

Saulės skaičiavimai Radviliškio centralizuoto šilumos tiekimo įmonei



PlanEnergi

LinnLaurbergJensen
PlanEnergi
E-mail: llj@planenergi.dk
Tel.: + 45 9682 0450

Kokybės užtikrinta
DanielTrier
E-mail: dt@planenergi.dk
Tel.: +45 2517 0400

2014 m.

NORTH JUTLAND
Jyllandsgade 1
DK-9520 Skørping
Tel. +45 9682 0400
Fax +45 9839 2498

MIDDLE JUTLAND
Vestergade 48 H, 2. floor
DK-8000 Aarhus C
Tel. +45 9682 0400
Fax +45 8613 6306

ZEALAND
Postaladdress:
A.C. MeyersVaenge 15
2450 København SV
Visitorsaddress:
Frederikskaj 10 A, 1st fl, 1.143
2450 Copenhagen SV
Tel.: +45 2224 2562

www.planenergi.dk
planenergi@planenergi.dk
CVR: 7403 8212

Turinys

1 Projektas.....	4
2 Prielaidos	4
2.1 Metodas	4
2.2 Saulės spinduliuotė ir klimatiniai duomenys.....	4
2.3 Radviliškio duomenys.....	5
2.4 Šilumos poreikis	5
2.5 Investicijos	6
3 Techninės centralizuoto saulės šildymo charakteristikos	6
3.1 Saulės kolektoriai	6
3.2 Saugykla.....	7
3.3 Saulės centralizuoto šilumos tiekimo sistema	8
3.4 Saulės spinduliuotė	8
4 Skaičiavimai	10
5 Energetiniai rezultatai	10
5.1 Šilumos gamyba	10
5.2 Kuro vartojimas	11
5.3 Saulės kolektorių veikimas	11
6 Ekonominiai rezultatai.....	13
6.1 Biudžetas	13
6.2 Įmonės ekonomika	14
6.3 Jautrumo analizė	16
7 Išvados.....	19

Lentelės ir paveikslų sąrašas

1 lentelė: Katilų lentelė	5
2 lentelė: Temperatūros CŠT tinkle	5
3 lentelė: Investiciniai kaštai	6
1 pav.: Principinė centralizuoto šilumos tiekimo jėgainės schema	8
2 pav.: Saulės spinduliuotė Lietuvoje (Tiesioginė normalinė spinduliuotė), kWh/m ² (http://solargis.info/).....	9
3 pav.: Saulės spinduliuotė Europoje (Tiesioginė normalinė spinduliuotė), kWh/m ² (http://solargis.info/).....	9
4 lentelė: Šilumos gamyba.....	10
5 lentelė: Metinis biokuro ir gamtinių dujų suvartojimas	11
4 pav.: Saulės kolektorių veikimas ir saulės dalis.	12
5 pav.: Mėnesinė gamyba iš saulės kolektorių.	12
6 lentelė: Investicijų biudžetas	13
7 lentelė: Vidutiniai metiniai kaštai, reali palūkanų norma 3%, atsipirkimo laikotarpis 30 metų	15
8 lentelė: Jautrumo analizė: reali palūkanų norma 3% per 30 metų su prielaida apie padidėjusią biokuro kainą	16
6 pav.: Vidutinė šilumos kaina skaičiavimams su padidinta biokuro kaina.	17
9 lentelė: Jautrumo analizė: investicijų sumažinimas 10%.....	17
7 pav.: Vidutinė šilumos kaina skaičiavimams, kai investicijų kaštai 10% mažesni.	18

1 Projektas

Šių skaičiavimų paskirtis yra pateikti analizę, ar šilumos gamyba, naudojant saulės kolektorius yra ekonomiškai centralizuoto šilumos tiekimo įmonei Radviliškyje – ar prie kokių sąlygų saulės šildymas galėtų būti ekonomiškai. Šilumos gamybai baziniame režime naudojamas kietasis biokuras (medienos skiedra), kuris šiuo metu leidžia gana pigiai gaminti šilumą.

2 Prielaidos

2.1 Metodas

Skaičiavimai katilinės eksploatacijai atliekami naudojant programą EnergyPRO. EnergyPRO yra modelis, naudojamas įvairių tipų energetinių sistemų analizei valandiniu pagrindu. Modelio strategija yra minimizuoti grynąsias gamybos sąnaudas. Taigi, modelis imituoja sistemos darbą kas valandą, gaminant pigiausią šilumos vienetą.

Programos EnergyPRO duomenys yra gaunami iš Excel lapo, ir naudojami tolimesniam apdorojimui bei ekonominiams skaičiavimams.

Valandinės laiko duomenų serijos su lauko temperatūra ir saulės spinduliuote Radviliškyje gautos iš NCAR (National Center for Atmospheric Research) duomenų ir naudojamos EnergyPRO.

2.2 Saulės spinduliuotė ir klimatiniai duomenys

Programoje EnergyPRO galima generuoti duomenis internete arba iš NCAR, arba iš CFSR. NCAR (National Center for Atmospheric Research) peranalizuoja projekto pateiktus klimatinis duomenis ir pateikia juo keturis kartus per parą į pasaulinį tinklą nuo 1948 metų iki dabar. Skaičiavimuose naudojami duomenys yra gauti iš CFSR. CFSR yra Climate Forecast System Reanalysis santrumpa. Kaip ir NCAR, CFSR remiasi pasauliniais duomenų šaltiniais, tokiais kaip antžeminės oro stotys, oro balionai, oro uostų ataskaitos, komercinių lėktuvų ir palydovų matavimai.

CFSR duomenys turi pasaulinio tinklo rezoliuciją 0,3 x 0,3 laipsnio ir vienos valandos laiko rezoliuciją. Laiko serijas laikotarpiu nuo 1980 m. iki 2010 m. galima atsisiųsti. Laiko serijos nuo 2011 m. yra prieinamos sistemoje CFSR 2. CFSR 2 turi tinklo rezoliuciją 0,2 x 0,2 laipsnio ir 1 valandos laiko rezoliuciją.

CFSR duomenys pateikia šį klimato duomenų rinkinį:

- Oro temperatūra [$^{\circ}\text{C}$];
- Saulės spinduliuotė [W/m^2];
- Vėjo greitis [m/s];
- Krituliai [mm];
- Drėgmė [%].

Skaičiuojant duomenis iš CFSR 2 naudojama lauko temperatūra ir saulės spinduliuotė Radviliškio regione. Daugiau informacijos apie saulės radiaciją Lietuvoje rasite 3.4 skyriuje.

2.3 Radviliškio duomenys

Kai kurios prielaidos skaičiavimuose paremtos duomenimis, kuriuos pateikė Radviliškio katilinė. Radviliškio katilinė sudaro du gamtinių dujų katilai, du kietojo biokuro katilai su šiomis charakteristikomis:

1 lentelė: Katilų lentelė

Įrenginiai	Gamintojas	Galia	Efektyvumas	Metinės darbo valandos	Kuras	Kuro šilumingumas
<i>Katilai</i>		<i>MW</i>	<i>%</i>	<i>h</i>		
Šilumos generatorius Nr. 1	BBH-5000	5	85	6900	Kietas biokuras	2429 kcal/kg
Šilumos generatorius Nr. 2	BBH-5000	5	85	4200	Kietas biokuras	2429 kcal/kg
Šilumos generatorius Nr. 3						
Šilumos generatorius Nr. 4	HWK 4000-6-300	4	98	410	Gamtinės dujos	8026 kcal/nm ³
Šilumos generatorius Nr. 5	PTVM-30M	24	93,6	190	Gamtinės dujos	8026 kcal/nm ³
Kondensacinis ekonomizeris		3,5		8100		

Medienos skiedrų kaina 54 Lt/MWh, kas atitinka 40,0 €/toną. Gamtinių dujų kaina buvo 2020 Lt/toną, kas atitinka 585,040 €/toną ataskaitos ruošimo metu, 2014 m. rudenį. Kadangi biokuras yra pigiausia kuro rūšis, biokuro katilai padengs didžiąją dalį šilumos poreikio, o gamtinių dujų katilai veiks kaip rezerviniai bei naudojami tenkinti pikinei apkrovai.

Eksplotacijos kaštai (angl. Operational and maintenance O&M) skaičiuojami 5,6 €/MWh_{th} biomasės katilams, remiantis Danijos patirtimi ir apima visas išlaidas, kurios nepriklauso nuo to, kaip eksploatuojama katilinė, pan. nuo administracijos ir priežiūros personalo, planinio/neplaninio remonto, mokėjimų už eksploatacijos paslaugas sutarčių, elektros tinklo galios mokestis ir kt. Eksploatacijos kaštai gamtinių dujų katilams vertinami 12,0 €/MWh_{th}. (Kadangi dujų katilai neatstovauja didelės gamybos dalies, ši prielaida nėra labai svarbi.) Eksploatacijos kaštai saulės terminų kolektorių sistemos yra 0,8 €/MWh_{ht}. Temperatūros Radviliškio CŠT tinkle yra pateiktos (2 lentelė):

2 lentelė. Temperatūros CŠT tinkle

Mėnuo	T _{grįžtama} , °C	T _{paduodama} , °C
Sausis	38.3	78.1
Vasaris	42.8	84.7
Kovas	37.5	69.6
Balandis	38.2	67.6
Gegužė	38.8	67.6
Birželis	40.7	67.8
Liepa	38.9	68.7
Rugpjūtis	39.1	67.3
Rugsėjis	38.8	67.8
Spalis	37.1	67.7
Lapkritis	36.2	67.9
Gruodis	40.0	79.2

2.4 Šilumos poreikis

Metinis šilumos poreikis, kurį reikia pagaminti Radviliškio katilinės įrenginiams yra pateiktas įmonės ir siekia apie 54 900 MWh per metus. Iš skaičiavimų, kur įvertinamos regiono lauko temperatūros, maksimali reikalinga šiluminė galia yra 19,6 MW_{ht} skaičiuojama šalčiausią metų dieną.

2.5 Investicijos

Investiciniai kaštai saulės kolektorių plotui mažėja didėjant kolektorių plotui. Čia pateikti investiciniai kaštai, kurie buvo skaičiuoti kolektorių laukui (3 lentelė):

3 lentelė: Investiciniai kaštai

Kolektorių plotas, m ²	2000	5000	7500	10000	12500	15000	20000	22500	25000	27400
Investiciniai kaštai, €/m ²	300	280	255	235	230	225	210	205	203	200

Kartu su investicijomis į saulės kolektorius, investicijos į saugyklą taip pat kinta priklausomai nuo saugyklos talpos. Investicijos į saugyklą gali būti apskaičiuotos naudojantis šia formule:

$$\text{Saugyklos kaina [€]} = 92 \text{ [€/m}^2\text{]} \times \text{Saugyklos tūris [m}^3\text{]} + 181000 \text{ [€]}$$

Investicijos į saulės kolektorius, saugyklas ir įrangą saulės laukui pagrįstos investicijomis į kitus panašius projektus. Investicijos į žemę yra skaičiuojamos pagal Radviliškio regiono duomenis ir priimtos 4400 – 5800 €/ha. Skaičiavimams buvo naudojama vidutinė 5100 €/ha žemės vertė. Reikalingas žemės plotas paskaičiuojamas naudojantis sekančią formulę:

$$d_{eilės} = \frac{A_{žemė} \times S_{kolektorius}}{A_{kolektorius} \times f_{ilgis} \times f_{plotis}}$$

Kur:

$d_{eilės}$ – atstumas tarp kolektorių eilių [m];

$A_{žemė}$ – žemės plotas [m²];

$A_{kolektorius}$ – visas kolektorių plotas [m²];

$S_{kolektorius}$ – šoninis saulės kolektoriaus ilgis [m];

f_{ilgis} ir f_{plotis} – nenaudojamo ploto dėl saulės kolektoriaus ploto kompensavimo rodikliai, pvz., jei 3% yra pridėdami, tai f_{ilgis} ir f_{plotis} bus lygūs 1,03.

3 Techninės centralizuoto saulės šildymo charakteristikos

3.1 Saulės kolektoriai

Iš esmės centralizuotas saulės šiluminė energija yra centralizuoto šilumos ir karšto vandens tiekimas iš saulės terminių kolektorių per sistemą, kurioje vanduo yra pašildomas centralizuotai iš grupės saulės terminių kolektorių, t.y. centralizuotų saulės jėgainių (toliau – CSŠJ). Pašildytas vanduo yra paskirstomas per centralizuoto šilumos tiekimo vamzdynus. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemoms kolektoriai paprastai yra įrengiami ant žemės ilgomis eilėmis, sujungtomis nuosekliai. Danijoje saulės šildymo sistemos paprastai pašildo grįžtamąjį vandenį iki reikalaujamos paduodamos temperatūros. Būtent šis procesas ir yra priimtas skaičiavimuose.

Toliau įvedamas pagrindinis saulės terminio kolektoriaus koeficientas: tokia formulė taikoma saulės kolektoriui (be susidūrimo kampo modifikatoriaus):

$$Y = A * (G * \eta_0 - a_1 * (T_m - T_a) - a_2 * (T_m - T_a)^2)$$

Kur,

Y - saulės produktyvumas, t.y. šilumos gamyba [W]

A - saulės kolektoriaus plotas [m²]

G - saulės radiacija ant saulės kolektorių, [W/m²]

T_m - kolektoriaus vidutinė temperatūra [°C], tai yra vidutinė temperatūra tarp šalto vandens, įtekančio į kolektorių, temperatūros ir karšto vandens, išėinančio iš kolektoriaus;

T_a - lauko temperatūra [°C].

Geriausiams rezultatams gauti lauko temperatūros duomenys turėtų būti pateikti bent kas valandą. Saulės kolektoriaus efektyvumas nustatomas trimis parametrais:

H_0 -išskirtas (maksimalus) kolektoriaus efektyvumas [-];

a_1 -pirmos eilės koeficientas kolektoriaus efektyvumo lygtyje $[W/(m^2 \cdot K)]$;

a_2 -antros eilės koeficientas kolektoriaus efektyvumo lygtyje $[W/(m^2 \cdot K)^2]$.

Šie trys parametrai yra prieinami kolektoriams, testuotiems pagal ASHRAE standartus ir reitinguojamiems pagal SRCC (ASHRAE, 2003; SRCC,1995), o taip pat kolektoriams, testuojamiems pagal neseną Europos standartą saulės kolektoriams (CEN, 2001). Daug saulės terminių kolektorių parametrų pavyzdžių galima rasti internete (pvz. Solar Keymark Database¹).

Skaičiavimuose buvo naudojami tokie koeficientai, kurie gauti tipiniam Danijos plokščiajam kolektoriui:

$\eta_0 = 0,815$;

$a_1 = 2,43 [W/(m^2 \cdot K)]$;

$a_2 = 0,012 [W/(m^2 \cdot K)^2]$.

Dar daugiau, modelyje yra susidūrimo kampo modifikatorius IAM arba K_0 . Saulė ne visada išsidėsčiusi vertikaliai kolektoriaus plokštumai, susidūrimo kampas bendru atveju kinta tiek paros, tiek metų bėgyje. Modifikatoriaus koeficientas naudojamas, kadangi kolektoriaus dangos stiklo pralaidumas kinta priklausomai nuo susidūrimo kampo. Kitais žodžiais tariant IAM įvedamas siekiant įvertinti, kad stiklo dangos atspindėjimas didėtų, esant didesniai susidūrimo kampui. Esant susidūrimo kampui 50° susidūrimo kampo modifikatorius $K_{50} = 0.94$. Duotam susidūrimo kampui kiekvieną metų valandą η_0 yra padauginamas iš atitinkamo IAM duotam susidūrimo kampui.

Centralizuotas saulės šildymas gali turėti dideles šilumos saugyklas, kurių talpa siekia nuo vienos dienos poreikio iki sezoninių talpyklų (STES). Šiluminė talpykla padidina saulės dalį, kuri yra dalis tarp gautos saulės energijos ir viso energijos poreikio sistemoje. Idealiu atveju tikslas naudoti sezoninę talpyklą yra išsaugoti saulės energiją, surinktą vasaros metu žiemos mėnesiams.

Lyginant su mažomis saulės šildymo sistemomis, centralizuotos saulės šildymo sistemos turi geresnį kainos veiksmingumo santykį dėl žemesnių instaliavimo kaštų, aukštesnį šilumos efektyvumą ir reikalauja mažiau priežiūros. Centralizuotos saulės sistemos taip pat gali būti naudojamos saulės vėsinimui centralizuoto vėsinimo forma. Šiuo atveju bendras efektyvumas yra aukštas dėl aukštos koreliacijos tarp energijos poreikio ir saulės spinduliuotės.

3.2 Saugykla

Paprastai 20 – 25 % šilumos poreikio gali būti padengta iš saulės šilumos centralizuotoje saulės sistemoje kombinuojant ją su šilumos saugykla. Sistemoms, kur didesnė dalis saulės padengimo yra pageidautina, svarstytina apie sezoninę talpyklą. Normaliai 40% saulės padengimo ir daugiau, reikalinga sezoninė talpykla. Tinkamo dydžio talpykla paprastai yra 200-300 l/m²saulėsterminio kolektoriaus plotui. Kuo didesnė saulės šilumos dalis, tuo reikalinga didesnė saugyklos talpa. Į sistemą talpyklą šiluma patenka iš saulės kolektorių ir naudoja šią šilumą patalpų šildymui ir/arba buitinio karšto vandens ruošimui. Jei vandens temperatūra saugyklos viršuje yra per daug aukšta, tada naudojamas šaltas vanduo atšaldymui iki pageidaujamos temperatūros.

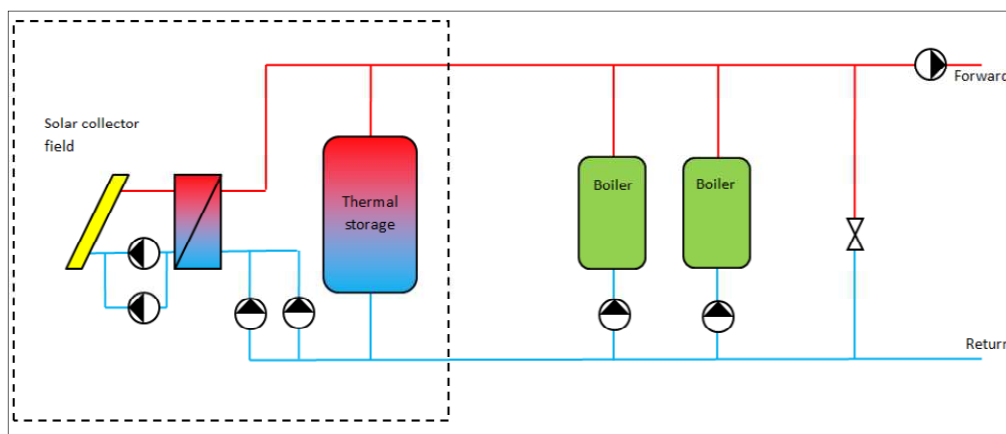
Kai kurioms talpykloms įmanoma (su keliais išėjimais) ištraukti šilumą skirtinguose aukščiuose. Tokiose talpyklose galima naudoti vandenį, kurio temperatūra išlaikoma pageidaujamos temperatūros (pvz.: iš

¹ www.solarkeymark.dk/CollectorCertificates

vidurinės talpyklos dalies), tuo tarpu išlaikant aukštą vandens temperatūrą talpyklos viršutinėje dalyje, jei viršutinėje dalyje esanti vandens temperatūra yra aukštesnė nei reikalinga. Tai yra itin naudinga, jei jūs eksploatuojate itin dideles saugyklas, kur svarbu palaikyti gerą šiluminį susisluoksniavimą (pvz.: 2000 m³ saugyklos).

3.3 Saulės centralizuoto šilumos tiekimo sistema

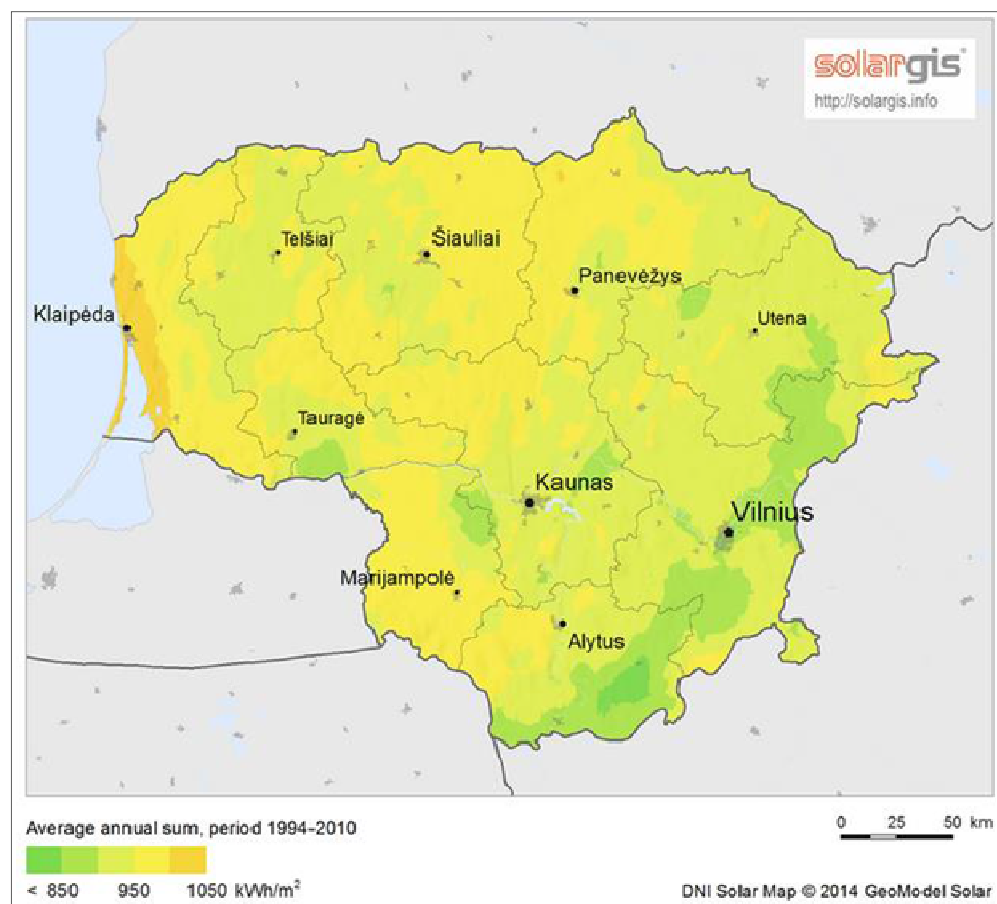
Paprastas principas, rodantis saulės terminių kolektorių lauką, sujungtą su jėgaine parodytas 1 pav. Sistemai reikalinga visa eilė dalių: tarpe kurių yra saulės terminiai kolektoriai, pastatai techninei įrangai, šilumokaičiai kartu su perdavimo vamzdynais ir siurbiais, šilumos saugykla, azoto stotis ir sklendės. Be to, reikia samdyti profesionalius rangovus atlikti darbui žemės paruošimui, vamzdynų sujungimui su jėgaine, kartu su apželdinimu ir kitais žemės darbais. Sistemą taip pat reikia prijungti prie elektros tinklo, norint pajungti siurblius ir sistemos valdymo ir priežiūros įrangą.



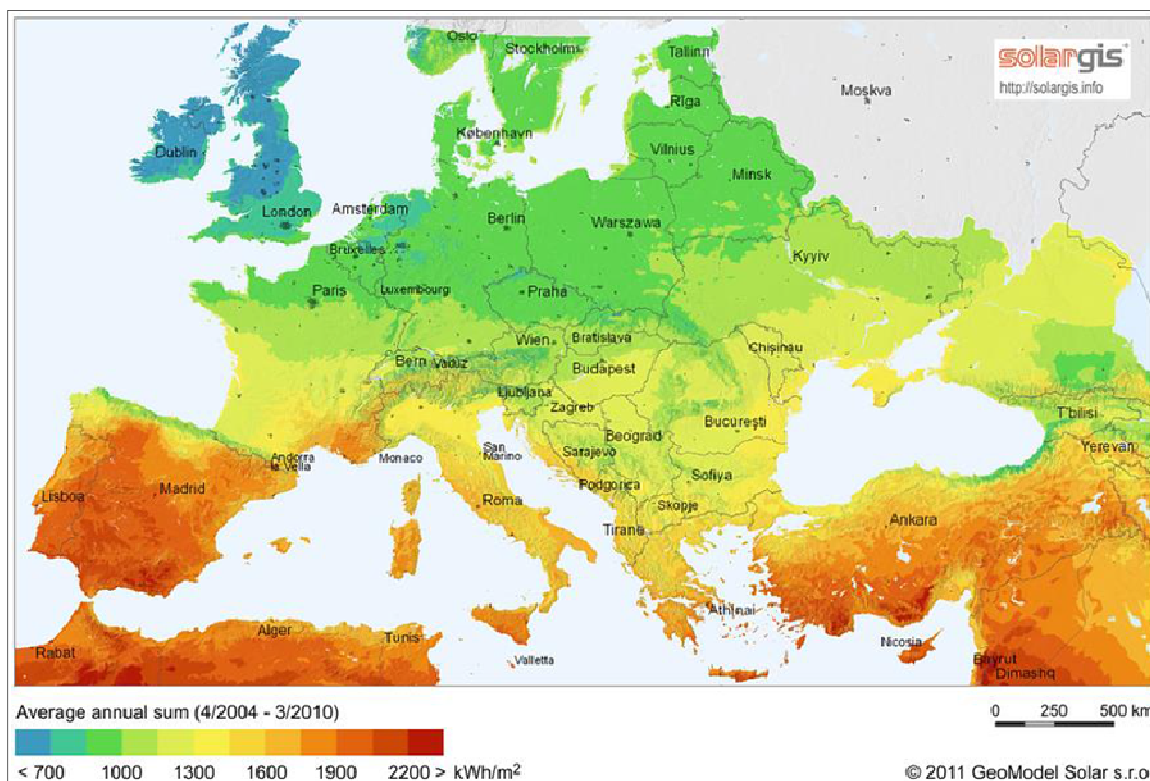
1 pav.: Principinė centralizuoto šilumos tiekimo jėgainės schema

3.4 Saulės spinduliuotė

Saulės spinduliuotė Lietuvoje kinta nuo 850 iki 1050 kWh/m², pavaizduota 2 pav. Saulės spinduliuotė Lietuvoje panaši saulės spinduliuotei Danijoje, bet yra žemesnė nei saulės spinduliuotė Pietų Europoje, pavaizduota 3 pav., kur saulės spinduliuotė siekia daugiau kaip 2000 kWh/m² kai kuriose vietovėse.



2 pav.: Saulės spindulių Lietuvoje (Tiesioginė normalinė spindulių), kWh/m²(<http://solargis.info/>).



3 pav.: Saulės spindulių Europoje (Tiesioginė normalinė spindulių), kWh/m²(<http://solargis.info/>).

4 Skaičiavimai

Siekiant atlikti analizę, buvo sudarytas modelis su numatytu (baziniu) scenarijumi ir įvairios dalies saulės gamybos kolektorių plotų nuo 2500 m² iki 27500 m² pritaikant 2500 m² žingsnį. Apytikslis šilumos saugyklos dydis nustatytas kaip ¼ m³ per m² saulės terminio kolektoriaus ploto, buvo naudojamas skaičiavimuose. Tai reiškia, kad tokie scenarijai sugeneruoti naudojant EnergyPRO programą:

0. Bazinė situacija, kai katilinė eksploatuojama naudojant įmonės pateiktus duomenis.

1. 2500 m² saulės kolektoriai sujungti su Radviliškio CŠT katiline.

2. 5000 m² saulės kolektoriai sujungti su Radviliškio CŠT katiline.

3a. 7500 m² saulės kolektoriai sujungti su Radviliškio CŠT katiline.

3b. 7500 m² saulės kolektoriai ir 1875 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

4. 10000 m² saulės kolektoriai ir 2500 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

5. 12500 m² saulės kolektoriai ir 3125 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

6. 15000 m² saulės kolektoriai ir 3750 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

7. 17500 m² saulės kolektoriai ir 4375 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

8. 20000 m² saulės kolektoriai ir 5000 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

9. 22500 m² saulės kolektoriai ir 5625 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

10. 25000 m² saulės kolektoriai ir 6250 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

11. 27500 m² saulės kolektoriai ir 6875 m³ saugykla sujunta su Radviliškio CŠT katiline.

5 Energetiniai rezultatai

Šiame skyriuje pateikti rezultatai, gauti iš EnergyPRO ir Excel programų skaičiavimų.

5.1 Šilumos gamyba

Šilumos gamybos pasiskirstymas remiasi biokuro (medienos skiedros), gamtinių dujų ir saulės šilumos naudojimu parodytas 4 lentelėje. Kaip matyti 4 lentelėje, saulės padengimas kinta nuo maždaug 2% iki 24%.

4 lentelė: Šilumos gamyba

Šilumos gamyba	Saulės kolektorių plotas	Bazinis	2,500 m ²	5,000 m ²	7,500 m ²	7,500 m ²	10,000 m ²	12,500 m ²
	Šilumos talpyklos tūris		0 m ³	0 m ³	0 m ³	1,875 m ³	2,500 m ³	3,125 m ³
Medienos katilas	MWh	51,467	50,227	49,102	48,254	47,716	46,453	45,188
Gamtinių dujų katilas	MWh	3,429	3,364	3,312	3,266	3,266	3,225	3,185
Saulės šiluma	MWh	-	1,305	2,482	3,376	3,914	5,218	6,523
Viso	MWh	54,896	54,896	54,896	54,896	54,896	54,896	54,896
Saulės dalis	%	0%	2,40%	4,50%	6,10%	7,10%	9,50%	11,90%

Šilumos gamyba	Saulės kolektorių plotas		15,000 m ²	17,500 m ²	20,000 m ²	22,500 m ²	25,000 m ²	27,500 m ²
	Šilumos talpyklos tūris		3,750 m ³	4,375 m ³	5,000 m ³	5,625 m ³	6,250 m ³	6,875 m ³
Medienos katilas	MWh	51,467	43,944	42,781	41,664	40,608,50	39,668,60	38,799
Gamtinių dujų katilas	MWh	3,429	3,146	3,108	3,074	3,045,90	3,021,70	2,999
Saulės šiluma	MWh		7,806	9,007	10,158	11,241,30	12,205,50	13,098
Viso	MWh	54,896	54,896	54,896	54,896	54,896	54,896	54,896
Saulės dalis	%	0%	14,20%	16,40%	18,50%	20,50%	22,20%	23,90%

5.2 Kuro vartojimas

Didžioji dalis šilumos Radviliškio katilinėje gaminama iš biokuro, kadangi tai pigiausias kuras lyginant su gamtinėmis dujomis. Ateityje biokuro ištekliai gali tapti riboti ir brangi. Todėl būtų naudinga papildyti šilumos gamybą su ilgalaikiais tvariais ištekliais, tokiais kaip saulės šilumine energija. Toliau 5 lentelėje matome, kiek turto, naudojant įvairias saulės šilumos dalis galima sutaupyti kasmet.

Saulės kolektoriai padeda sumažinti biokuro naudojimą iki 15 000 MWh_{ht} kasmet, atitinkamai iki 5 300 tonų biokuro. Gamtinių dujų sumažinimas yra maždaug 500 MWh, kas atitinka 40 tonų. Kuro sumažinimas gaunamas kaip rezultatas sumažinantis katilinės eksploatacijos kaštus, kurie parodyti kitame skyriuje.

5 lentelė: Metinis biokuro ir gamtinių dujų suvartojimas

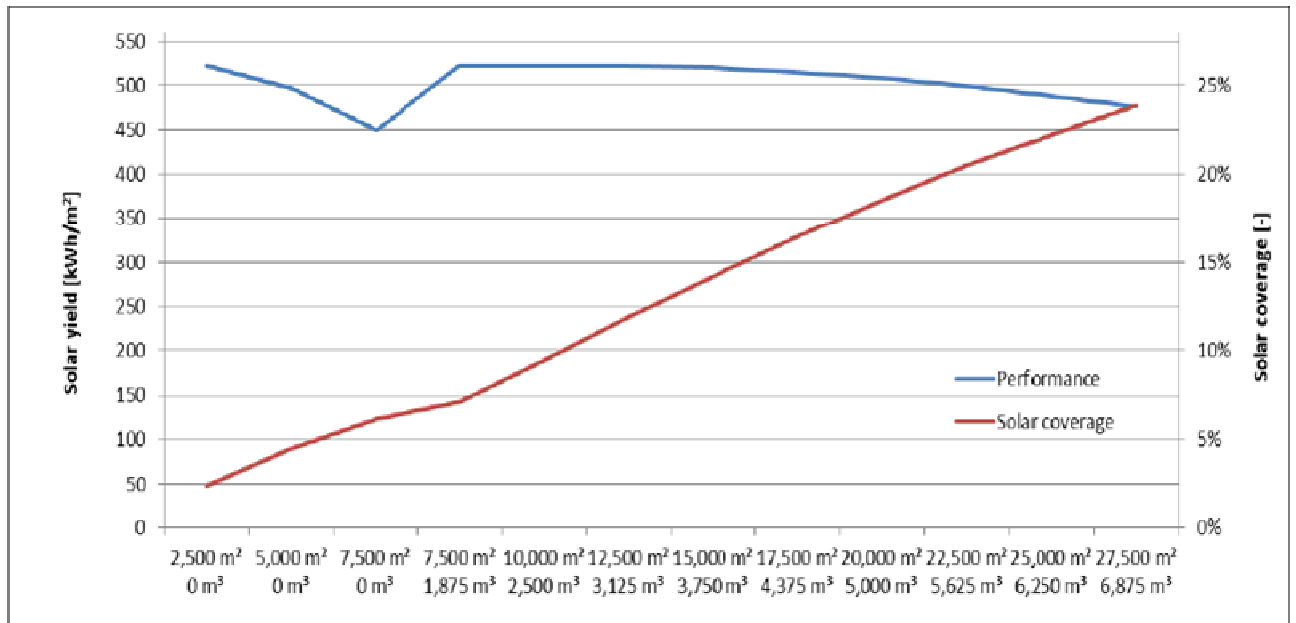
Kuro sunaudojimas	Saulės kolektorių plotas		2,500 m ²	5,000 m ²	7,500 m ²	7,500 m ²	10,000 m ²	12,500 m ²
	Šilumos talpyklos tūris		0 m ³	0 m ³	0 m ³	1,875 m ³	2,500 m ³	3,125 m ³
Biomasaė	MWh	60,546	59,088	57,764	56,766	56,133	54,647	53,16
Biomasaė	ton	21,411	20,895	20,427	20,074	19,851	19,325	18,799
Gamtinės dujos	MWh	3,532	3,464	3,41	3,362	3,362	3,319	3,277
Gamtinės dujos	ton	326	320	315	310	310	306	303

Kuro sunaudojimas	Saulės kolektorių plotas		15,000 m ²	17,500 m ²	20,000 m ²	22,500 m ²	25,000 m ²	27,500 m ²
	Šilumos talpyklos tūris		3,750 m ³	4,375 m ³	5,000 m ³	5,625 m ³	6,250 m ³	6,875 m ³
Biomasaė	MWh	60,546	50,327	49,014	47,772	46,666	45,643	45,643
Biomasaė	tona	21,411	17,797	17,333	16,894	16,503	16,141	16,141
Gamtinės dujos	MWh	3,532	3,198	3,163,10	3,134	3,109	3,086	3,086
Gamtinės dujos	tona	326	295	292	289	287	285	285

5.3 Saulės kolektorių veikimas

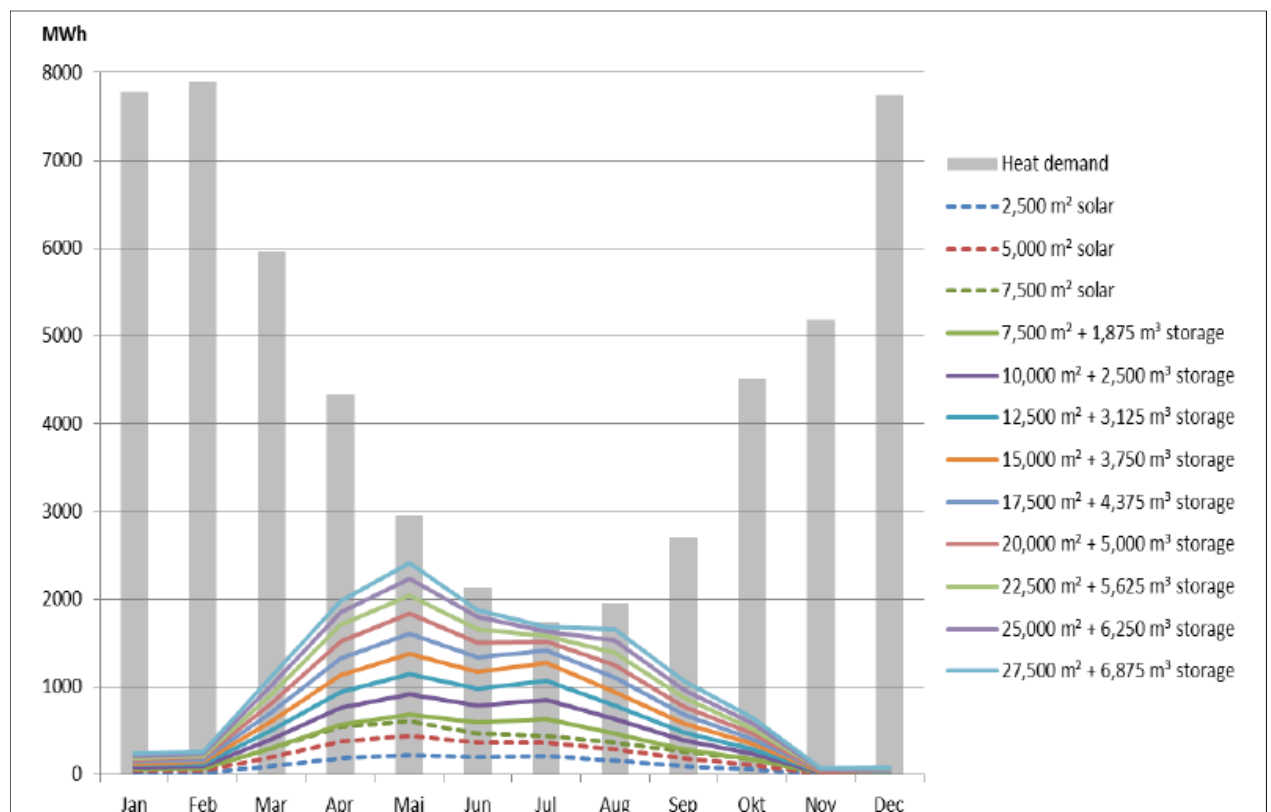
Saulės termininių kolektorių veikimas kinta kartu su saulės šilumos dalimi šilumos gamyboje, kadangi didesnė dalis dažnai reikalauja didesnės šiluminės saugyklos talpos 1m²saulės terminio kolektoriaus. 4 pav. matome vidutinę šilumos gamybą iš 1 m²saulės kolektoriaus kiekviename skaičiavime.

Nuo labai didelės šilumos gamybos saulės terminiams kolektoriams pirmame scenarijuje 520 kWh/m², kai saulės kolektoriai yra sujungti su šilumos saugykla, veikimas yra sumažinamas iki maždaug 475 kWh/m². Taip pat aišku, kad saulės termininių kolektorių veikimas auga sujungus su šilumine saugykla. Tai matosi iš 2a ir 2b scenarijų rezultatų.



4 pav.: Saulės kolektorių veikimas ir saulės dalis.

Mėnesinė šilumos gamyba iš saulės terminių kolektorių kiekviename skaičiavime, lyginant su mėnesiniu šilumos poreikiu, parodyta 5 pav.



5 pav.: Mėnesinė gamyba iš saulės kolektorių.

6 Ekonominiai rezultatai

6.1 Biudžetas

6 lentelė: Investicijų biudžetas

2,500 m² saulės kolektoriai	0	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	2,500	m ² saulės kolektoriai	300	€/m ²	750,000	€
Investicijos saugykloi	0	m ³	0	€	-	€
Investicijos žemei	0.45	Ha	5,100	€/ha	2,884	€
Viso					752,884	€
5,000 m² saulės kolektoriai	0	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	5,000	m ² saulės kolektoriai	280	€/m ²	1,400,000	€
Investicijos saugykloi	0	m ³	0	€	-	€
Investicijos žemei	1.130	ha	5,100	€/ha	5,768	€
Viso					1,405,768	€
7,500 m² saulės kolektoriai	0	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	7,500	m ² saulės kolektoriai	255	€/m ²	1,912,500	€
Investicijos saugykloi	0	m ³	0	€	-	€
Investicijos žemei	1.70	ha	5,100	€/ha	8,652	€
Viso					1,921,152	€
7,500 m² saulės kolektoriai	1,875	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	7,500	m ² saulės kolektoriai	255	€/m ²	1,912,500	€
Investicijos saugykloi	1,875	m ³	353,500	€	353,500	€
Investicijos žemei	1.70	ha	5,100	€/ha	8,652	€
Viso					2,274,652	€
10,000 m² saulės kolektoriai	2,500	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	10,000	m ² saulės kolektoriai	235	€/m ²	2,350,000	€
Investicijos saugykloi	2,500	m ³	411,000	€	411,000	€
Investicijos žemei	2.86	ha	5,100	€/ha	11,535	€
Viso					2,772,535	€
12,500 m² saulės kolektoriai	3,125	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	12,500	m ² saulės kolektoriai	230	€/m ²	2,875,000	€
Investicijos saugykloi	3,125	m ³	468,500	€	468,500	€
Investicijos žemei	2.83	ha	5,100	€/ha	14,419	€
Viso					3,357,919	€
15,000 m² saulės kolektoriai	3,750	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	15,000	m ² saulės kolektoriai	225	€/m ²	3,375,000	€
Investicijos saugykloi	3,750	m ³	526,000	€	526,000	€
Investicijos žemei	3.39	ha	5,100	€/ha	17,303	€
Viso					3,918,303	€

Tęsinys kitame puslapyje...

17,500 m² saulės kolektoriai	4,375	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	17,500	m ² saulės kolektoriai	215	€/m ²	3,762,500	€
Investicijos saugyklai	4,375	m ³	583,500	€	583,500	€
Investicijos žemei	3.96	ha	5,100	€/ha	20,187	€
Viso					4,366,187	€
20,000 m² saulės kolektoriai	5	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	20,000	m ² saulės kolektoriai	210	€/m ²	4,200,000	€
Investicijos saugyklai	5,000	m ³	641,000	€	641,000	€
Investicijos žemei	4.52	ha	5,100	€/ha	23,071	€
Viso					4,864,071	€
22,500 m² saulės kolektoriai	5,625	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	22,500	m ² saulės kolektoriai	205	€/m ²	4,612,500	€
Investicijos saugyklai	5,625	m ³	698,500	€	698,500	€
Investicijos žemei	5.091	ha	5,100	€/ha	25,955	€
Viso					5,336,955	€
25,000 m² saulės kolektoriai	6,25	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	25,000	m ² saulės kolektoriai	203	€/m ²	5,075,000	€
Investicijos saugyklai	6,250	m ³	756,000	€	756,000	€
Investicijos žemei	5.65	Ha	5,100	€/ha	28,838	€
Viso					5,859,838	€
27,500 m² saulės kolektoriai	6,875	m³ šilumos saugykla				
Investicijos saulės kolektoriams	27,500	m ² saulės kolektoriai	200	€/m ²	5,500,000	€
Investicijos saugyklai	6,875	m ³	813,500	€	813,500	€
Investicijos žemei	6.222	ha	5,100	€/ha	31,722	€
Viso					6,345,222	€

6.2 Įmonės ekonomika

Šilumos gamyba iš saulės terminių kolektorių yra sezoninė: vasaros laikotarpiu yra didelė gamyba, bet negaminama arba labai mažai gaminama žiemos mėnesiais. Kadangi gamtinių dujų katilai gamina tik nedidelį kiekį šilumos šiuose skaičiavimuose, šilumos gamyba iš saulės terminių kolektorių daugiausia pakeičia pigesnę šilumą iš biokuro katilų.

Skaičiavimai investicijoms, amortizuojami su palūkanų norma² 3% per 30 metų parodyti 7 lentelėje.

²Realioji palūkanų norma yra maždaug nominali palūkanų norma minus infliacija, pvz., nominali palūkanų norma 5% minus infliacija 2% rezultate duoda maždaug realią palūkanų normą 3%.

7 lentelė: Vidutiniai metiniai kaštai, reali palūkanų norma 3%, atsipirkimo laikotarpis 30 metų

	Saulės kolektorių plotas		2,500 m ²	5,000 m ²	7,500 m ²	7,500 m ²	10,000 m ²	12,500 m ²
	Šilumos talpyklos tūris		0 m ³	0 m ³	0 m ³	1,875 m ³	2,500 m ³	3,125 m ³
Eksplotacijos išlaidos	€/metus	1,377,423	1,346,425	1,318,745	1,297,481	1,285,936	1,256,029	1,226,215
Eksplotaciniai sutaupymai	€/metus		30,998	58,678	79,942	91,487	121,394	151,208

Investicijos	€		752,884	1,405,768	1,921,152	2,274,652	2,772,535	3,357,919
Kapitalo kaštai	€/metus		38,412	71,721	98,016	116,051	141,453	171,319

Paprastasis atsipirkimo laikotarpis	Metai		24	24	24	25	23	22
Grynasis sutaupymas	€/metus		-7,414	-13,043	-18,074	-24,564	-20,059	-20,111

Šilumos gamybos savikaina	€/MWh	25,10	25	24	24	23	23	22
Šilumos savikaina įskaitant kapitalo kaštus	€/MWh	25	25	25	25	26	26	26

	Saulės kolektorių plotas		15,000 m ²	17,500 m ²	20,000 m ²	22,500 m ²	25,000 m ²	27,500 m ²
	Talpyklos tūris		3,750 m ³	4,375 m ³	5,000 m ³	5,625 m ³	6,250 m ³	6,875 m ³
Eksplotacijos išlaidos	€/metus	1,377,423	1,196,906	1,169,384	1,143,162	1,118,637	1,096,845	1,076,683
Eksplotaciniai sutaupymai	€/metus		180,517	208,039	234,261	258,786	280,578	300,74
Investicijos	€		3,918,303	4,366,187	4,864,071	5,336,955	5,859,838	6,345,222
Kapitalo kaštai	€/metus		199,909	222,76	248,161	272,287	298,965	323,729
Paprastasis atsipirkimo laikotarpis	Metai		22	21	21	21	21	21
Grynasis sutaupymas	€/metus		-19,392	-14,721	-13,9	-13,501	-18,387	-22,989
Šilumos gamybos savikaina	€/MWh	25	22	21	21	20	20	20
Šilumos savikaina įskaitant kapitalo kaštus	€/MWh	25	25	25	25	25	25	26

Sutaupymas iš šilumos gamybos saulės terminiuose kolektoriuose negali finansuoti investicijų prie esamų prielaidų – nes yra neigiamas grynasis sutaupymas kasmet nuo 18 000 € ir beveik iki 23 000 €. Atsipirkimo laikotarpis paskaičiuotas kaip paprastas atsipirkimo laikotarpis, kai eksploatacijos sutaupymai yra padalijami iš investicijų. Šiame kontekste reikėtų pastebėti, kad kainos yra fiksuotos per visą skaičiavimo laikotarpį.

Kadangi vertinamas atvejis saulės šilumai, tikimasi, kad biokuro kaina išaugs per ateinančius 30 metų. Šiam faktui yra skirtas dėmesys tolesniame skyriuje „Jautrumo analizė“.

Vidutiniai šilumos gamybos kaštai, su kapitalo kaštais investicijoms yra tarp 25,3 ir 25,5 €/MWh, kas yra daugiau nei 25,1 €/MWh pateiktos situacijos duomenyse. Kapitalo kaštai skaičiuojami 30 metų laikotarpiui, kas atitinka techninį sistemos gyvavimo laikotarpį. Toliau atlikta eilė jautrumo skaičiavimų.

6.3 Jautrumo analizė

Danijos energetikos agentūra tikisi, kad biokuro kaina augs kasmet apytiksliai po 1%. Tai atitinka vidutinę biokuro kainą per ateinančius 30 metų išaugsiant iki 16% daugiau nei ji yra dabar. 8 lentelėje metiniai vidutiniai kaštai parodyti kiekvienam scenarijui, kur biokuro kaina yra 16% didesnė nei baziniame skaičiavimo scenarijuje. Biokuro kaina šiuose skaičiavimuose yra 46,45 €/ton.

Su aukštesne biokuro kaina, paprastas atsipirkimo laikotarpis mažėja ir šiuose jautrumo skaičiavimuose svyruoja nuo 19 iki 22 metų. Šilumos gamybos kaina mažėja iki mažesnės nei pateikta, jei kapitalo kaštai nėra įtraukti. Jei kapitalo kaštai įtraukti, šilumos gamybos kaina yra to paties lygio kaip ir pateikta bei mažesne skaičiavimuose saulės kolektoriams, kurių plotai didesni nei 17 500 m². Tai reiškia, kad eksploatacijos sutaupymas yra žymus, kad padengtų kapitalo kaštus. Kitais žodžiais tariant jei biokuro kaina tikėtinai išaugs maždaug po 1% per metus ateityje, investicijos į saulės centralizuotą šildymą atrodys pelningos investicijos Radviliškio CŠT katilinei.

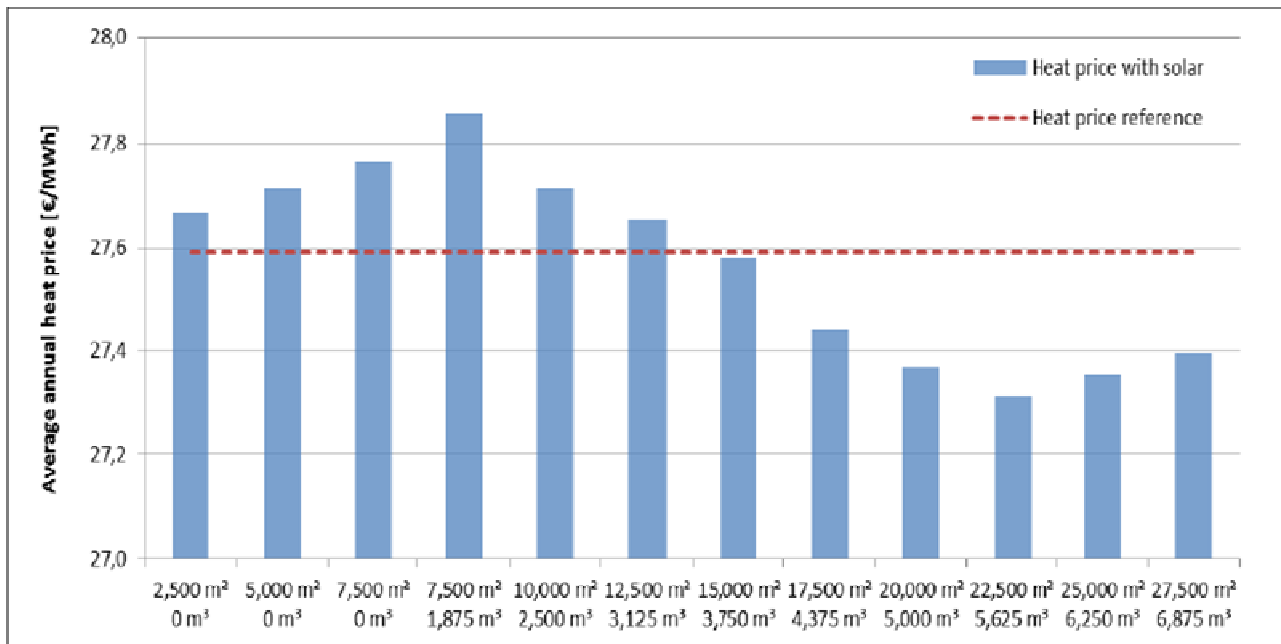
8 lentelė: Jautrumo analizė: reali palūkanų norma 3% per 30 metų su prielaida apie padidėjusią biokuro kainą

	Saulės kolektorių plotas		2,500 m ²	5,000 m ²	7,500 m ²	7,500 m ²	10,000 m ²	12,500 m ²
	Šiluminės talpyklos tūris		0 m ³	0 m ³	0 m ³	1,875 m ³	2,500 m ³	3,125 m ³
Eksploatacijos išlaidos	€/metus	1,514,667	1,480,365	1,449,683	1,426,157	1,413,178	1,379,903	1,346,717
Eksploataciniai sutaupymai	€/metus		34,302	64,984	88,51	101,489	134,764	167,95
Investicijos	€		752,884	1,405,768	1,921,152	2,274,652	2,772,535	3,357,919
Kapitalo kaštai	€/metus		38,412	71,721	98,016	116,051	141,453	171,319
Paprastasis atsipirkimo laikotarpis	Metai		22	22	22	22	21	20
Grynasis sutaupymas	€/metus		-4,11	-6,737	-9,506	-14,562	-6,689	-3,369
Šilumos gamybos savikaina	€/MWh	28	27	26	26	26	25	25
Šilumos savikaina įskaitant kapitalo kaštus	€/MWh	28	28	28	28	28	28	28

	Saulės kolektorių plotas		15,000 m ²	17,500 m ²	20,000 m ²	22,500 m ²	25,000 m ²	27,500 m ²
	Talpyklos tūris		3,750 m ³	4,375 m ³	5,000 m ³	5,625 m ³	6,250 m ³	6,875 m ³
Eksploatacijos išlaidos	€/metus	1,514,667	1,314,091	1,283,465	1,254,266	1,226,926	1,202,627	1,180,148
Eksploataciniai sutaupymai	€/metus		200,576	231,202	260,401	287,741	312,04	334,519
Investicijos	€		3,918,303	4,366,187	4,864,07	5,336,95	5,859,83	6,345,222
Kapitalo kaštai	€/metus		199,909	222,76	248,161	272,287	298,965	323,729
Paprastasis atsipirkimo laikotarpis	Metai		20	19	19	19	19	19
Grynasis sutaupymas	€/metus		667	8,442	12,24	15,454	13,075	10,79
Šilumos gamybos savikaina	€/MWh	28	24	23	23	22	22	22
Šilumos savikaina įskaitant kapitalo kaštus	€/MWh	28	28	27	27	27	27	27

6 pav. rodo vidutinę šilumos savikainą, palygintą su pateikta, kai įvertinamas biokuro kainos padidėjimas. Optimalus matomas scenarijus, kai terminių kolektorių plotas yra 22 500 m².

6 pav.: Vidutinė šilumos kaina skaičiavimams su padidinta biokuro kaina.



Net jeigu biokuro kaina padidėja tik vidutiniškai 8% per skaičiuojamą laikotarpį, scenarijus su 22500 m² plotos saulės kolektoriais vis dar duos žemesnę vidutinę šilumos kainą nei pateikta.

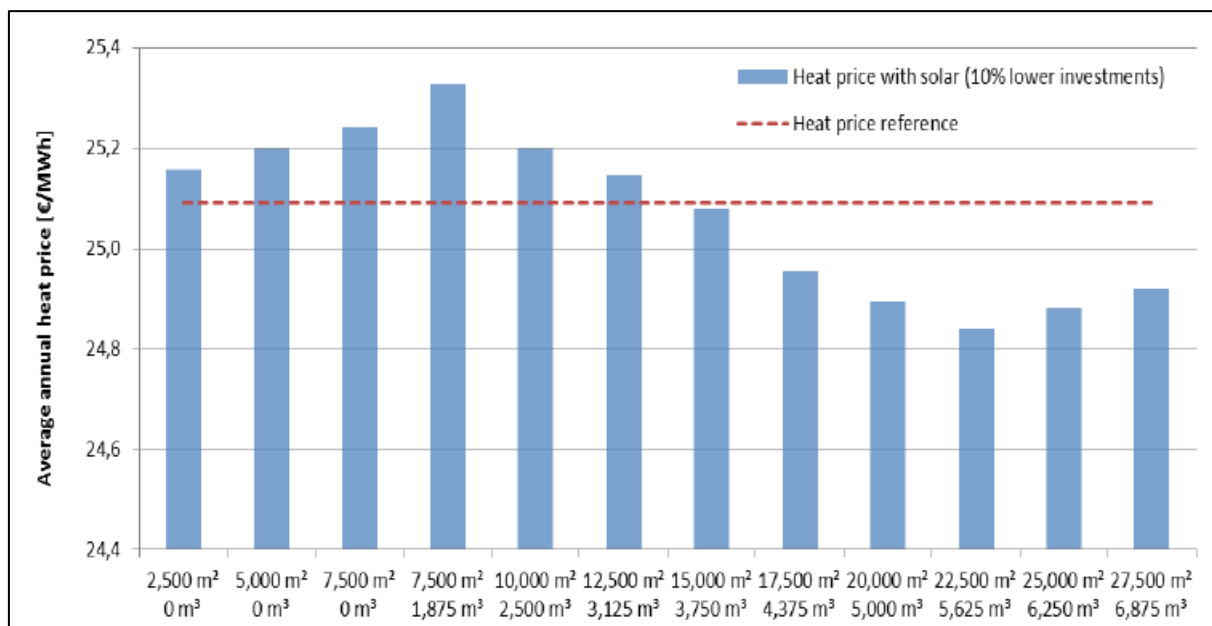
Kaip alternatyvi jautrumo analizė, toliau pateikti skaičiavimai vertina situaciją, kur investicijos yra 10% mažesnės. Iš čia visos investicijos skaičiavimuose sumažinamos 10%. Investicijų sumažinimas amortizuojamas realia investicijų 3% palūkanų norma per 30 metų ir gaunami rezultatai:

9 lentelė: Jautrumo analizė: investicijų sumažinimas 10%.

	Saulės kolektorių plotas		2,500 m ²	5,000 m ²	7,500 m ²	7,500 m ²	10,000 m ²	12,500 m ²
	Talpyklos tūris		0 m ³	0 m ³	0 m ³	1,875 m ³	2,500 m ³	3,125 m ³
Eksplotacijos išlaidos	€/metus	1,514,667	1,346,425	1,318,745	1,297,481	1,285,936	1,256,029	1,226,215
Eksplotaciniai sutaupymai	€/metus		30,998	58,678	79,942	91,487	121,394	151,208
Investicijos	€.		677,595	1,265,191	1,729,036	2,047,186	2,495,282	3,022,127
Kapitalo kaštai	€/metus		34,57	64,549	88,214	104,446	127,307	154,187
Paprastasis atsipirkimo laikotarpis	Metai		22	22	22	22	21	20
Grynasis sutaupymas	€/metus		-3,572	-5,871	-8,272	-12,959	-5,913	-2,979
Šilumos gamybos savikaina	€/MWh	28	25	24	24	23	23	22
Šilumos savikaina įskaitant kapitalo kaštus	€/MWh	28	25	25	25	25	25	25

	Saulės kolektorių plotas		15,000 m ²	17,500 m ²	20,000 m ²	22,500 m ²	25,000 m ²	27,500 m ²
	Talpyklos tūris		3,750 m ³	4,375 m ³	5,000 m ³	5,625 m ³	6,250 m ³	6,875 m ³
Eksplotacijos išlaidos	€/metus	1,514,667	1,196,906	1,169,384	1,143,162	1,118,637	1,096,845	1,076,683
Eksplotaciniai sutaupymai	€/metus		180,517	208,039	234,261	258,786	280,578	300,74
Investicijos	€		3,526,473	3,929,568	4,377,664	4,803,259	5,273,855	5,710,700
Kapitalo kaštai	€/metus		179,918	200,484	223,345	245,059	269,068	291,356
Paprastasis atsipirkimo laikotarpis	Metai		20	19	19	19	19	19
Grynasis sutaupymas	€/metus		599	7,555	10,916	13,727	11,51	9,384
Šilumos gamybos savikaina	€/MWh	28	22	21	21	20	20	20
Šilumos savikaina įskaitant kapitalo kaštus	€/MWh	28	25	25	25	25	25	25

Grynas sutaupymas matomas jau esant saulės terminių kolektorių plotui 15 000 m² ar didesniai 7 pav. rodo vidutinę šilumos sąnaudos lyginant su įmonės nurodytais duomenimis.



7 pav.: Vidutinė šilumos kaina skaičiavimams, kai investicijų kaštai 10% mažesni.

Jei investicijų kaštai yra aukštesni nei tikėtasi, tada optimumas pasislinks link mažesnio saulės terminių kolektorių ploto.

7 Išvados

Skaičiavimuose su įvairiais saulės terminių kolektorių plotais, užsiduotomis prielaidomis ir amortizuojama 3% metinių palūkanų norma per 30 metų darome išvadą, kad investicijos nėra tiesiogiai ekonomiškai naudingos Radviliškio centralizuoto šilumos tiekimo katilinei, tačiau ekonomiškumas iš saulės projekto su keliais tūkstančiais m^2 saulės terminių kolektorių yra greitai pasiekiamas, kadangi šilumos gamybos kaina su kapitalo kaštais yra beveik tokia pat žema, kaip ir įmonės nurodyta šilumos gamybos kaina.

Atlikta jautrumo analizė siekiant rasti šio projekto ekonomiškumo stipriąją pusę. Ateityje biomasės ištekliai gali būti riboti ir biokuro kaina to pasėkoje tikėtinais taks augs. Jautrumo analizė parodė, kad tokio projekto galimybė yra jautri tiek investiciniams kaštams, tiek ir biokuro kainai.

Esant aukštesnėms biokuro kainoms, paprastasis atsipirkimo laikotarpis sumažėja iki 19-22 metų. Vidutinė šilumos gamybos kaina yra žemesnė nei įmonės nurodyta scenarijuje su saulės kolektorių plotais $15\,000\,m^2$ ir didesniais. Tai reiškia, kad eksploatacijos sutaupymai yra pakankami kapitalo kaštams padengti. Kitais žodžiais tariant, jei tikimasi, kad biokuro kaina išaugs, investicijos į saulės centralizuotą šilumos tiekimą greičiausiai bus pelningos Radviliškio CŠT katilinei. Optimalus saulės kolektorių plotas kartu su šilumos saugykla yra apie $22\,500\,m^2$, bet kiti dydžiais taip pat galėtų būti ekonomiški.

Galima daryti išvadą, kad šilumos gamyba iš saulės terminių kolektorių Radviliškio CŠT katilinei galėtų būti svarstyta ir naudinga, taupant biokurą ir mažinant vidutinę šilumos gamybos kainą, jei priimsime, kad biokuro kaina augs.