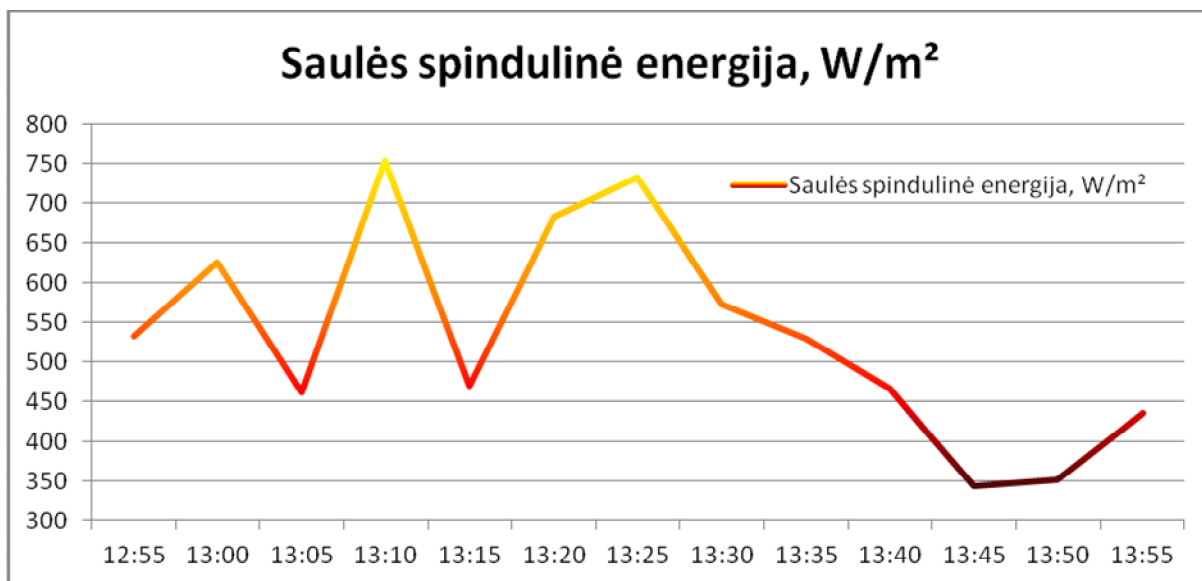
2012.04.07, debesuota 2012 metų diena. Skaičiuojant kolektoriaus naudingumo koeficientą vidutinę saulės spindulinę energiją imsime laiko intervale identiškam situacijai nr. 3. Vidutinė saulės spindulinė energija laiko intervale 12:55–13:55 – 536 W/m<sup>2</sup>, vidutinė aplinkos temperatūra pasirinktame laiko intervale – 7,4 °C. Šildoma akumuliacinė talpa nr. 1, talpoje esančio vandens temperatūra prieš pradėdant šildymą – 13,8 °C.

Paveiksle nr. 2.22 pavaizduota 2012.04.07 paros aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00.



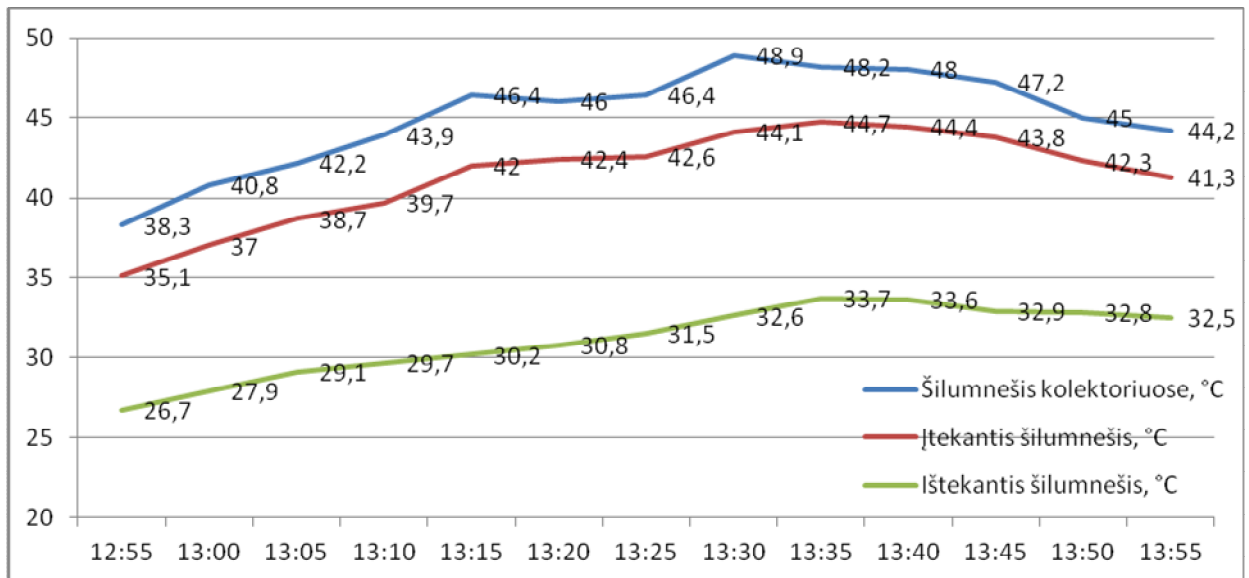
**2.22 pav.** 2012.04.07 aplinkos temperatūra laiko intervale 0:00–24:00

Paveiksle nr. 2.23 pavaizduota saulės spindulinė energija laiko intervale 12:55–13:55.



**2.23 pav.** 2012.04.07 saulės spindulinė energija laiko intervale 12:55–13:55

Paveiksle nr. 2.24 pavaizduotos įtekančio į kolektorius, ištekančio iš kolektorių ir kolektoriuose esančio šilumnešio temperatūros laiko intervale 12:55–13:55.



**2.24 pav.** 2012.04.07 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 12:55–13:55

Iš paveikslo 2.24 galima teigti, jog šilumnešio temperatūros skirtinguose saulės kolektorių sistemos taškuose esant nevienodai saulės apšvietai (paveikslas nr. 2.23), nenaudojant šildomo vandens talpose ir šildant tik vieną talpą yra tolygiai priklausomos viena nuo kitos. Lyginant situaciją nr. 3 ir nr. 4, galima daryti išvadą, kad šiluminiai nuostoliai vamzdžiuose, magistralėje tarp saulės kolektorių mazgo ir akumuliacinių talpų, priklauso nuo šilumnešio temperatūros (kuo didesnė šilumnešio temperatūra, tuo didesni nuostoliai į aplinką).

Apskaičiuosime saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 12:55–13:55, kai:  
 $T_a = 7,4 \text{ °C}$ ;  $G_k = 536 \text{ W/m}^2$ ;  $T_1 = 41,392 \text{ °C}$ ;  $T_2 = 31,077 \text{ °C}$ ;  $\eta_0 = 0,573$ ;  $a_1 = 0,40 \text{ W/m}^2\text{C}$   
 $a_2 = 0,0061 \text{ W/m}^2\text{C}$

Apskaičiuojame vidutinę šilumnešio temperatūrą  $T_m$ :

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2 ;$$

$$T_m = 36,2345 \text{ °C}.$$

Apskaičiuojame redukuotą temperatūrų skirtumą  $x$ :

$$x = (T_m - T_a) / G_k ;$$

$$x = 0,053796.$$

Apskaičiuojame saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 12:55–13:55:

$$\eta = \eta_0 - a_1x - a_2x^2;$$

$$\eta = 0,5515$$

Apskaičiavus saulės kolektoriaus efektyvumą, galima paskaičiuoti sistemos sugeneruotą energijos kiekį laiko intervale 12:55–13:55:

$$P_{s4} = S_{sis} \cdot G_k; \quad (5)$$

$$Q_{s4} = P_{s1} \cdot t \cdot \eta; \quad (6)$$

$$P_{s4} = 20,42 \text{ kW};$$

$$Q_{s4} = 11,26 \text{ kWh}.$$

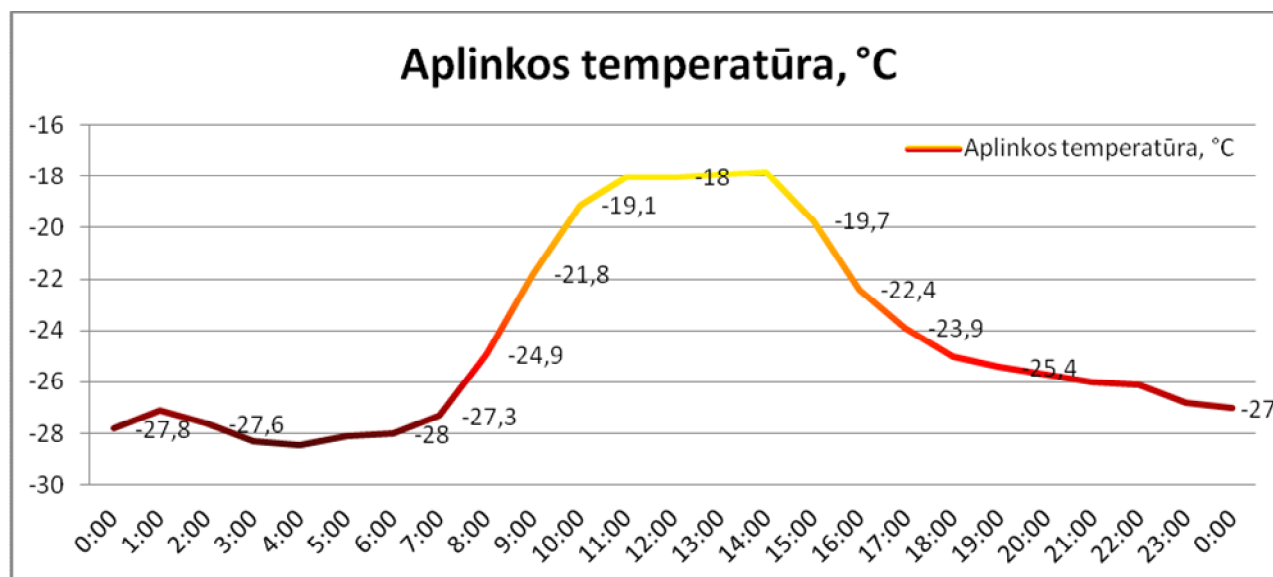
2012.04.07, vidutinė saulės spindulinė energija ir aplinkos temperatūra laiko intervale 12:55–13:55 –  $536 \text{ W/m}^2$ ,  $7,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Saulės kolektorių sistema sugeneravo  $11,26 \text{ kWh}$  šiluminės energijos. Sistemos naudingumo koeficientas šioje situacijoje:  $\eta = 0,5515$ . Sistemos siurblys veikė  $100\%$  pajėgumu, šilumnešio vidutinis debitas  $925 \text{ l/h}$ . Kraunama akumuliacinė talpa nr. 1. Saulės kolektorių sistemos energijos apskaitos skaitiklio duomenimis, faktinis saulės energijos kiekis, panaudotas vandeniui šildyti laiko intervale 13:05–15:05 yra  $Q_{s4f} = 9,92 \text{ kWh}$ , tai yra  $88\%$  absorbuotos energijos buvo panaudota vandens šildymui. Lyginant situacijų nr.3 ir nr.4 faktinį sugeneruotą šilumos kiekį procentais, galima daryti išvadą, kad esant aukštomis šilumnešio temperatūroms didžiausi šiluminiai nuostoliai yra vamzdžiuose tarp saulės kolektorių mazgo ir akumuliacinių talpų, o debesuotumas vakuuminių saulės kolektorių darbo našumo neįtakoja, kolektoriai gauna mažiau saulės energijos, ko sekoje faktinis sugeneruotos energijos kiekis yra mažesnis, tačiau nuostoliai per vamzdžius į aplinką yra mažesni. Sistema dirbdama žemesnėmis temperatūromis dirba efektyviau.

### 3.5 Situacija Nr. 5 – šalta 2012 metų diena

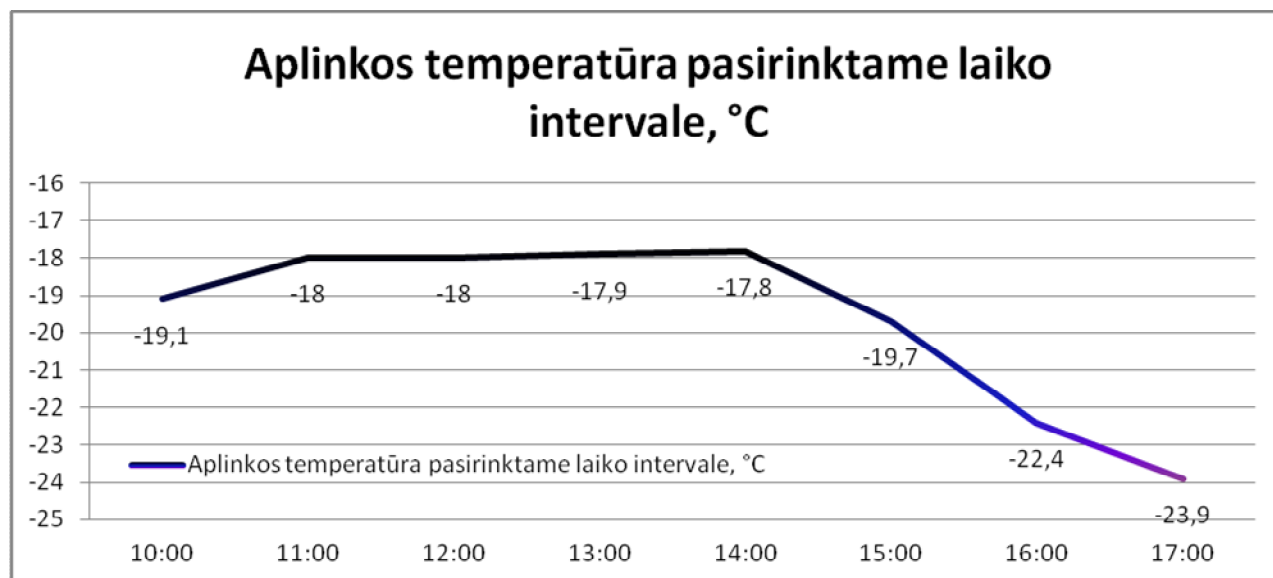
2012.02.05 užfiksuota viena iš šalčiausių ir giedriausių 2012 metų dienų, kai kolektoriai nebuvo apsnigti. Vidutinė saulės spindulinė energija šią dieną –  $462 \text{ W/m}^2$ , vidutinė aplinkos paros temperatūra –  $-24 \text{ }^\circ\text{C}$ . Skaičiuojant kolektoriaus naudingumo koeficientą vidutinę saulės spindulinę energiją imsime laiko intervale kai saulės spinduliuojama energija buvo dienos maksimume, nebuvo debesų ir kritulių. Vidutinė saulės spindulinė energija pasirinktame laiko intervale 11:10–16:10 –  $687 \text{ W/m}^2$ , vidutinė aplinkos temperatūra pasirinktame laiko intervale –  $-19 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sistemos

siurblys veikē 85% pajēgumu, šilumnešio vidutinis debitas – 825 l/h (pasirinktame intervale).  
Šildoma akumuliacinē talpa nr. 1.

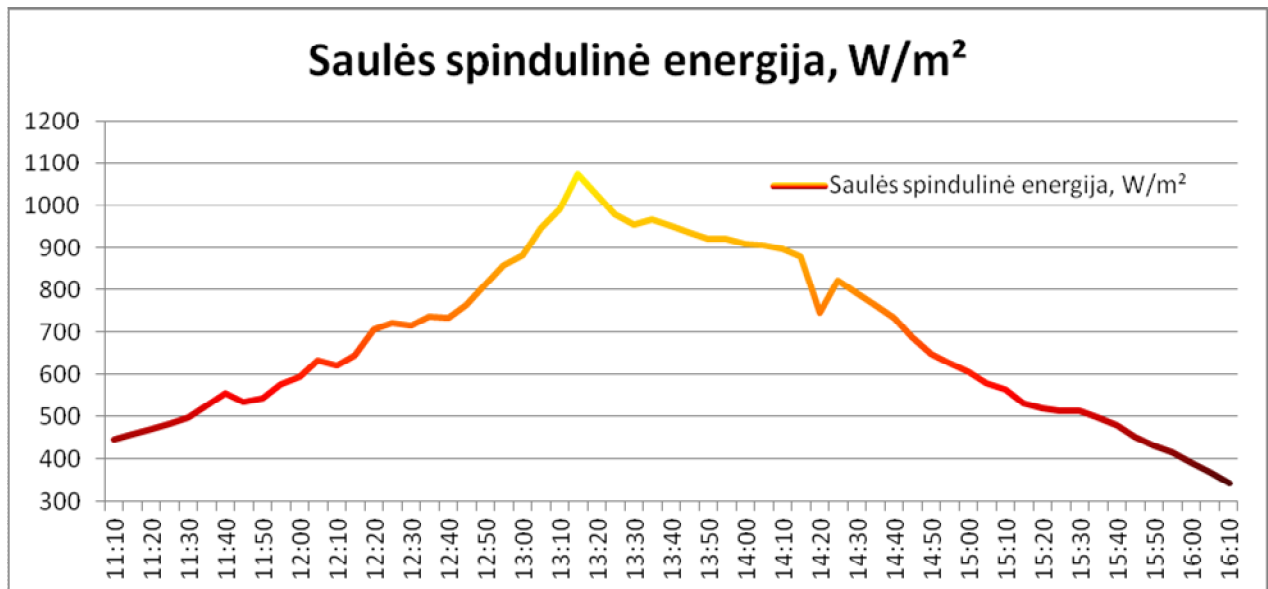
Paveiksle nr. 2.25 pavaizduota 2012.02.05 paros aplinkos temperatūra. Paveiksle nr. 2.26 pavaizduota aplinkos temperatūra pasirinktame laiko intervale (10:00–17:00). Paveiksle nr. 2.27 pavaizduota saulēs spindulinē energija laiko intervale 11:10–16.10.



**2.25 pav.** 2012.02.05 paros aplinkos temperatūra



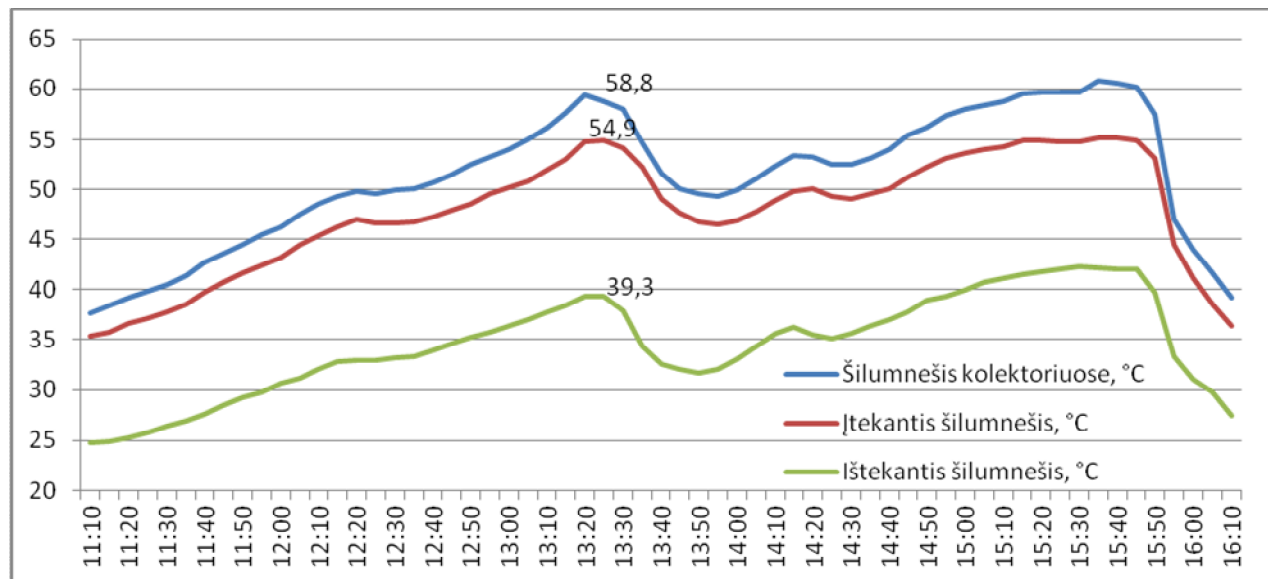
**2.26 pav.** 2012.02.05 aplinkos temperatūra laiko intervale 10:00–17:00



**2.27 pav.** 2012.02.05 saulės spindulinė energija laiko intervale 11:10–16:10

Paveikslų 2.25, 2.26 ir 2.27 duomenimis, galima teigti, kad diena buvo giedra, bet šalta.

Paveiksle nr. 2.28 pavaizduotos 2012.02.05 įtekančio į kolektorius, ištekančio iš kolektorių ir kolektoriuose esančio šilumnešio temperatūros laiko intervale 11:10–16:10.



**2.28 pav.** 2012.02.05 šilumnešio temperatūros saulės kolektoriuose laiko intervale 11:10–16:10

Iš paveikslo 2.28 duomenų galima teigti, kad šilumnešio temperatūros skirtinguose saulės kolektorių sistemos taškuose yra priklausomos viena nuo kitos. Šilumnešio temperatūrų staigūs sumažėjimai rodo, kad tuo metu buvo naudojamas karštas vanduo, todėl temperatūrų mainai pagreitėjo, o šilumnešis atvėso. Lyginant su paveiksliu nr. 2.14 (situacija nr.1), kai saulės kolektoriai buvo apsnigti, galima daryti išvadą, kad kolektoriai padengti sniego sluoksniu yra neefektyvus, o



sniegas per neilgą laiko tarpą (1-5 valandas) nespėja nutirpti. Vakuuminių saulės kolektorių su paraboliniu veidrodžiu techninė priežiūra (sniego valymas) žiemos metu yra būtina, norint kad sistemą funkcionuotų.

Apskaičiuosime saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 11:10–16:10, kai:

$$T_a = -19 \text{ }^\circ\text{C}; G_k = 687 \text{ W/m}^2; T_1 = 47,8 \text{ }^\circ\text{C}; T_2 = 34,6 \text{ }^\circ\text{C}; \eta_o = 0,573; a_1 = 0,40 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$a_2 = 0,0061 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Apskaičiuojame vidutinę šilumnešio temperatūrą  $T_m$ :

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2 ;$$

$$T_m = 41,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Apskaičiuojame redukuotą temperatūrų skirtumą  $x$ :

$$x = (T_m - T_a) / G_k ;$$

$$x = 0,08763.$$

Apskaičiuojame saulės kolektorių naudingumo koeficientą laiko intervale 11:10–16:10:

$$\eta = \eta_o - a_1x - a_2x^2;$$

$$\eta = 0,5379.$$

Apskaičiavus saulės kolektoriaus efektyvumą, galima paskaičiuoti sistemos sugeneruotą energijos kiekį laiko intervale 11:10–16:10:

$$P_{s5} = S_{sis} \cdot G_k; \quad (5)$$

$$Q_{s5} = P_{s1} \cdot t \cdot \eta; \quad (6)$$

$$P_{s5} = 26,17 \text{ kW};$$

$$Q_{s5} = 70,37 \text{ kWh}.$$

2012.02.05, „Euro Gym“ saulės kolektorių sistema per 5 valandas sugeneravo 70,37 kWh šiluminės energijos. Sistemos naudingumo koeficientas šioje situacijoje:  $\eta = 0,5379$ . Saulės kolektorių sistemos energijos apskaitos skaitiklio duomenimis, faktinis saulės energijos kiekis panaudotas vandens šildymui laiko intervale 11:10–16:10 yra  $Q_{sf} = 56,47 \text{ kWh}$ , tai yra 80,23% absorbuotos energijos buvo panaudota vandens šildymui. Palyginus situacijų nr. 4 ir nr. 5 analizuotus duomenis, galima daryti išvadą, kad 26 °C skirtumas tarp aplinkos temperatūrų tiesiogiai įtakoja sistemos efektyvumą.

Lentelėje nr. 2.4 pateikta „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos stebėtų situacijų tyrimo suvestinė:

**2.4. lentelė** „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos stebėtų situacijų tyrimo suvestinė

Situacijos Nr.	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
<b>Laiko intervalas (stebėjimo trukmė, h), t</b>	2	2	1	1	5
<b><math>Q_s</math>, sistemos sugeneruota šiluminė energija, kWh</b>	25,07	46,71	28,13	11,26	70,37
<b><math>Q_{sf}</math>, faktinė sistemos sugeneruota šiluminė energija, kWh</b>	1,46	35,76	20,62	9,92	56,47
<b>Patirti nuostoliai (<math>Q_s</math> ir <math>Q_{sf}</math> procentinis skirtumas), %</b>	94	23	27	12	20
<b><math>G_k</math>, saulės spindulinė energija, W/m<sup>2</sup></b>	773	1101	1325	536	687
<b><math>T_a</math>, vidutinė aplinkos temperatūra, C°</b>	-17	29	6	7	-19
<b><math>T_k</math>, vidutinė šilumnešio saulės kolektoriuje temperatūra, C°</b>	17	85	77	45	51
<b><math>T_1</math>, vidutinė įtekančio šilumnešio temperatūra, C°</b>	13	84	69	41	48
<b><math>T_2</math>, vidutinė ištekančio šilumnešio temperatūra, C°</b>	9	63	47	31	35
<b><math>\eta</math>, kolektoriaus naudingumo koeficientas</b>	0,4257	0,5569	0,5574	0,5515	0,5379
<b><math>\eta_f</math>, faktinis kolektoriaus naudingumo koeficientas</b>	0,0248	0,4264	0,4086	0,4858	0,4316
<b><math>P_s</math>, sistemos galia parinktame laiko intervale, kW</b>	29,44	41,93	50,47	20,42	26,17

### 3.6 „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos efektyvumas 2012 metais

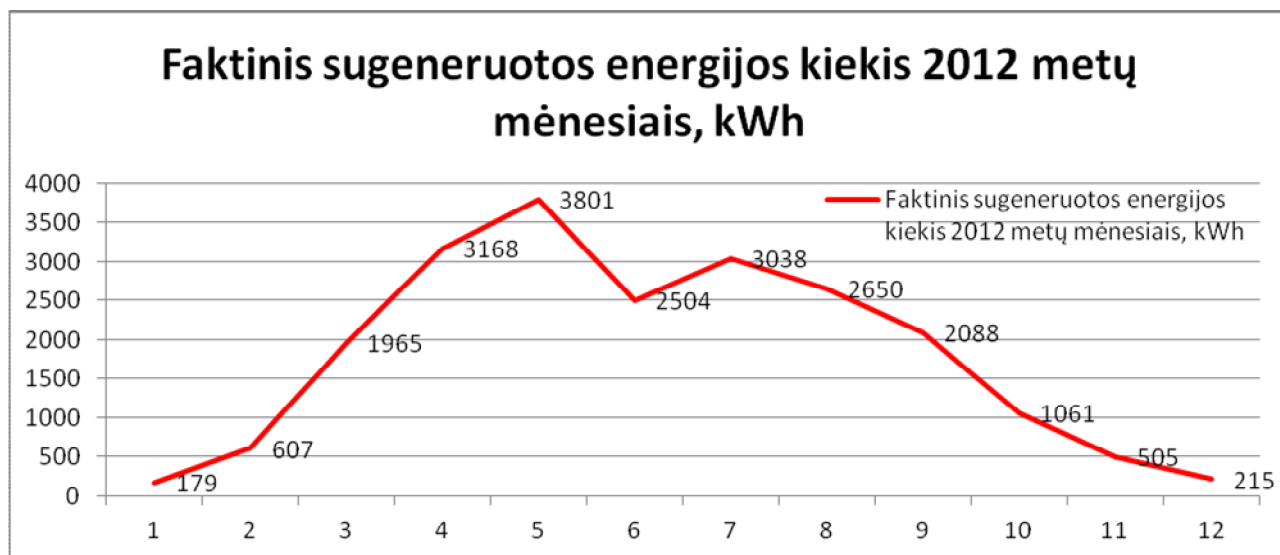
Lentelėje nr. 2.5 pateikta „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos efektyvumo tyrimo eigoje analizuotų 2012 metų duomenų suvestinė:

**2.5 lentelė** „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos efektyvumo tyrimo eigoje analizuotų 2012 metų duomenų suvestinė

Mėnuo	Panaudota šiluminė energija iš šiluminių tinklų, kWh	Saulės kolektorių sistemos sugeneruota šiluminė energija, kWh	Bendras energijos kiekis, kWh	Karšto vandens suvartojimas, m <sup>3</sup>	Išskaičiuotas energijos kiekis reikalingas karštam vandeniui ruošti, kWh	Sporto klubo "Euro Gym" šiluminės energijos nuostoliai, kWh	Sporto klubo "Euro Gym" šiluminės energijos nuostoliai, %
<i>Sausis (patalpų šildymas)</i>	17535	179	17714	61	4249	---	---
<i>Vasaris (patalpų šildymas)</i>	24707	607	25314	57	3971	---	---
<i>Kovas (patalpų šildymas)</i>	14225	1965	16190	66	4598	---	---
<i>Balandis (dalinis patalpų šildymas)</i>	5754	3168	8922	57	3971	---	---
<i>Gegužė</i>	241	3801	4042	50	3483	559	14
<i>Birželis</i>	574	2504	3078	38	2647	431	14
<i>Liepa</i>	341	3038	3379	42	2926	453	13
<i>Rugpjūtis</i>	584	2650	3234	40	2786	448	14
<i>Rugsėjis</i>	642	2088	2730	34	2368	362	13
<i>Spalis (patalpų šildymas)</i>	6446	1061	7507	41	2856	---	---
<i>Lapkritis (patalpų šildymas)</i>	10447	505	10952	36	2508	---	---
<i>Gruodis (patalpų šildymas)</i>	18877	215	19092	32	2229	---	---
<b>viso:</b>	<b>100373</b>	<b>21781</b>	<b>122154</b>	<b>554</b>	<b>38592</b>	<b>2252</b>	

Suvartotas energijos kiekis išskaičiuotas darant prielaidą, kad vandens temperatūrą reikėjo pakelti 60 C°. Iš lentelės nr. 2.5 pateiktų duomenų, galima teigti, kad sporto klubo „Euro Gym“ bendra karšto vandens ruošimo ir padavimo sistema vidutiniškai netenka 14% šiluminės energijos vandentiekio vamzdynuose. Šaltu metų laiku, negalime įvertinti nuostolių vandentiekio vamzdynuose, todėl kad nėra žinoma kiek šiluminės energijos yra sunaudojama patalpų šildymui.

Pasinaudojus lentelės nr. 2.5 duomenimis, įvertinamas saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos faktinis sugeneruotos energijos kiekis 2012 metų mėnesiais. Rezultatas pavaizduotas paveiksle nr. 2.29.



**2.29 pav.** „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos faktinis sugeneruotos energijos kiekis 2012 metų mėnesiais

Pagal paveikslo 2.29 duomenis, išskirstytas procentinis faktinis sugeneruotos energijos kiekis 2012 metų sezonais. Rezultatai pateikti lentelėje nr. 2.6.

**2.6 lentelė** „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens pašildymo sistemos faktinis sugeneruotos energijos kiekis 2012 metų sezonais

Mėnuo	Sezonas	Šiluminė energija, kWh	Šiluminė energija, %
Gruodis	Žiemos sezonas	1001	4,60%
Sausis			
Vasaris			
Kovas	Pavasario sezonas	8934	41%
Balandis			
Gegužė			
Birželis	Vasaros sezonas	8192	37,60%
Liepa			
Rugpjūtis			
Rugsėjis	Rudens sezonas	3654	16,80%
Spalis			
Lapkritis			

Lentelės nr. 2.6 duomenys patvirtina, kad vakuuminių saulės kolektorių efektyvumas mažai priklauso nuo aplinkos temperatūros, todėl kad vasaros sezonu dienos vidutinė aplinkos temperatūra

aukštesnė už pavasario sezono vidutinę aplinkos temperatūrą. Saulės kolektorių efektyvumas priklauso nuo saulės spindulinės energijos intensyvumo ir šiluminių nuostolių vamzdynuose.

Lentelėje nr. 2.7 pateikti „Euro Gym“ sporto klubo šiluminės energijos poreikio karštam vandeniui ruošti tenkinimas saulės kolektorių generuojama energija. Duomenys pateikti neatsižvelgiant į energijos nuostolius patiriamus vandentiekio vamzdynuose.

**2.7 lentelė.** „Euro Gym“ sporto klubo šiluminės energijos poreikio karštam vandeniui ruošti tenkinimas saulės kolektorių generuojama energija

<b>Mėnuo</b>	<b>Šiluminės energijos poreikis, kWh</b>	<b>Sugeneruotas energijos kiekis, kWh</b>	<b>Poreikio tenkinimas, %</b>
Sausis	4249	179	4,21
Vasaris	3971	607	15,29
Kovas	4598	1965	42,74
Balandis	3971	3168	79,79
Gegužė	3483	3801	109,13
Birželis	2647	2504	94,59
Liepa	2926	3038	103,84
Rugpjūtis	2786	2650	95,10
Rugsėjis	2368	2088	88,16
Spalis	2856	1061	37,15
Lapkritis	2508	505	20,14
Gruodis	2229	215	9,65
<b>Viso:</b>	<b>38592</b>	<b>21781</b>	<b>56,44</b>

Pagal lentelės 2.7 duomenis, „Euro Gym“ sporto klubas daugiau nei puse reikalingos energijos vandens šildymui gauna iš saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos. Gegužės, birželio, liepos ir rugpjūčio mėnesiais yra tikimybė, kad nebus išnaudota visa saulės kolektorių tiekiamą energiją, tuomet, „Euro Gym“ situacijoje, tektų nuleidinėti dalį karšto vandens į kanalizaciją, kol neatsirastų karšto vandens vartojimas. Tokia situacija 2012 metais įvyko keturis kartus.

Panaudojus priede nr. 4 pateiktus duomenis ir tyrimo gautus rezultatus sudaryta lentelė nr. 2.8 – įrangos gamintojo prognozuojamas saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos generuojamas energijos kiekis ir faktinis sugeneruotas energijos kiekis 2012 metais.

**2.8 lentelė.** Įrangos gamintojo prognozuojamas saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos generuojamas energijos kiekis ir faktinis sugeneruotas energijos kiekis 2012 metais.

<b>Mėnuo</b>	<b>Prognozuotas šiluminės energijos kiekis, kWh</b>	<b>Faktinis šiluminės energijos kiekis, kWh</b>	<b>Prognozės tenkinimas, %</b>
<b>Sausis</b>	836	179	21
<b>Vasaris</b>	1144	607	53
<b>Kovas</b>	1525	1965	129
<b>Balandis</b>	1966	3168	161
<b>Gegužė</b>	2479	3801	153
<b>Birželis</b>	2210	2504	113
<b>Liepa</b>	2294	3038	132
<b>Rugpjūtis</b>	2243	2650	118
<b>Rugsėjis</b>	1713	2088	122
<b>Spalis</b>	1245	1061	85
<b>Lapkritis</b>	850	505	59
<b>Gruodis</b>	629	215	34
<b>VISO:</b>	<b>19134</b>	<b>21781</b>	<b>114</b>

Apibendrinant tyrimo rezultatus, galima teigti, kad „Euro Gym“ saulės kolektorinė vandens šildymo sistema dirbo efektyviau nei buvo prognozuojama. Svarbu paminėti, kad gamintojas prognozuodamas generuojamos energijos kiekį, pateikė pesimistinius rezultatus. Pateikti duomenys lentelėje 2.8 ir tyrimo metu (situacija nr. 1) atskleisti rezultatai įrodo, kad šaltuoju metų laiku, dėl netinkamai eksploatuojamų saulės kolektorių (nebuvo valomas sniegas nuo kolektorių absorbuojamojo paviršiaus) buvo prarasta apie 2200 kWh šiluminės energijos.

Iš duomenų pateiktų lentelėje nr. 2.4, galima teigti, kad saulės kolektorių efektyvumas beveik ( $\eta$  svyruoja 0,02) nepriklauso nuo aplinkos temperatūros, tačiau nuo aplinkos temperatūros priklauso šiluminiai nuostoliai vamzdynuose tarp saulės kolektorių ir akumuliacinių talpų, kas įtakoja saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos faktinį efektyvumą. Sistemos faktinį darbo našumą įtakoja įtekančio ir ištekančio šilumnešio temperatūrų skirtumai, geriausi rezultatai gauti, kai temperatūrų skirtumas apie 10 C° (Situacija nr. 4).

#### 4 „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos ekonominis atsiperkamumas

Kadangi saulės kolektorinė vandens šildymo sistemos „Euro Gym saulės kolektorius“ kainos neleista skelbti viešai, ekonominiam atsiperkamumui skaičiuoti naudosime vidutinę tokios sistemos rinkos kainą.

Visi įrengimai, montavimo ir derinimo darbai reikalingi įrengti tokią sistemą, Lietuvoje šiuo metu kainuoja apie 85.000 litų be pridėtinės vertės mokesčio. Viso tokia sistema kainuoja – 102.850 litų.

Atsiperkamumą skaičiuosime pagal 2012 metų analizuotus „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos darbo rezultatus. Lentelėje nr. 2.9 pateikti duomenys, reikalingi ekonominiui atsiperkamumui paskaičiuoti. Svarbu paminėti, kad šiluminės kilovatvalandės kainos [28] pateiktos lentelėje nr. 2.9 yra taikytinos juridiniams asmenims.

**2.9 lentelė.** Saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos ekonominis atsiperkamumas

Mėnuo	Saulės kolektorių sistemos sugeneruota šiluminė energija, kWh	Karšto vandens suvartojimas, m <sup>3</sup>	KOLEKTORIŲ SISTEMA paruošė karšto vandens /litais per mėn./Be PVM	Šiaulių Energijos kaina (kwh/ ct.) be PVM
<i>Sausis (patalpų šildymas)</i>	179	61	48,37	0,2702
<i>Vasaris (patalpų šildymas)</i>	607	57	164,98	0,2718
<i>Kovas (patalpų šildymas)</i>	1965	66	538,21	0,2739
<i>Balandis (dalinis patalpų šildymas)</i>	3168	57	857,89	0,2708
<i>Gegužė</i>	3801	50	1052,88	0,277
<i>Birželis</i>	2504	38	703,87	0,2811
<i>Liepa</i>	3038	42	890,74	0,2932
<i>Rugpjūtis</i>	2650	40	772,48	0,2915
<i>Rugsėjis</i>	2088	34	614,92	0,2945
<i>Spalis (patalpų šildymas)</i>	1061	41	260,69	0,2457
<i>Lapkritis (patalpų šildymas)</i>	505	36	121,40	0,2404
<i>Gruodis (patalpų šildymas)</i>	215	32	51,58	0,2399
<b>VISO:</b>	<b>21781</b>	<b>554</b>	<b>6078,01</b>	

Iš duomenų pateiktų lentelėje nr. 2.9 paskaičiuotas saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos atsiperkamumas:

Investicija: 102850 Lt (Su PVM). Saulės kolektorinė vandens šildymo sistema per metus pagamina šiluminės energijos už: 7354,39 Lt (su PVM). Nevertinant, kad šiluminės energijos kaina ateityje gali kisti, saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos ekonominis atsiperkamumas yra 14 metų.

Šiai dienai tokios saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos atsiperkamumas yra ganėtinai ilgas. Fiziniams asmenims, įsirenginėjant mažesnes saulės kolektorines vandens šildymo sistemas kasdieniniams buitiniams poreikiams tenkinti, reikėtų rinktis pigesnę įrangą arba plokščiuosius saulės kolektorius. Dėl skirtingų kainų tarifų taikomų fiziniams asmenims ir parinktos pigesnės įrangos atsiperkamumas sutrumpėtu iki 5 – 7 metų.



## IŠVADOS

Naudojant saulės kolektorius karšto vandens ruošimui, vidutiniškai per metus galima sumažinti iki 50 proc. susijusių ir patiriamų išlaidų. Nors žiemą Lietuvoje paruošti didesnę karšto vandens kiekį dėl geografinės šalies padėties yra sudėtinga, tačiau vasarą karšto vandens aprūpinimas naudojant saulės kolektorių sistemą gali būti šimtaprocentinis. Taip pat Lietuvoje sutinkama realių pavyzdžių, kuomet saulės kolektorių paskirtis yra ne tik karšto vandens šildymas, bet ir patalpų šildymas. Vandens šildymas saulės kolektorių sistemos pagrindu yra efektyvus alternatyviųjų išteklių panaudojimas.

Vadovaujantis viso tyrimo pagrindu pateikiamos šios išvados:

1. „Euro Gym“ vakuuminių saulės kolektorių sistema tiekia 56% reikalingo šiluminės energijos kiekio (per metus) karšto vandens ruošimui;
2. Iširtos saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos faktinis efektyvumas (naudingumas) yra  $\eta_f = 0,4381$ ;
3. Didžiausia dalis šiluminės energijos yra prarandama dėl šiluminių nuostolių vamzdžiuose, šilumnešio magistralėje tarp saulės kolektorių ir akumuliacinių talpų;
4. „Euro Gym“ vakuuminių saulės kolektorių sistema dirba efektyviausiai, kai įtekančio ir ištekančio (į/iš akumuliacinių talpų šilumokaičio) šilumnešio temperatūrų skirtumas yra intervale  $9\text{ C}^\circ - 13\text{ C}^\circ$ ;
5. Pagrindinis faktorius įtakojantis vakuuminių saulės kolektorių našumą yra saulės spindulinė energija;
6. Šilumnešio temperatūros skirtinguose saulės kolektorių sistemos taškuose esant beveik tolygiai saulės apšvietai, nenaudojant šildomo vandens talpose ir šildant tik vieną talpą yra tolygiai didėjančios ir priklausomos viena nuo kitos;
7. Kuo didesnė šilumnešio temperatūra, tuo didesni nuostoliai į aplinką per šilumnešio vamzdinę;
8. Dėl vakuuminių kolektorių šiluminės izoliacijos, šiluminei nuostoliai pačiuose kolektoriuose praktiškai neturi įtakos sistemos našumui ( $\eta$  svyruoja 0,02);
9. Ekonominis „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos atsiperkamumas yra 14 metų.

## REKOMENDACIJOS

Vadovaujantis atliktu tyrimu ir surinktų duomenų analize, sporto klubo „Euro Gym“ administracijai pateikiamos šios rekomendacijos:

1. Būtina gerinti šilumnešio vamzdyno šiluminę izoliaciją. Apšildyti vamzdyną papildomai, arba keisti esamą izoliaciją, todėl kad, beveik visi šilumnešio kontūro šiluminiai nuostoliai atsiranda šilumnešio vamzdyne tarp kolektorių kontūro ir akumuliacinių talpų.
2. Vakuuminių saulės kolektorių su paraboliniu veidrodžiu techninė priežiūra (sniego valymas) žiemos sezono laikotarpiu. Dėl parabolinių veidrodžių ir minusinės aplinkos temperatūros saulė per trumpą laiką (1-2 valandos, kadangi šaltu metų periodu intensyvesnė saulės spinduliuotė (daugiau kaip  $500 \text{ W/m}^2$ ) sklinda trumpais laiko intervalais) neištirpdo susikaupusio sniego ant kolektorių ir jų tarpuose.
3. Papildomai įrengti 500 litrų akumuliacinę talpą, kad išvengti perteklinio vandens nuleidinėjimo į kanalizaciją pavasario ir vasaros sezonais.
4. Gerinti visų „Euro Gym“ vandentiekio vamzdynų izoliacijas, todėl kad net 14% visos sunaudojamos šiluminės energijos (iš šiluminių tinklų ir saulės kolektorių sistemos) šiltu metų laiku išekvojama šiluminiams nuostoliams vandentiekio vamzdynuose.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Ambrulevičius, R. Saulės kolektorių sistemų eksploatavimo ypatumai. Žemės ūkio inžinerija: LŽŪU ŽŪII ir LŽŪU mokslo darbai, 2005, t. 37(4), – 54–69 p.
2. Rutkauskas G. Automatizuoto saulės kolektoriaus vandeniui šildyti tyrimo rezultatai. Pranešimų santraukos. Lietuvos žemės ūkio mechanizacijos institutas. Raudondvaris: Milga, 1995. – 26 p.
3. Kavolėlis B. Savos gamybos saulės kolektoriai vandeniui šildyti. VĮ “Energetikos agentūra”. Raudondvaris: Milga, 1996. – 35 p.
4. Horn J. Meeting Highlights – Solar Domestic Hot Water Systems. Northern California SUN. 1990. Vol. 4, N 16. – 8-9 p.
5. Nacionalinė Energetikos strategija. (2002.10.10, Nr. IX-1130). Valstybės žinios, 2002, Nr. 99-4397.
6. V. Adomavičius, P. Balčiūnas. Mažosios atsinaujinančiųjų šaltinių elektrinės. Kaunas: Technologija, 2003. – 112p.
7. V. Adomavičius, P. Balčiūnas, Ždankus N. Atsinaujančių šaltinių panaudojimas sodyboms aprūpinti elektros energija. Kaunas: Technologija, 2000. – 176p.
8. Duffe A.D., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. NY, Wiley, 1991 – 919 p.
9. Genutis A., Navickas K., Rutkauskas G., Šateikis I. Atsinaujančios ir alternatyviosios energijos naudojimas šilumos gamybai. Kaunas: Technologija, 2003. -112p.
10. Wiessmann солнечные системы. Инструкция по проектированию. Аллендорф: Wiessmann Werke GmbH & Co., 2005. – 80 p.
11. Nacionalinė energijos vartojimo efektyvumo didinimo programa. (2001 10 26, Nr. 319). Lietuvos Respublikos Ūkio ministerija. Vilnius, 2001.
12. Rutkauskas G. Pasyvioji šildymo saulės energija sistema. Lietuvos Žemės ūkio universiteto mokslo darbai. Inžinerija. Kaunas: Akademija, 1999.- Nr.4. – P.54-61.
13. Wisniewski G. Kolektory słoneczne. Warszawa: COIB, 1992. –142 p.
14. R. Ambrulevičius. Saulės kolektorių sistema kaimo turizmo sodybai. Šilumos energetika ir technologijos. Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2005. – 258-262 p.
15. Ambrulevičius R. Vakuuminių saulės kolektorių efektyvumas pereinamuoju kalendoriniu laikotarpiu ISSN 1392-1134, LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai 2006, 38 (4), – 41–51 p.
16. I. Šateikis, S. Lynikienė. Namų šildymo, kompleksiškai naudojant saulės ir vėjo energiją, galimybių tyrimas. Šilumos energetika ir technologijos. Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2005. – 254-258p.

17. Коллекторсолнечноговакуума. Каталог. Жары: Chroma, 2005. – 28 p.
18. Šuksteris V. Kiveris R. Saulės energijos panaudojimo galimybės Lietuvoje. Vilnius. VĮ “Energetikos agentūra”, 1996. – 33p.
19. I. Šateikis, A. Genutis. Saulės kolektoriai. Raudondvaris: Milga, 1999. – 38 p.
20. Clean energy project analysis: Retscreen® engineering & cases textbook. Clean Energy Decision Support Centre. ISBN: 0-622-35674-8. 2004. – 5–29 p.
21. Lunde P. J. Solar thermal Engineering. Space heating and hot water systems. N.Y.: John Wiley & Sons, 1980. – 900 p.
22. Frei, U. Kollektoren in Solartermischen Systemen. Trisolar, SPF, 1998, 20 p.
23. ДаафиДж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1997. – 420 p.
24. Rutkauskas G. Vandens bei pastatų šildymas saulės energija. XI pasaulio lietuvių mokslo ir kūrybos simpoziumas. Tezių rinkinys. Vilnius: Lietuvos mokslininkų sąjunga, 2000.- 201p.
25. Šateikis I. Vėjo jėgainių ir saulės kolektorių naudojimo techninės ir ekonominės problemos. Mokslas ir technika. 2002. Nr.7-8. – 23-25p.
26. Šateikis I., Rutkauskas G. Saulės kolektoriai vandeniui šildyti. Vietinių energijos šaltinių naudojimas. Kaunas: Technologija, 2001. – 102p.
27. Saulės kolektorių ploto ir vandens šildytumo parinkimas. Interaktyvi prieiga. Žiūrėta [2013-06-02] <<http://www.elmitra.lt/straipsniai/saules-kolektoriu-ploto-ir-vandens-sildytumo-parinkimas.84/>>.
28. Šilumos energijos ir karšto vandens kaina. Interaktyvi prieiga. Žiūrėta [2013-06-02] <<http://www.senergija.lt/Kaina/Silumos-energijos-ir-karsto-vandens-kaina>>.

# PRIEDAI

## Priedas nr. 1. Plakatas aiškinantis tiesioginio pratekėjimo saulės kolektorių veikimo principą „U-pype“ tipo vakuuminis SAULĖS KOLEKTORIUS

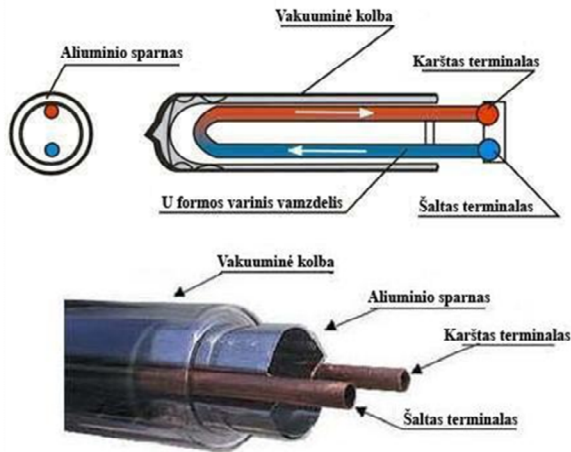


ŠIAULIŲ  
UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS  
FAKULTETAS

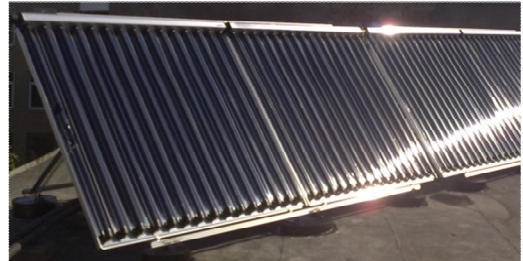
Gustavas Meška

Šiaulių universiteto Elektros inžinerijos katedra

Saulės kolektorius - tai saulės energiją naudojantis vandens šildytuvas pritaikomas karšto vandens tiekimui, patalpų ir baseinų šildymui.



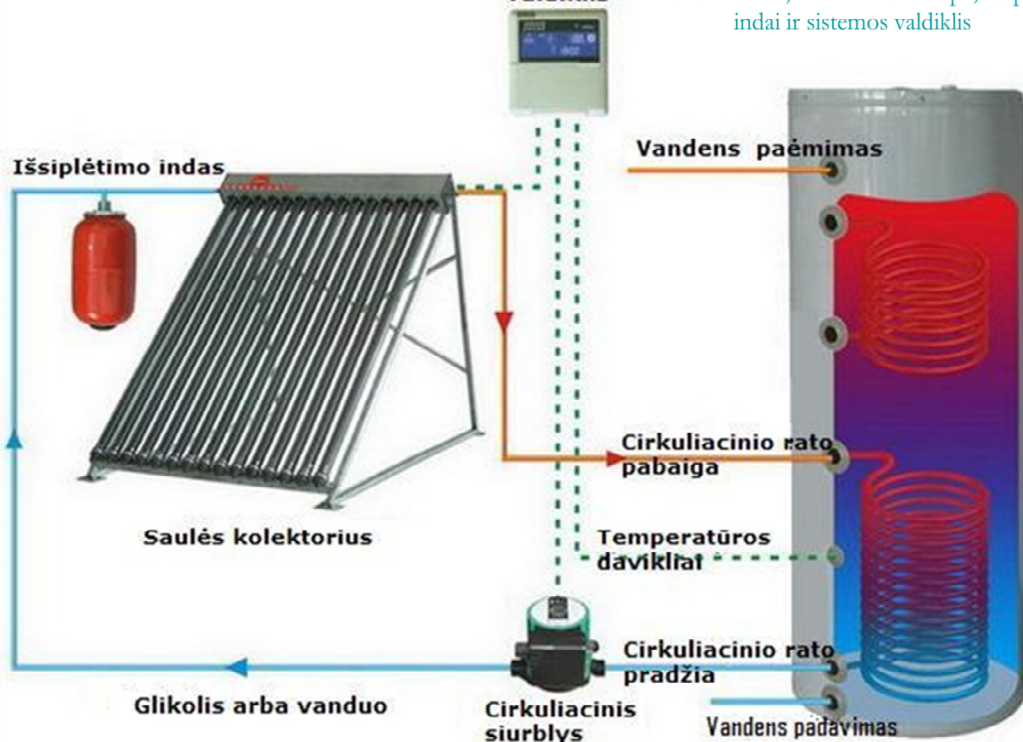
U-pype technologijos vakuuminis saulės kolektorius



Šilumnešis teka „U“ formos variniu vamzdeliu per visą kolektorių abzorbuodamas šilumą. Toliau nuteka į akumuliacinę talpą, kurioje tekėdamas gyvatuku atiduoda sukauptą šiluminę energiją talpoje esančiam vandeniui. Vakuuminiai u-pipe tipo saulės kolektoriai yra ypač efektyvūs šaltame klimate. Jų eksploatacijos laikas yra 25 metai. Tinkamai suprojektuota ir įrengta saulės kolektorinė šildymo sistema sugeneruos iki 60% metinio šiluminės energijos kiekio reikalingo vandens šildymui.

Pagrindinės sistemos komponentės:

Saulės kolektoriai, akumuliacinė talpa, išsiplėtimo indai ir sistemos valdiklis



Saulės kolektorinės šildymo sistemos veikimo principinė schema

Institut für Solarenergieforschung GmbH  
Hameln / Emmerthal



Am Ohrberg 1 · D-31860 Emmerthal

**Prüfzentrum für solarthermische  
Komponenten und Systeme**

**1. Zusammenfassung der Prüfergebnisse**

*Summary of the Results*

Firma: Company:	<b>Watt S.A.</b> ul. Watta 6 41-208 Sosnowiec Poland	Prüfbericht-Nr.: Report no.:	24-12/KD
Typ: Type:	<b>Watt CPC 15</b>	Prüfbericht-Datum: Report date:	28.02.2012
		Herstell-Nr.: Serial no.:	CPC 1500011679
		Herstell-Jahr: Year of production:	2007

Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse wurden bei einer **Prüfung der Wärmeleistung** von Sonnenkollektoren **nach DIN EN 12975-2:2006** ermittelt. Sie gelten für den im Prüfbericht Nr. 24-12/KD näher beschriebenen Kollektor sowie die dort beschriebenen Prüfungen und Prüfabläufe.

*The following results were obtained from a test of the thermal performance of a solar collector according to DIN EN 12975-2:2006. They apply to the collector, the tests and procedures described more precisely in the test report no. 24-12/KD.*

Technische Daten des Prüfkollektors <i>Description of the collector</i>			
Bauart Type	CPC-Vakuumröhrenkollektor evacuated tubular collector with CPC	Aperturfläche Aperture area	3.174 m <sup>2</sup>
Zeichnung-Nr. Drawing no.	CPC 1500-00-00	Absorberfläche Absorber area	2.990 m <sup>2</sup>
Länge / Breite / Höhe Length/Width/Height	1930 / 1837 / 124 mm	Bruttofläche Gross area	3.544 m <sup>2</sup>
zul. Betriebsdruck Max. operation pressure	10 bar	empf. Massenstrom Recommended flow rate	18-50 kg/m <sup>2</sup> h
Leergewicht Weight, empty	51 kg	D <sub>a</sub> der Röhren outer diameter of tubes	47 mm
zul. Wärmeträger Heat transfer fluid	Tyfacor LS		

Prüfergebnisse <i>Test results</i>			
<b>Koeffizienten der Wirkungsgradkurve</b> (ermittelt im Freien unter stationären Bedingungen) <i>Coefficients of efficiency</i> (determined outside under steady state conditions)			
$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot (t_m - t_a) / G - a_2 \cdot (t_m - t_a)^2 / G$	Bezug: Based on:	Apertur aperture area	Absorber absorber area
	$\eta_0 =$	0.573	0.608
	$a_1 =$	0.40 W/m <sup>2</sup> K	0.43 W/m <sup>2</sup> K
	$a_2 =$	0.0061 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	0.0064 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>

Einstrahlwinkelkorrekturfaktoren (ermittelt im Freien) <i>Incident angle modifier (determined outdoor)</i>							
proj. Einstrahlwinkel $\theta$ proj. angle of incidence $\theta$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$K_{\theta b, trans}(\theta_{trans})$	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.07	1.21
$K_{\theta b, long}(\theta_{long})$	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.93
$K_{\theta d} =$	0.831						

Ausgangsleistung pro Kollektormodul, W <i>Power output per collector unit, W</i>		Bestrahlungsstärke <i>Irradiance</i>		
$T_m - T_a$		400 W/m <sup>2</sup>	700 W/m <sup>2</sup>	1000 W/m <sup>2</sup>
10 K	713 W	1258 W	1804 W	
30 K	672 W	1217 W	1763 W	
50 K	616 W	1161 W	1707 W	

Institut für Solarenergieforschung GmbH, Hameln / Emmerthal; Am Ohrberg 1; 31860 Emmerthal

Firma: Company:	Watt S.A.	Seite: Page:	5 von 24 of
Typ: Type:	Watt CPC 15	Prüfbericht-Nr.: Report No.:	24-12/KD
Herstell-Nr.: Serial No.:	CPC 1500011679	Prüfbericht-Datum: Report Date:	28.02.2012

<b>Spitzenleistung pro Kollektormodul</b> <i>Peak power output per collector unit</i>	<b>1819 W<sub>peak</sub></b>	<b>bei G = 1000 W/m<sup>2</sup> und t<sub>m</sub>-t<sub>a</sub> = 0 K</b> <i>at and</i>
<b>Druckabfall</b> (Wasser, 20 °C) <i>Pressure drop (water, 20 °C)</i>	$\Delta p = 8 \text{ mbar}$	bei $\dot{m} = 130 \text{ kg/h}$ <i>at</i>
	$\Delta p = 20 \text{ mbar}$	bei $\dot{m} = 250 \text{ kg/h}$ <i>at</i>
<b>Wärmekapazität</b> (berechnet) <i>Thermal capacity (calculated)</i>	$c = 13.3 \text{ kJ/(m}^2\text{K)}$	$C = 42.0 \text{ kJ/K}$
<b>Stillstandstemperatur</b> <i>Stagnation temperature</i>	$t_{\text{stg}} = 304 \text{ °C}$	bei $G_S = 1000 \text{ W/m}^2$ und $t_{\text{as}} = 30 \text{ °C}$ <i>at and</i>

Emmerthal, 28.02.2012

i. A.



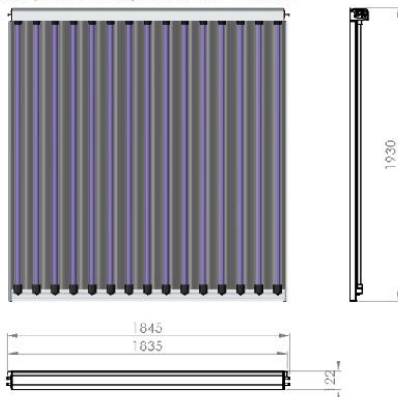
Dipl.-Ing. C. Lampe,  
Leiter der Prüfstelle EN  
*Head of Test Centre EN*



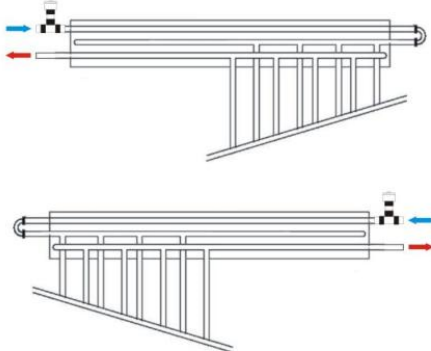
## Priedas nr. 3. WATT CPC 15 techniniai parametrai



### Główne wymiary i budowa Main dimensions and design / Hauptabmessungen und das Gehäuse



### Schemat hydrauliczny Hydraulic diagram / Schaltplan Hydraulik



### Dane techniczne Specifications / Technische daten

### WATT CPC 15, WATT CPC 15L

<b>szer./wys./głęb.</b> width/length/depth Breite/Länge/Dicke	1837/1930/122mm
<b>rury przepływowe</b> flow pipes / Durchflussrohre	1xØ15x1x1842mm 2xØ15x1x1802mm 15xØ6x0,5x3560mm
<b>masa kolektora pustego</b> mase of empty collectors / Gewicht des Leeren Kollektors	51 kg
<b>objętość cieczy w kolektorze</b> cubic capacity of liquid in collector / Flüssigkeitsinhalt	1,77 l.
<b>liczba rur szklanych</b> number of glass tubes / Anzahl der Glasrohre	15
<b>powierzchnia brutto kolektora</b> gross surface of collector / Bruttofläche	3,544 m <sup>2</sup>
<b>powierzchnia czynna</b> active surface / Effektive Absorberfläche	3,174 m <sup>2</sup>
<b>króćce przyłączeniowe</b> connector pipes / Anschlussgröße	15 mm
<b>współczynnik sprawności <math>\eta_0</math></b> coefficient factor / Konversionsfaktor	0,573 *
<b>maksymalne ciśnienie robocze</b> maximum working pressure / Max. Betriebsdruck	1 Mpa
<b>strumień przepływu czynnika przez kolektor</b> agent flux through collector / Empfohlene Durchflussmenge	1,5 l./min
<b>współczynnik utraty ciepła a1</b> heat loss coefficient a1 / Wärmedurchgangskoeffizient a1	0,40 W / (m <sup>2</sup> K)
<b>Zależność temperatury utraty ciepła, a2</b> Temperature depece of the heat loss coefficient a2/ Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient a2	0,0061 W / (m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )
<b>maksymalna temperatura stagnacji</b> maximum stagnation temperature / Stagnationstemperatur	304°C
<b>izolacja – próżnia i wełna mineralna</b> insulation – vacuum, mineral wool / isolation – vacuum, Mineral Wolle	
<b>rura próżniowa</b> vacuum tube / Vakuumrohr	Boro siliakat 3.3 47/37/1,6/1800 mm
<b>Aluminiowe Lustro CPC</b> Aluminium CPC mirror / Aluminium CPC Spiegel	wysoko refleksyjne high reflex / hochdruck reflex
<b>Obudowa</b> housing / Gehäuse	Aluminiowa / aluminium *test report U5-U5/LJ

### Uwaga / Attention / Achtung:

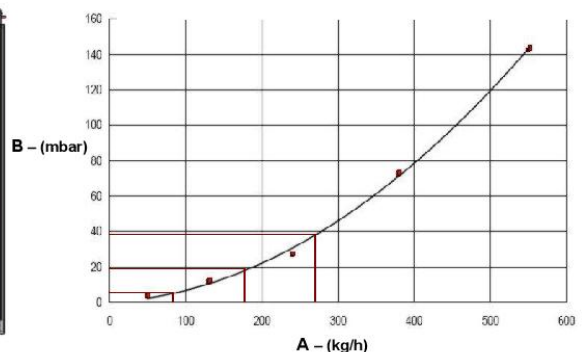
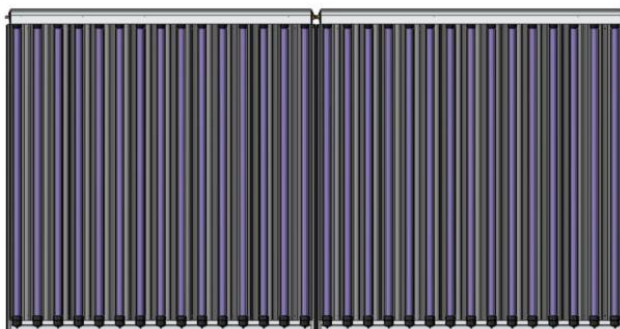
**Maksymalnie można podłączyć 3 kolektorów w jednej sekcji.**

Up to 3 collectors can be connected in one section (row) /

Maximal können 3 Kollektoren in einer Sektion (Reihe) angeschlossen werden



### Wykres strat ciśnienia Pressure loss chart / Diagramm Druckverlust



A – przepływ masowy / mass flow / Massendurchfluss  
B – spadek ciśnienia / pressure drop / Druckabsenkung

WATT Sp. z o.o., ul. Watta 6, 41-208 Sosnowiec, POLSKA / POLAND  
tel.: +48 32 287 66 80, +48 32 236 20 80, fax: +48 32 287 66 84  
e-mail: [info@watt.pl](mailto:info@watt.pl), [www.watt.pl](http://www.watt.pl)

[www.kolektory.pl](http://www.kolektory.pl)

**Priedas nr. 4.** Įrangos gamintojo prognozuojamas „Euro Gym“ saulės kolektorinės vandens šildymo sistemos generuojamos energijos kiekis



**Obliczenia cieplne**

**Podstawowe parametry instalacji solarnej**

Pochylenie kolektorów [°]	55
Odchylenie od południa [°]	0
Temperatura wody w zasobniku [° C]	50
Wsp. wielkości zasobnika do dziennego zużycia C.W.U.	1
Cyrkulacja	Tak
Czas pracy [h]	21
Liczba osób	20
Temperatura ciepłej wody [° C]	45
Dzienne zużycie ciepłej wody [l]	120
Izolacja przewodów	Tak
Współczynnik przenikania ciepła [W/mK]	0.042
Grubość izolacji [mm]	32
Liczba kolektorów	12
Powierzchnia kolektorów [m2]	38.09

**Ciepła woda**

Suma energii na C.W.U.	19134	[kWh/rok]
Zapotrzebowanie	40055	[kWh/rok]
Pokrycie C.W.U. (rok)	50.24	[%]

**Basen**

Energia na basen	0	[kWh/rok]
Zapotrzebowanie	0	[kWh/rok]
Pokrycie	0	[%]

**Wspomaganie CO**

Suma energii na CO	0	[kWh/rok]
Zapotrzebowanie	0	[kWh/rok]
Pokrycie	0	[%]

**Zysk energetyczny wartości miesięczne**

Miesiąc	Nasłonecznienie [kWh/m2/rok]	Sprawność kolektorów [%]	Sprawność instalacji [%]	Straty instalacji [kWh]	Energia na CWU [kWh]	Pokrycie CWU [%]	Energia na basen [kWh]	Energia na CO [kWh]	Suma energii solarnej [kWh]
Styczeń	19	52.459	44.267	154.76	836.22	26.348	0	0	836.22
Luty	38	51.261	45.067	6.8348	1144	36.046	0	0	1144
Marzec	79	49.574	44.772	157.22	1525.5	48.067	0	0	1525.5
Kwiecień	116	48.962	45.103	9.2937	1965.7	61.936	0	0	1965.7
Maj	167	48.184	45.026	163.65	2479.2	78.116	0	0	2479.2
Czerwiec	165	47.088	43.65	15.72	2210	69.633	0	0	2210
Lipiec	163	47.779	44.423	168.18	2294	72.281	0	0	2294
Sierpień	137	48.312	44.915	20.257	2242.5	70.656	0	0	2242.5
Wrzesień	85	49.279	44.961	173.9	1712.7	53.964	0	0	1712.7
Październik	46	50.915	45.125	25.975	1244.6	39.215	0	0	1244.6
Listopad	22	51.944	43.866	174.06	850.48	26.797	0	0	850.48
Grudzień	13	52.524	42.202	26.138	629.37	19.83	0	0	629.37
Rok	1050	49.857	44.448	1096	19134	50.241	0	0	19134

**Wykresy**

