



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Mattias Herzmann**

**PÄIKESEKOLLEKTOR ERAMU ENERGIAVARUSTUSES**  
**DWELLING ENERGY SUPPLY WITH SOLAR HEAT PANELS**

Bakalaureusetöö  
Loodusvarade kasutamine ja kaitse õppekava

Juhendaja(d): professor Andres Annuk, *PhD*

vanemteadur Allar Padari, *PhD*

Tartu 2017



Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Mattias Herzmann		Õppekava: Loodusvarade kasutamine ja kaitse	
Pealkiri: Päikesekollektor eramu energiavarustuses			
Lehekülgi: 43	Jooniseid: 19	Tabeleid: 2	Lisasid: 4
Osakond:	metsatööstus		
Uurimisvaldkond:	taastuvenergia		
Juhendaja(d):	Andres Annuk, Allar Padari		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2017		
<p>Käesoleva uurimustöö eesmärgiks on uurida kuidas mõjutavad kliimaatilised tegurid päikesekollektori tootlikkust ja kui mõistlik on kasutada tahkeküttekatla kõrval lisaküttena päikeseenergiat. Samuti on analüüsitud millist mõju avaldab elektritarbimisele päikesekollektori lisamine energiavarustusse.</p> <p>Soojusenergia tootlikkust mõõdeti 2015. aasta oktoobrist 2017. aasta aprillini. Mõõtmised toimusid Põlvamaal, Partsi külas asuvas eramus, kuhu on küttesüsteemi lisatud 2 lamedapinnalist päikesepaneeli. Andmetena on kasutatud toodetud soojusenergia kogust (kWh), kuude keskmiseid õhutemperatuure (°C), kuude summaarseid päikesepaiste tunde (h) ja eramu elektritarbimist kuude kaupa (kWh). Kogutud andmeid on analüüsitud ja võrreldud kasutades programmis Microsoft Excel.</p> <p>Uurimusest selgus, et sooja vee kollektori tootlikkus on tugevas seoses kuu keskmise temperatuuriga. Samuti mõjutab suuresti tootlikkust temperatuuri ja päikesepaiste seos. Kõige tugevamalt aga mõjutab tootlikkust kuu keskmised päikesepaiste tunnid.</p> <p>Majanduslikes arvutustes selgus, et eramu energiavarustusse lisatud päikesekütte süsteemi tasuvusaeg ulatub 30 aastani. Sellest saab järeldada, et Lõuna - Eestis tahkeküttekatla kõrval lisaküttena päikeseenergia kasutamise mõistlikus on kaheldav.</p> <p>Elektrienergia tarbimist uurides selgus, et ei ole võimalik tuvastada päikesekollektori mõju tarbimisele. Arvesse on võetud tarbimist enne ja pärast kollektori lisamist energiavarustusse.</p>			
Märksõnad: taastuvenergia, päikeseküte, soojusenergia, päikesekollektor			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Mattias Herzmann		Speciality: Natural Resources management	
Title: Dwelling Energy Supply with Solar Heat Panels			
Pages: 43	Figures: 19	Tables: 2	Appendixes: 4
Department:		forest industry	
Field of research:		renewable energy	
Supervisors:		Andres Annuk, Allar Padari	
Place and date:		Tartu, 2017	
<p>The aim of this research is to investigate how climatic factors are affecting the productivity of the solar collector and if it is reasonable to use additional heating by solar energy next to solid fuel boiler. It also analyzed the impact of solar collectors to electricity consumption.</p> <p>Thermal energy productivity was measured between october 2015 and april 2017. Measurements took place in Põlva county at a private house where two flat plate solar water heater collectors have been installed. Data that has been used are the energy produced by the sun (kWh), monthly average air temperatures (°C), sum of the total monthly sunshine hours (h), and residential electricity consumption by months (kWh). The collected data is analysed and compared by using Microsoft Excel.</p> <p>The study revealed that the hot water collector productivity is highly correlated with the monthly average temperature. Great effect to productivity is the correlation between sunshine and air temperature. But the highest effect on the productivity has the average monthly sunshine hours.</p> <p>Economic calculations showed that the collector payback period reaches up to 30 years. This shows that it is not reasonable to add solar water heater to solid fuel boiler system</p> <p>Adding the solar water heater to such house energy supply does not show any changes in electricity consumption.</p>			
Keywords: renewable energy, solar heating, solar collector, thermal energy			

## Sisukord

SISSEJUHATUS .....	5
1 PÄIKESEENERGIA JA SELLE KASUTAMINE .....	6
1.1 Päikeseenergia .....	6
1.2 Esimesed kirjed päikeseenergia kasutamisest.....	7
1.3 Päikeseenergia kasutamine tänapäeval .....	9
2 PÄIKESEKÜTTEKOLLEKTORID .....	10
2.1 Statsionaarsed kollektorid.....	11
2.1.1 Lamedapinnalised kollektorid .....	11
2.1.2 Ühendatud parabool kollektorid .....	12
2.1.3 Vaakumtoru kollektorid.....	13
2.2 Kontsentreeritud kollektorid .....	14
2.2.1 Lineaarne Frenseli peegeldaja .....	15
2.2.2 Parabool kaus kollektor.....	16
2.2.3 Päikesetornid .....	17
3 PÄIKESE - SOOJUSKOLLEKTORITE SÜSTEEMID .....	18
3.1 Aktiivne süsteem.....	18
3.2 Passiivne süsteem .....	19
4 METOODIKA .....	23
4.1 Uuritava objekti kirjeldus .....	23
4.1.1 Päikeseküttekollektor .....	23
4.1.2 Tahkeküttekatel .....	24
4.1.3 Akumulatsioonipaak.....	24
4.1.4 Tarbevee boiler.....	24
4.1.5 Ringluspumbad.....	25
4.1.6 Kontrollerid .....	25
4.2 Päikeseenergia mõõtmine .....	25
4.3 Andmeanalüüs .....	26
5 Tulemused .....	28
6 MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED.....	32
6.1 Kirjeldus.....	32
6.2 Tasuvusarvutus .....	33
6.3 Elektrienergia tarbimise muutus .....	33
7 ARUTELU .....	35
KOKKUVÕTE .....	36
KASUTATUD KIRJANDUS .....	37
DWELLING ENERGY SUPPLY WITH SOLAR HEAT PANELS.....	39
LISAD .....	40

## SISSEJUHATUS

Aastal 2012 moodustas 55% globaalsest energia tarbimisest nafta ja maagaas. Tänapäevase tarbimise rahuldamiseks on vaja suuri industriaalseid pingutusi, et toota päevas 90 miljonit barrelit naftat. Samuti toodetakse meeletutes kogustes maagaasi mida isegi transpordidakse üle ookeanide kontinentide vahel. Samal ajal, kui nafta ja gaasitööstuse sektor pakub energiatooteid, on ta samuti ise väga suur energia tarbija (Wang jt 2017).

Päikeseenergia potentsiaalid said teadlased aru juba aastatuhandeid tagasi, kuid laialdasemalt on seda kasutama hakatud viimastel sajanditel. Tänapäevaks on välja arendatud mitmeid erinevaid päikeseenergia püüdmise seadmeid, mida kasutatakse nii elektri kui ka sooja vee tootmiseks. Üha enam on levinud ka päikeseenergia kasutamine eramajades. Päikesepaneelide tootlikus on kindlasti kõrgem piirkondades, mis on lähemal ekvaatorile, aga kindlasti on neil ka potentsiaali põhjamaades.

Käesolev bakalaureuse töö uurib, kui kasulik on Lõuna-Eestis kasutada tahkekütte kõrval lisakütteallikana lamedapinnalisi sooja vee kollektoreid. Uurimisobjektiks on eramaja Põlvamaal mille küttesüsteemi on aasta 2015 augustis paigaldatud päikesekollektor koos 2 paneeliga. Andmeid koguti 1 aasta ja 7 kuud ning nende põhjal arvutatakse välja tasuvusaeg ja kasuliku energia tootmise hulk. Saumuti on võrreldud elektritarbimist enne ja peale päikesekütte paigaldamist ning tootlikuse ja kliimaatiliste tingimuste seost.

Töö esialgseteks hüpoteesideks olid:

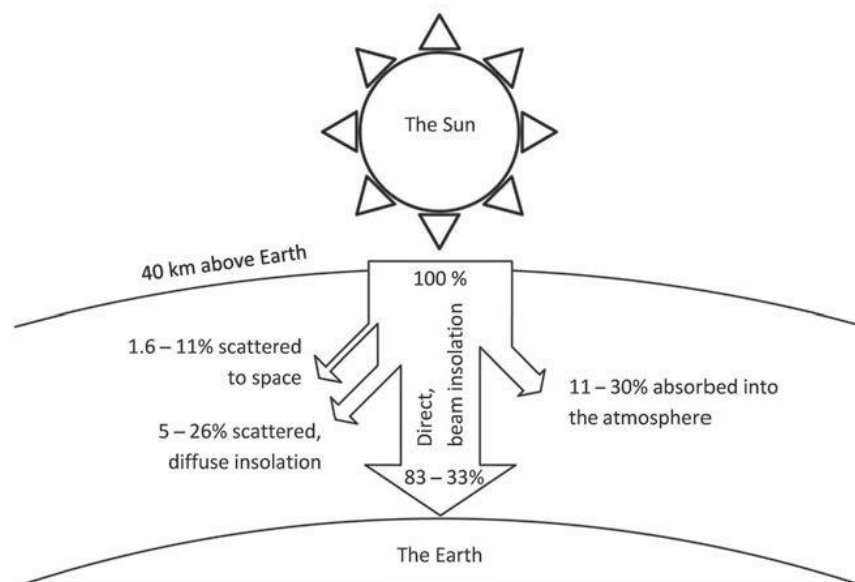
1. Päikesekollektori tootlikus sõltub rohkem päikesekiirguse intensiivsusest.
2. Lõuna-Eestis on otstarbekas kasutada tahkeküttekatla kõrval lisaenergia allikana päikeseenergiat.
3. Elektritarbimine langeb oluliselt, kui lisada küttesüsteemi päikesekollektor.

**Tänuavaldus:** Sooviksin tänada oma juhendajaid professor Andres Annukit ja vanemteadur Allar Padarit, kes olid mind alati valmis aitama ja juhendasid meisterlikult.

# 1 PÄIKESEENERGIA JA SELLE KASUTAMINE

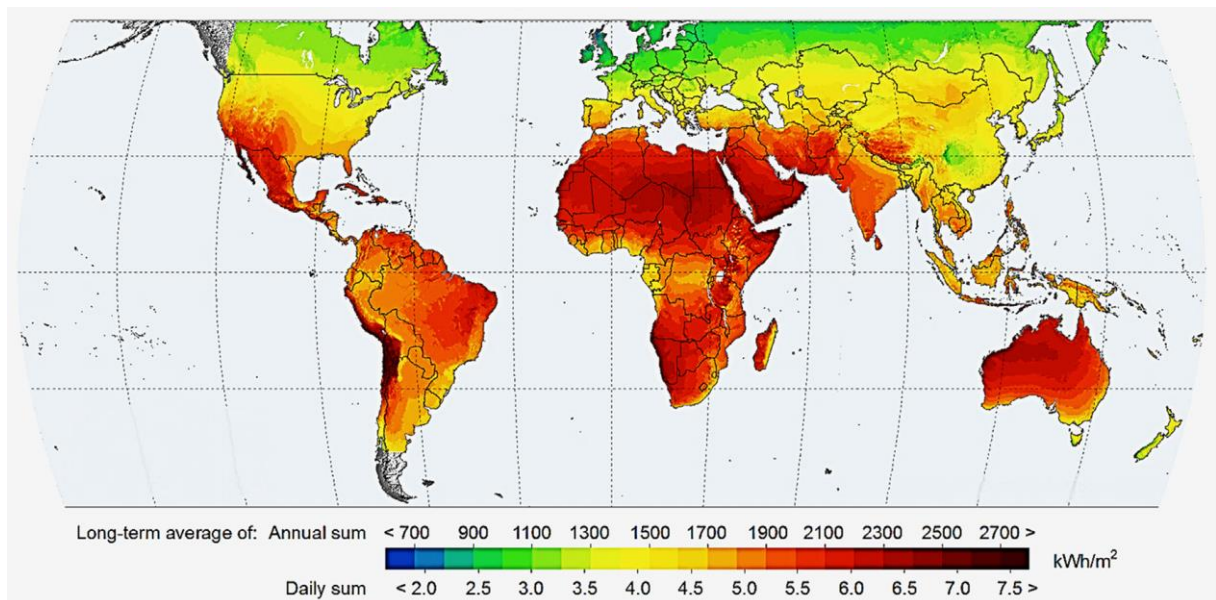
## 1.1 Päikeseenergia

Iga sekund muudab päike energiaks 4 tonni enda massist ning energia, mida looduslikeks protsessideks maal kulub, tuleb 99.8% päikeseenergiast (Pons, Ninyerola 2008). Keskmise maaväline kiirgus, mis jõuab atmosfääri ülapiirile keskmise maa ja päikese vahelise kaugusega, on  $1367 \text{ W/m}^2$  ning seda nimetatakse solaarkonstandiks (2010 Survey... 2010). Päike kiirgab ühes sekundis välja  $3.8 \times 10^{23}$  kW energiat ning sellest maale jõuab umbes  $1.8 \times 10^{14}$  kW (Kannan, Vakeesan 2016). Umbes 60% sellest jõuab maakera pinnale ning ülejäänud kas peegeldub tagasi kosmosesse või neeldub atmosfääris (joonis 1). Isegi kui 0,1% sellest allesjäänud päikeseenergiast 10% efektiivsusega muuta meile tarbitavaks energiaks, ületaks see neljakordselt kogu maailma energia tootmisvõimsuse. Teisest küljest vaadates on aastane päikeseenergia hulk, mis maale jõuab 7500 korda kõrgem, kui inimeste energiatarbimine aasta jooksul (World Energy...2013).



**Joonis 1.** Päikese kiirgusintensiivsuse hajumine atmosfääris (Punter 2012)

Päikesekiirguse tugevus oleneb suuresti ka millise nurga alt ta mingile alale paistab. Maakera pöörleb ümber päikese 23.5 kraadise nurga all ning selle tagajärjel tekivad aastaajad. Näiteks põhjapoolsetes piirkondades sügaval talvel, kui päike paistab madalalt lõunast ja kiirgus jõuab maale viltuselt läbi atmosfääri, siis on päikeseenergia hulk madal. Suurbritannias võib päikesekiirguse päevane summa erineda üsna palju olenevalt aastaajast. Kui talvel on päevane kiirgusesumma tavaliselt  $0.5 \text{ kWh/m}^2$ , siis suvel võib see tõusta kuni  $5 \text{ kWh/m}^2$  päevas. Troopilistes piirkondades aga suuri aastaegade muutusi ei toimu ning seega on seal keskmine kiirgusintensiivsuse summa  $6 \text{ kWh/m}^2$  päeva kohta. Kõrbelistes piirkondades nagu Nigeerias ja Saharas, võib päevane päikesekiirguse summa kasvada kuni  $7 \text{ kWh/m}^2$  päevas (joonis 2) (Punter 2012).



**Joonis 2.** Globaalse horisontaalkiirguse kaart (Kannan, Vakeesan 2016)

## 1.2 Esimesed kirjed päikeseenergia kasutamisest

Idee päikeseenergia kollektorite kasutamisest tuleneb eelajaloolistest kirjetest 212 eKr, kui Kreeka füüsik/teadlane Archimedes töötas välja meetodi hävitada Rooma laevastiku. Archimedes olevat ründava Rooma laevastiku süüdanud põlema, kui ta tekitas sadadest poleeritud kilpidest nõgusa peegli, mis suunas päikesekiired ühe laeva pihta (joonis 3). Ka Kreeka ajaloolane Plutarch viitas ajavahemikul 46-120 pKr sellele sündmusele. Ta kirjutas,



et kui Roomalsed nägid millist kahju oli tekitatud neile nähtamatute vahenditega, arvasid nad, et võitlevad jumalatega. Põhiküsimus on aga selles, kas Archimedesel oli piisavalt teadmisi, et ehitada selline seade ja kaugusest laevad põlema panna. Väidetavalt kirjutas ta ka raamatu „Põletavad peeglid“, aga ühtegi koopiat pole säilinud, et tõestada tema tegevust (Kalogirou 2004).



**Joonis 3.** Seinamaal Itaalias, mis kujutab Archimedese hävituslikku relva (Parigi 1599-1600)

Esimest korda hakati kasutama päikeseenergiat laialdasemalt 18. sajandil ahjudes. Ehitamisel kasutati poleeritud rauda, peegleid ja klaasist läätsesid ning need olid võimelised sulatama rauda ja vaske. Sellised ahjud olid kasutuses üle Euroopa ja Lähis-Idas. Üks ahi, mis oli disainitud Prantsuse teadlase Antoine Lavoisieri poolt, saavutas koguni temperatuuri 1750 °C. See rekord jäi püsima järgmiseks sajaks aastaks (Kalogirou 2004).



### **1.3 Päikeseenergia kasutamine tänapäeval**

Energia, mis tuleb päikeseradiatsioonist, saaksime kasutada igapäevaelus kütmisel, jahutamisel, valgustusel, jõupaigaldistes, transpordis jne. Paljud sellised seadmed on juba oma hinnaga konkurentsivõimelised tavaliste energiaallikatega. Näiteks võiks tuua selle, et elektrivõrgust kaugel asuvate seadmete elektrienergia tootmine tavaliste diiseldiiselaatoritega vahetatakse välja päikeseelektrijaamadega. Populaarsemad ja tuntumad on PV- süsteemid ja sooja vee tootmiseks kasutatavad päikesekollektorid (2010 Survey...2010).

Kõige rohkem arenenud tehnoloogia on päikese-soojuspaneelid ja samuti on nad väga kulueffektiivsed, kui võtta arvesse nende elutsükli maksumust. Siiski on sellise süsteemi majanduslik investering mitmeid kordi kõrgem, kui elektrilistel vett soojendavatel seadmetel. Seetõttu enamusi inimesi siiski valivad klassikalise elektriboileri. Paljudes riikides aga makstakse selliste süsteemide ehitamiseks toetusi, et tavatarbija saaks sooja vee kätte läbi päikeseenergia. Tänu sellele on päikeseenergial töötavate veesoojendite müük kasvamas igal aastal 25%. Päikese-soojuspaneelidel oleks üsna suur mõju kasvuhooonegaaside ja elektrijaama tippkoormuse vähendamisel. Näiteks, kui kõik soojeveeboilerid Ameerika Ühendriikides (neid on umbes 100 miljonit) asendada päikese-soojuspaneelidega, vähendaks see tippkoormust 100GW võrra (2010 Survey...2010).

## 2 PÄIKESEKÜTTEKOLLEKTORID

Päikeseküttekollektorid on spetsiaalsed soojusvahetid, mis muudavad päikesekiirguse soojusenergiaks. Iga päikeseküttesüsteemi põhiliseks komponendiks on kollektor. See on seade, mis neelab päikesekiirgust ja muudab selle soojuseks ning seejärel kannab selle üle vedelikule (tavaliselt kas vesi, õhk või õli) mis voolab läbi kollektori. Kogutud soojusenergia kantakse ringleva vedeliku abil edasi kas otse kasutamiseks, või salvestatakse akupaaki, kus seda saab hiljem kasutada öösel või pilvistel päevadel (Kalogirou 2004).

Table 1  
Solar energy collectors

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30–80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50–200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1–5	60–240
Single-axis tracking			5–15	60–300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10–40	60–250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15–45	60–300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10–50	60–300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100–1000	100–500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100–1500	150–2000

*Note:* Concentration ratio is defined as the aperture area divided by the receiver/absorber area of the collector.

### Joonis 4. List erinevatest kollektoritest (Kalogirou 2004)

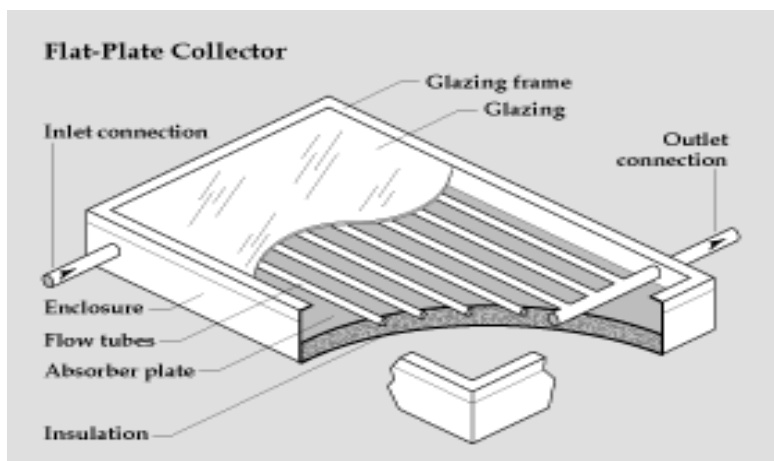
Põhiliselt on kasutuses kahte tüüpi kollektoreid: mitte kontsentreeritud või statsionaarne ja kontsentreeritud. Kontsentreeritud kollektorite pind on nõgus, et fokuseerida päikesekiiri väiksemale alale kokku ning selle tagajärjel tõsta kiirgusvoo intensiivsust. Praegusel ajal on müügis väga palju erinevaid kollektoreid. Joonisel nr 3 on välja toodud kompleksne list levinumatest kollektoritüüpidest (Kalogirou 2004).

## **2.1 Statsionaarsed kollektorid**

Päikeseenergia kollektoreid eristatakse nende liikumise järgi ja selles alapeatükis vaatleme just selliseid kollektoreid, mis on fikseeritud positsioonis ning ei jälita päikest. Sellesse kategooriasse langevad kolme tüüpi kollektoreid: 1. Lamedapinnaline kollektor; 2. Ühendatud parabool kollektor; 3. Vaakumtorukollektor (Kalogirou 2004).

### **2.1.1 Lamedapinnalised kollektorid**

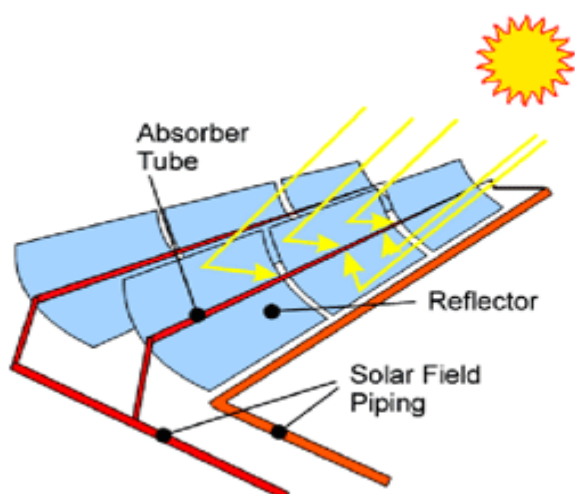
Lamedapinnalised kollektorid on siiaaani leidnud kõige laialdasemat kasutust. Nende omadus on väga hästi uuritud ning nende tootmine, hooldamine ja paigaldamine on võrreldes teiste kollektoritega odavam. Veelgi enam on lamedapinnalised kollektorid võimelised kasutama nii hajusat kui ka otsest päikesekiirgust. Neid kasutatakse eramutes ja ärihoonetes, et toota sooja vett basseinidesse, maja kütmiseks või tarbevee soojendamiseks. Lamedapinnalised kollektorid võivad väga lihtsalt saavutada temperatuuri kuni pluss 40 – 70°C. Selliste kollektorite kolm põhilist komponenti on päikeseenergiat neelav plaat, küttetorud ja kattev konstruktsioon (joonis 5). Samuti peab olema kollektor hästi isoleeritud, et vähendada võimalikult palju soojakadu. Isolatsioonimaterjal peab olema kõrgetel temperatuuridel stabiilne nii mõõtmetelt kui ka keemiliselt. Üldiselt kasutatakse kivivilla (Amrutkar jt 2012). Lamedapinnalised kollektorid on tavaliselt püsivalt fikseeritud positsioonis ning ei jälita päikese liikumist. Kollektor peaks olema suunatud ekvaatori poole ja optimaalne nurk võiks olla asukoha laiuskraad pluss-miinus 10-15 kraadi (Kalogirou 2004).



**Joonis 5.** Lamedapinnalise kollektori ehitus. Insulation – isolatsioon; absorber plate – neelduv pind; flow tubes – soojuskandja torud; enclosure – raamistik; inlet connection – sisselaske ühendus; glazing frame – glasuuri raam; glazing- glasuur; outlet connection – väljalaske ühendus (Kalogirou 2004)

### 2.1.2 Ühendatud parabool kollektorid

Parabool kollektorid suudavad tänu oma ehitusele ilma päikest jälitamata neelata päikeseenergiat üsna laiaulatuslikult. Vajadus kollektoreid liigutada päikese järgi väheneb tänu kahele üksteisega vastamisi paigutatud päikesekiirte suunajale (vt joonis 6) (Kalogirou 2004).



**Joonis 6.** Ühendatud parabool kollektor (Khare jt 2014)

Kasutades mitmeid sisemisi peegeldajaid, leiab peaaegu iga päikesekiir mis siseneb sellesse aparatuuri, oma tee kollektori põhjas olevasse vastuvõtjasse (Kalogirou 2004). Kui

tekib vajadus transportida kõrgeid temperatuure efektiivselt ja odavalt, siis on just parabool kollektorid õige valik. Selliseid kollektoreid kasutatakse tavaliselt aktiivses ja kaudses vee soojendamise süsteemis (joonis 6) (Khare jt 2014).

### 2.1.3 Vaakumtoru kollektorid

Traditsioonilised lamedapinnalised kollektorid arendati välja piirkondadesse, kus on pigem soe ja päikesepaisteline kliima. Kui aga ilm muutub külmaks, tuuliseks ja pilviseks langeb nende efektiivsus suuresti. Vaakumtoru kollektorid opereerivad võrreldes teiste turul olevate kollektoritega täiesti erinevalt. Sellised kollektorid on demonstreerinud, et kombinatsioon õigest pinnamaterjalist ja efektiivsest konvektsioonist võivad anda väga häid tulemusi kõrgetel temperatuuridel. Nagu ka lamedapinnalised kollektorid töötavad nad nii otsese kui ka kaudse päikese kiirgusega (Kalogirou 2004).

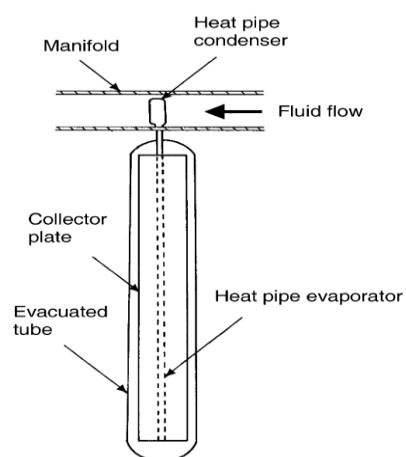


Fig. 5. Schematic diagram of an evacuated tube collector.

### Joonis 7. Vaakumtoru kollektori põhimõtteskeem (Kalogirou 2004)

Vaakumtoru kollektorid kasutavad soojusagensi aurustumis faasi, et kanda üle soojust efektiivselt. Nende kollektorite iseärasus on vasest soojustoru (väga efektiivne soojusülekanne), mis on paigutatud vaakumtoru sisse. Vasest kinnine soojustoru sisaldab väheses koguses vedelikku (nt. metanooli), mis läbib aurustumise – kondenseerumise tsükli. Selles tsükklis kollektoris olev vedelik soojendatakse üles ja aurustatakse päikeseenergia abil. Seejärel aur liigub soojustoru kondensaatorisse, kus see kondenseerub ning vabastab enda latentse soojuse. Kondenseerunud vedelik seejärel liigub tagasi

kollektorisse, kus sama protsess kordub. Vabanenud soojus kogutakse soojusvahetisse, kus voolab vesi või glükool. Üles soojendatud vedelik ringleb läbi teise soojusvaheti (mis asub akupaagis) ning annab enda soojuse edasi juba näiteks tarbeveele (joonis 7) (Kalogirou 2004).

## 2.2 Kontsentreeritud kollektorid

Energia tarne temperatuuri on võimalik tõsta, kui vähendada pindala, kus on võimalik soojakaol tekkida. Kui koondada suur hulk päikesekiirgust väiksemale alale, on võimalik saavutada temperatuur, mis pole lamedapinnaliste kollektoritega võimalik. Selleks lisatakse optiline seade radiatsiooniallika ja energiat absorbeeriva pinna vahele. Kontsentreeritud kollektorid omavad mitmeid eeliseid võrreldes klassikalist tüüpi kollektoritega (Kalogirou 2004).

Põhilised eelised on:

1. Töövedelikul on võimalik saavutada palju kõrgem temperatuur. Tänu sellele ka kõrgem termodünaamiline efektiivsus;
2. Peegelduspinnad nõuavad vähem materjali, on struktuuriliselt lihtsama ehitusega ja pinnaühiku hind tuleb odavam kui lamedapinnalistel kollektoritel;
3. Termiline efektiivsus on kõrgem tänu vähesele soojakaole;
4. Majanduslikult tasuvad.

Nõrgad küljed:

1. Vajavad mingisugust liikumismehhanismi, et jälitada päikese liikumist taevakaarel;
2. Peegelduspinnad võivad aja jooksul määrduda ning kaotada oma peegeldumisvõime;
3. Vajavad perioodilist puhastust ja remonti;
4. Hajuskiirguse kogumise efektiivsus on madal.

Kontsentreeritud kollektorite juures on käsitletud erinevaid disaine. Koondaja võib olla reflektor või refraktor, silindri kujuline või parabool, katkematu või lüliline. Vastuvõtja võib olla kumer, lame, silinder või nõgus ning kaetud glasuuriga või katteta. Kuna päike on

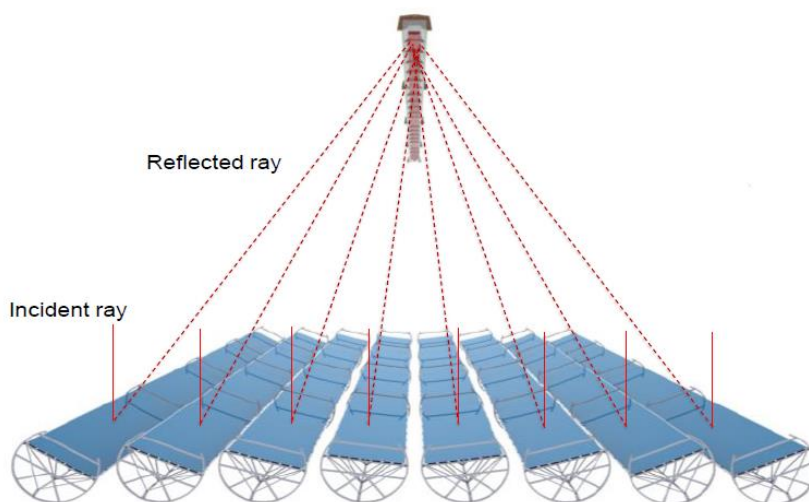
taevas pidevas liikumises, siis traditsioonilised kontsentreeritud kollektorid peavad jälitama päikese päevast liikumist (Kalogirou 2004).

Sellesse kategooriasse kuuluvad kollektorid on:

1. Lineaarne Fresneli peegeldaja;
2. Parabool kauss;
3. Kesk-vastuvõtja.

### 2.2.1 Lineaarne Fresneli peegeldaja

Fresneli peegeldamise tehnoloogia on veel noor ning on juba kasutusele võetud kontsentreeritud kollektorite valdkonnas. Sellise peeglite tehnoloogia kavandas Prantsuse füüsik Augustin-Jean Fresnel (1788-1827). Esialgu kasutati sellist peegeldussüsteemi laevade indikaatorituledes. Aastal 1962 disainis aga Itaalia matemaatik Giovanni Francia esimese lineaarse fresneli kontsentraatori prototüübi, mille veeauru temperatuur ulatus 450 °C-ni (Mokhtar jt 2016). Lineaarne Fresneli päikesekollektori süsteem (joonis 8) sisaldab paralleelselt ritta paigutatud peegeldajaid, ühe teljega jälitussüsteemi ja õõnsat vastuvõtjat, mis asub kõrgel peegeldajate kohal (Linear Fresnel Reflector...2014).



**Joonis 8.** Lineaarne fresnel peegeldaja põhimõtteskeem (Linear Fresnel Reflector...2014)

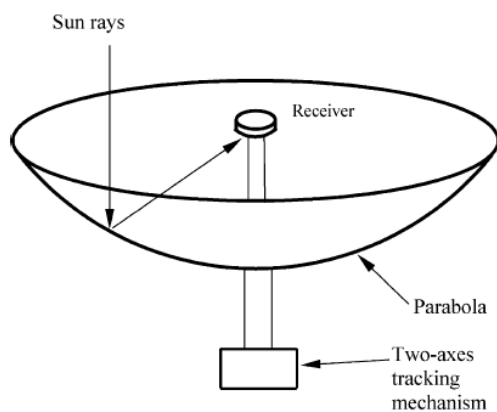


## 2.2.2 Parabool kauss kollektor

Parabool-kauss on punkt-fookus kollektor mis jälitab päikest kahe teljega ning kontsentreerib päikeseenergia ühte punkti kausi keskel (joonis 9). Selline struktuur peab pidevalt liikuma koos päikesega, et suunata kiired otse vastuvõtjasse. Sarnaselt teistele kollektoritele ringleb ka selles süsteemis vedelik, mis saab soojust vastuvõtjast. Parabool-kauss süsteemis võib temperatuur tõusta kuni 1500 °C (Kalogirou 2004).

Parabool-kausi eelised:

1. Kuna vastuvõtja on suunatud alati päikese poole, siis võrreldes teiste süsteemidega on see kõige efektiivsem.
2. Neil on modulaarsed kollektori ja vastuvõtja elemendid, mis võivad funktsioneerida nii üksikult kui ka osana suuremast süsteemist.



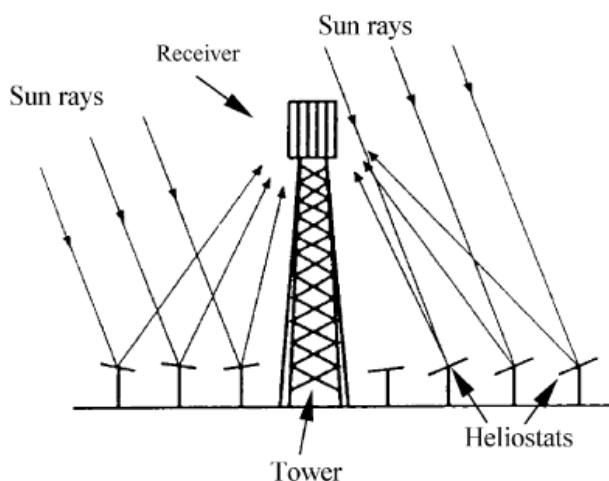
**Joonis 9.** Parabool – kauss kollektori põhimõtteskeem (Kalogirou 2004)

Põhiliselt kasutatakse sellist tüüpi koondajaid mootorites kuhu on integreeritud parabool kauss kollektor. Põhimõtteliselt on need elektrigeneraatorid, aga fossiilsete kütuste asemel kasutavad nad päikeseenergiat (Kalogirou 2004).

### 2.2.3 Päikesetornid

Kesk-vastuvõtja süsteemis (joonis 10) suunavad heliostaadid päikesekiired vastuvõtjasse, kus tõusevad temperatuurid väga kõrgele. Heliostaadid on disainitud jälitama päikese liikumist päevasel ajal kahes suunas. Vastuvõtjad neelavad kontsentreeritud päikesekiirguse endasse ning muudavad selle soojusenergiaks, mis kantakse edasi vedeliku abil soojusvahetisse. Seejärel tekib soojusvahetis veeaur, mis paneb tööle turbiini. Turbiin omakorda käivitab generaatori, mis toodab elektrit (Alexopoulos, Hoffschmidt 2016).

Keskmine päikeseenergia hulk vastuvõtjale on vahemikus 200 ja 1000 kW/m<sup>2</sup>. Sellise energiahulga juures võivad temperatuurid tõusta kõrgemale kui 1500 °C. Kesk-vastuvõtja süsteemid on kergesti võimalik integreerida ka fossilsete kütuste peal töötavate tehastega (Kalogirou 2004).



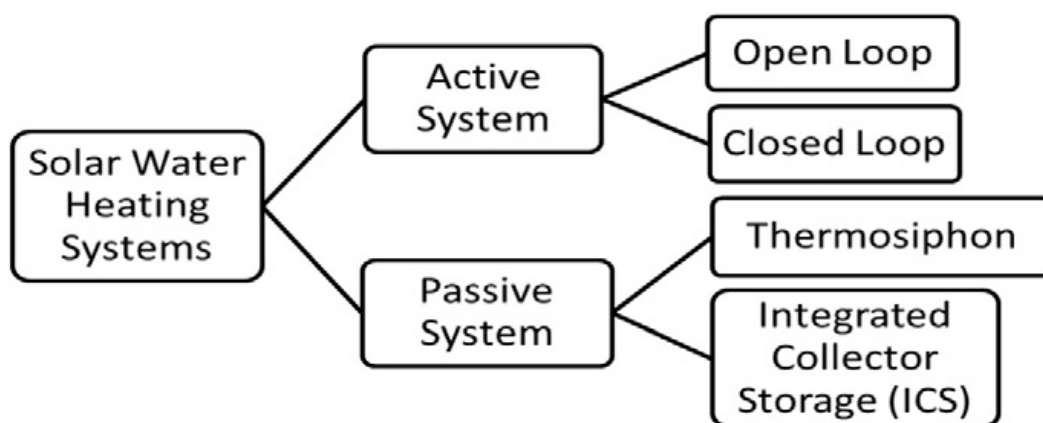
**Joonis 10.** Päikesetorni põhimõtteskeem (Kalogirou 2004)

Päikesetornide eelised:

1. Koguvad päikeseenergia optiliselt ning kannavad selle edasi ühele vastuvõtjale. Nõndaviisi minimaliseeritakse soojusenergia transpordi kulutusi;
2. Salvestavad soojusenergiat;
3. Võimsuselt üsna suured (tavaliselt rohkem kui 10 MW) ning seega on mastaabisääst kasumlikum;
4. Koguvad päikeseenergiat ja muudavad seda elektrienergiaks väga efektiivselt.

### 3 PÄIKESE - SOOJUSKOLLEKTORITE SÜSTEEMID

Kõige lihtsamad süsteemid, mida saab kasutada vee soojendamiseks päikeseenergia abil kodudes, sisaldavad kollektorit, akupaaki, isoleeritud torusid ja lisatoiteallikat (Nogueira jt 2016). Need süsteemid saab jagada kahte põhilisse kategooriasse: aktiivne- ja passiivne süsteem (joonis 11). Aktiivne süsteem jaguneb omakorda avatud ja kinniseks silmuseks ning passiivne süsteem jaguneb termisofoon- ja integreeritud kollektoriteks (Jamar jt 2016).



Joonis 11. Päikesekütte kollektorite süsteemid (Jamar jt 2016)

#### 3.1 Aktiivne süsteem

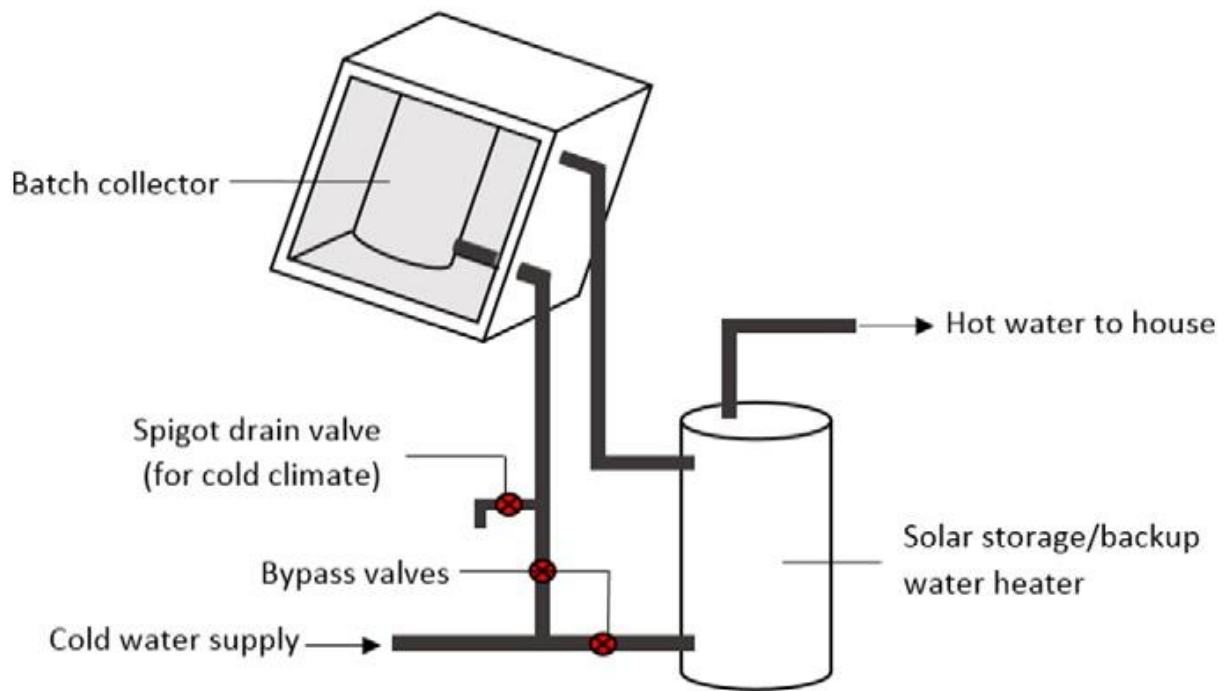
Selline süsteem kasutab vee soojendamiseks kollektoreid, energia salvestamiseks salvestusüksuseid ja jaotussüsteemi, et energia juhtimine oleks kontrollitud. Vee või mõne muu soojust juhtiva vedeliku ringi ajamiseks kasutatakse elektri pumпасid, erinevaid klappe ja kontrollereid. Selline süsteem on tuntud ka kui sund ringlus süsteem ning seda võib jaotada kaheks: avatud (otsene) ja kinnine (kaudne) sõlm (Jamar jt 2016).

Avatud ringluses soojendatakse kollektoris majapidamises kasutatavat vett otseselt. Kui vesi on soojaks köetud, pumbatakse see akupaaki ning sealt edasi juba maja peale laiali.

Kuna sellises süsteemis kasutatakse kollektorites tavalist vett, siis saab seda kasutada ainult piirkondades, kus temperatuur ei lange alla 0 kraadi. Suletud ehk kaudses ringluses soojendatakse mittekülmuvat vedelikku kollektorites, mis pumbatakse edasi akupaaki. Akupaagis toimub soojusülekanne läbi soojusvaheti, kus päikese poolt üles köetud soojust juhtiv vedelik annab enda energiat edasi majapidamises kasutatavale veele (Jamar jt 2016). Kuna suletud süsteemi on kallim ehitada, siis kasutatakse seda külmemates piirkondades, et hoiduda süsteemi ära külmumisest (Noguiera jt 2016).

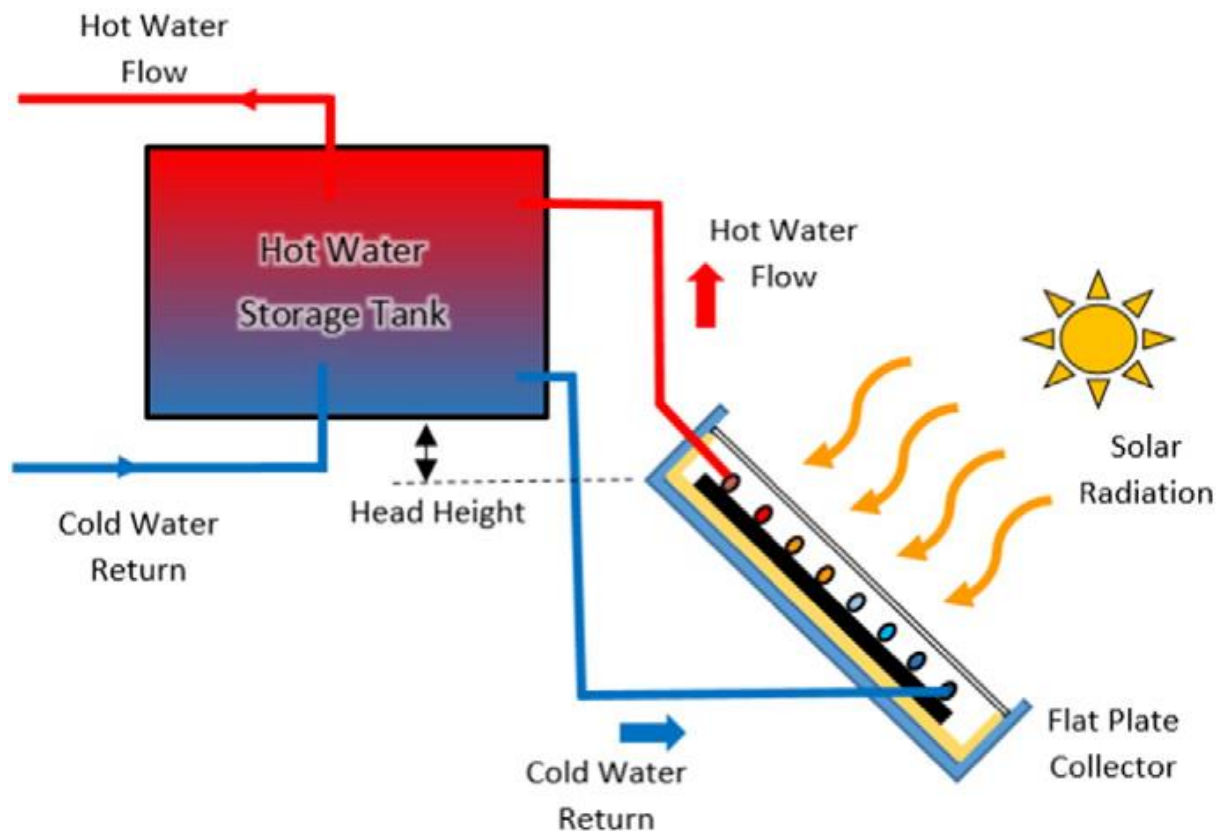
### **3.2 Passiivne süsteem**

Passiivne süsteem töötab ilma igasuguste mehhaaniliste seadmeteta ning kasutab looduslikku soojusülekannet vee ringi ajamiseks kollektori ja akupaagi vahel (joonis 12). Sellises süsteemis vedelik soojendatakse järk-järgult üles ning seejärel vee tihedus kollektoris langeb. Näiteks kui kollektor kogub päikeseenergiat, tõuseb selles temperatuur ja rõhk ning rõhu abil surutakse üles soojenenud aine kollektori ülemisest osast akupaaki. Akupaagi alumises osas olev külm vedelik voolab edasi kollektorisse soojenema. Ringlus toimub niikaua, kui päikeseenergia on saadaval. Parimad näidised passivsetest süsteemidest on termosifoon (joonis 13) ja kollektoriga integreeritud akupaak (Jamar jt 2016).



**Joonis 12.** Passiivne päikeseküttesüsteem sooja vee tootmiseks (Jamar jt 2016)

Termosifoon süsteemid on kõige sagedasemalt müügis olevad ja lihtsamini kättesaadavad. Katusele paigaldatav kollektor sisaldab veel akupaaki ja torustikku ning seetõttu peab kindlasti kontrollima katuse kandevõimet. Selline süsteem on aga lihtne ja vajab üsna vähe tehnilist hooldust. Kuigi termosifoon süsteem ilmus turule juba aastakümneid tagasi, on ta kasutuses edukalt ka tänapäeval. Nende efektiivsus on erakordne arvestades nende ehituslikku lihtsust ja minimaalset hooldamise vajadust. Seetõttu on ka tänapäeval passiivne süsteem väga hea alternatiiv pumpadega varustatud süsteemi kõrval (Jamar jt 2016).



**Joonis 13.** Termosifoon süsteemi põhimõtteskeem (Jamar jt 2016)

Teine näide passiivsest süsteemist on kollektoriga integreeritud akupaak (joonis 14). See on kombinatsioon päikeseenergiakollektorist ja akupaagist mis mõlemad asuvad samas seadmes. Olles samal ajal üks kõige lihtsamatest vormidest päikeseenergiat töötavatest veesoojendajatest, on nad ka odavad (Jamar jt 2016). Vaatamata paljudele eelistele ei olnud sellised süsteemid ühiskonnas väga populaarsed, kuna nende soojakadu öösel ja pilvise ilmaga oli suur. Viimastel aastatel on aga integreeritud veesoojendajate vastu hakanud huvi tundma mõned insenerid ja teadlased. Nad on suutnud tõsta nende tootlikust ja vähendada soojakadusid (Singh jt 2015).



**Joonis 14.** Kollektoriga integreeritud akupaak (Singh jt 2015)

Esimest korda demonstreeriti sellised akupaake 18. sajandi lõpus USA kagu piirkonnas. Prooviks paigutati need mõnedesse farmidesse sooja tootmiseks ning süsteemid tootsid päikesepaistelise päeva jooksul küllaldases koguses sooja vett. Aastal 1891 patenteeris Clarence M. Kemp kaubanduslikult toodetud süsteemi nimega „Climax“ mis oli kollektoriga integreeritud akupaak. Selles süsteemis paigutati metallist paak puidust tehtud kasti sisse ja pealt kaeti kast klaasiga. See süsteem suutis päikesepaistelisel päeval vett soojendada kuni 38,8°C (Singh jt 2015).



## 4 METOODIKA

### 4.1 Uuritava objekti kirjeldus

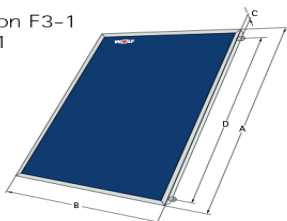
Uurimus on läbi viidud Kagu – Eestis, Põlva vallas, Partsi külas, Mõisaveere talus (Lisa 1). Hoone ehitusperiood jääb vahemikku 1841-1917 (Partsi mõis peahoone 2010). Hoone on esialgselt ehitatud puidust, kuid hiljem on tehtud juurdeehitusi telliskivist. Elamispind läbi kahe korruse koos pööninguga on umbes 288 ruutmeetrit. Hoone küttesüsteem koosneb: kahest lamedapinnalistest päikeseküttekollektoritest (lisa 2), tahkeküttekastlast, radiaatoritest, põrandaküttekontuurist, akumulatsioonipaagist, elektrilisest soojaveeboilerist, anduritest, torustikust, ringluspumpadest ja segamissõlmedest. Päikese soojuspaneelid on küttesüsteemi juurde lisatud 2015. aasta augustis.

#### 4.1.1 Päikeseküttekollektor

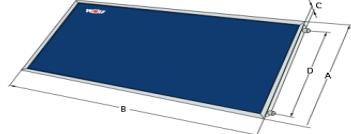
Kõrvalhoone katusele on paigaldatud 2 TopSon F3-1 (joonis 15) lamedapinnalised päikeseküttekollektorid ning mis on ühendatud jadamis. Kollektorid on maapinna suhtes paigaldatud 60 kraadise nurga alla ning suunaga lõuna poole.

#### Specification

TopSon F3-1  
CFK-1



TopSon F3-Q



Suure võimsusega lamekollektorid	Tüüp	TopSonF3-1
Pikkus	A mm	2099
Laius	B mm	1099
Sügavus	C mm	110
Peale-/tagasivool	D mm	1900
Ühendused (kinnitus lamedale pinnale umbmutriga)	G	3/4"
Kaldenurk		15° kuni 90°
Optiline tõhusus *	%	80,4
Soojuskao koefitsient $a_1^*$	W/(m <sup>2</sup> K)	3,235
Soojuskao koefitsient $a_2^*$	W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )	0,0117
Maksimaalne temperatuur läbivoolu puudumisel	°C	194
Kiirguse langemisnurga parandustegur IAM-50 *	%	94,0
Soojusmahtuvus C *	kJ/(m <sup>2</sup> K)	5,85
Maksimaalne töörohk	barr	10
Kollektori pindala	m <sup>2</sup>	2,3
Absorberi pind	m <sup>2</sup>	2,0
Maht	liitrit	1,7
Mass (tühjana)	kg	40
Soovitav voolumäär ühe kollektori kohta	liitrit tunnis	30-90
Keskmine soojuseraldus		
Solar-Keymarki registreerimisnumber		011-7S260F

Joonis 15. TopSon F3-1 tehniline info (päikeseenergia tehnoloogia 2012)

#### 4.1.2 Tahkeküttekatel

Katlana on kasutusel ATTACK DPX 45 PROFI (tabel 1), mis on varustatud väga efektiivse suitsugaaside soojusvahetiga. Lisaks oma modernsele välimusele vastab tahkeküttekatel Euroopa kõrgeimatele klassinormidele (EN303-5).

**Tabel 1.** Tahkeküttekatla tehnilised parameetrid (ATTACK DPX 45 PROFI)

Kaal	490 kg
Nominaalvõimsus	18-45 kW
Maksimaalne vee töösurve	250 kPa
Põlemiseefektiivsus	90,2%
Vee mahutavus	128 l
Vee soojendamise temperatuuri vahemik	65-90 °C
Suitsugaaside nominaaltemperatuur	190 °C
Keskmine kütuse tarbimine	11,75 kg/h
Soojusvaheti pind	3,03 m <sup>2</sup>

#### 4.1.3 Akumulatsioonipaak

Akumulatsioonipaak valmistati tellimustööna ning mahutab 2700 l vett. Kaetud on see 100mm kihi klaasvillaga ning varustatud kolme termomeetriga, mis asetsevad erinevatel kõrgustel. Põhiline eesmärk on akupaagil on salvestada päikeseküttekollektoritest ja tahkeküttekatlast saadud soojusenergiat. Paagi põhjas asetseb spiraal, mis toimib päikeseenergia soojusvahetina.

#### 4.1.4 Tarbevee boiler

Tarbevee boilerina on kasutusel SON 300, millest jookseb läbi 2 spiraalset soojusvahetit. Üks spiraal on katla ja teine päikesekollektori jaoks. Samuti on boiler varustatud elektrilise küttekehaga, mille võimsus on 4,5 kW.

#### **4.1.5 Ringluspumbad**

Küttesüsteemis on kasutusel viis ringluspumpa, mis juhivad vett viies erinevas süsteemis. Nendeks on: põrandaküttesüsteem, päikesekollektor, katlaring, soojavee boiler ja keskkütte radiaatorid. Ringluspumpade juhtimine käib läbi kontrolleriite.

#### **4.1.6 Kontrollerid**

Juhtkontrollereid on küttesüsteemis kokku 4. Kaks kontrollerit on katla jaoks, üks päikesekollektorile ja viimane juhib keskküttesüsteemi ning samal ajal ka soojavee boilerit. Katla kontrolleritest üks juhib töörežiimi (ventilatsiooni tööd) ja teine katla vee temperatuuri.

### **4.2 Päikeseenergia mõõtmine**

Päikeseenergia mõõtmine toimus alates 2015. aasta oktoobrist kuni 2017. aasta aprillini ja mõõtmiste periood oli 19 kuud. Andmete vaatlus ja kirjapanek toimus selle perioodi jooksul kokku 40 korda. Tulemuste kirjapanek toimus tavaliselt 2 korda kuu jooksul ning mõnel korral ka rohkem. Mõõteriistaks oli Kamstrup PICOCAL Pt 500 – IEC 751(lisa 3), mis loeb sellest läbivat vee soojusenergiat. Mõõtühikuks on megavatt tunnid ning vähim väärtus, mida lugeda saab on 10 kWh. Seega on kõik tulemused teisendatud kilovatt-tundideks ja tulemused 10 kWh täpsusega. Kuna mõõtmised toimusid hoones sees, siis pole tulemustest eraldi trassi soojakadu vaja maha arvestada. Tulemustes on reaalne soojusenergia hulk, mis on jõudnud akupaaki.

### 4.3 Andmeanalüüs

Andmeanalüüs on tehtud programmis Microsoft Excel. Arvesse võetud mõõtmiste perioodi kliimaatilisi tingimusi. Tootlikust võrreldi iga kuu päikesepaiste summaga (tundides) ja keskmiste temperatuuridega. 2015 ja 2016 aasta ilmaandmed pärinevad Võru meteoroloogiajaamast, mis asub kollektorist linnulennult 21 km kaugusel. 2017 aasta kohta kahjuks Võru meteoroloogiajaamast andmeid polnud võimalik saada ning seega on selle perioodi andmed võetud Eesti keskmiste järgi.

Tootlikuse modellerimiseks kasutati regressioonanalüüsi. Valemikuju valimisel kasutati erinevaid tunnuseid (rekordid 2017):

1. Kõige külmema kuu keskmine temperatuur  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\min}$ );
2. Kõige soojema kuu keskmise temperatuuri ja kõige külmema kuu keskmise temperatuuri vahe:  $23,4 - (-18) = 41,4$  kraadi ( $T_{\text{haare}}$ );
3. Kollektorikuu maksimaalne tootlikkus ideaaltingimustes – ca.  $2\text{ kW} * 10\text{h} * 30$  päeva =  $600\text{ kWh/kuu}$  ( $Q_{\max}$ ).

$$Q = Q_{\max} \cdot \left( 1 - e^{a \cdot \ln\left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\text{haare}} + 1}\right)^3 \cdot \left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\text{haare}}}\right)} \right) \quad (1)$$

kus  $Q$  – energia tootlikkus, kWh/kuu;

$Q_{\max}$  – kollektorite maksimaalne tootlikkus ideaaltingimustes, kWh/kuu (600);

$T$  – kuu keskmine temperatuur,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{\min}$  – kõige külmema kuu keskmine temperatuur,  $^{\circ}\text{C}$  (-18);

$T_{\text{haare}}$  – kõige soojema ja kõige külmema kuu keskmise temperatuuri vahe,  $^{\circ}\text{C}$  (41,4);

$a$  – regressioonivalemi konstandid.

Valemisse tulevad numbrid 18 ja 41,4. 18 seetõttu, et logaritmi negatiivset arvust võtta ei saa ja 41,4 seetõttu, et andmed jääksid vahemikku 0-1

Regressioonianalüüsiks teisendati valem lineaarsele kujule:

$$\ln\left(1 - \frac{Q}{Q_{\max}}\right) = a \cdot \ln\left(\frac{(T - T_{\min})}{T_{haare}} + 1\right)^3 \cdot \left(\frac{(T - T_{\min})}{T_{haare}}\right) \quad (2)$$

Tootlikkuse ja päikesepaiste tundide vahelise seose kirjeldamisel kasutati järmist valemikuju:

$$Q = Q_{\max} \cdot \left(1 - e^{a \cdot \ln(P/100+1) \cdot (P/100)}\right) \quad (3)$$

kus  $Q$  – energia tootlikkus, kWh/kuu;

$Q_{\max}$  – kollektorite maksimaalne tootlikkus ideaaltingimustes, kWh/kuu (600);

$P$  – kuu keskmine päikesepaiste kestus, h/kuu;

$a$  - regressioonivalemis konstandid.

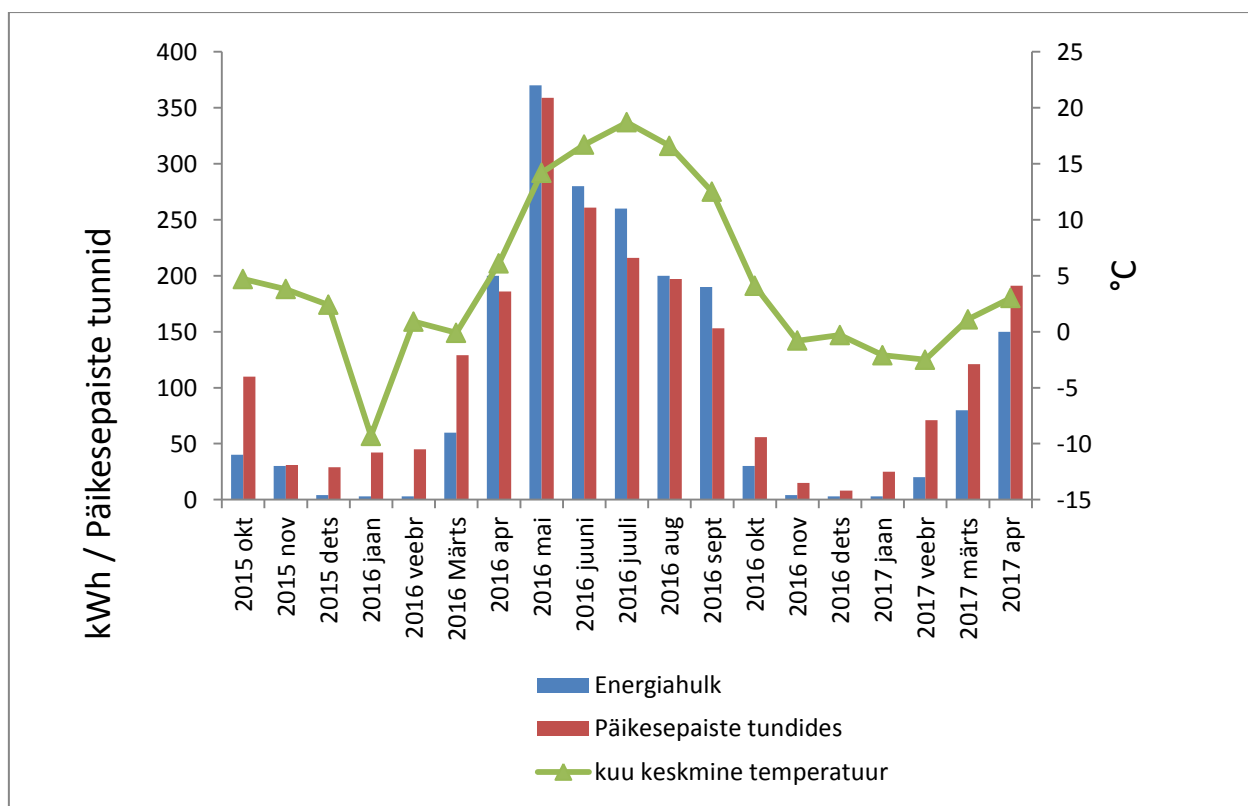
Regressioonianalüüsiks teisendati valem lineaarsele kujule:

$$\ln\left(1 - \frac{Q}{Q_{\max}}\right) = a \cdot \ln(P/100 + 1)^3 \cdot (P/100) \quad (4)$$

Regressioonanalüüsil kasutati MS Exceli tööriistapaketi „Data Analyses“ rakendust „Regression“.

## 5 Tulemused

Energia tootlikuse andmed pärinevad perioodist 2015 oktoober kuni 2017 aprill (lisa 4). Andmed on korrastatud nii, et iga kuu kohta on summaarne energiahulk kilovatt-tundides. Aasta 2016 keskmine tootlikus kuus oli 133 kWh. Kõige kõrgema tootlikusega kuu oli 2016 aasta maikuu oma 370 kilovatt-tunnise tootlikusega ning madalaim tootlikus detsembrikuudes. Aasta 2016 summaarne saadud energiahulk oli 1603 kWh ning terve perioodi peale 1930 kWh. Põhjamaade kliimaatiliste tingimuste juures võib tootlikus suveperioodil talveperioodist erineda peaaegu 100 kordselt. Tulemustest on näha (joonis 16), et päikesekütte kollektoril talveperioodil on soojusenergia tootmine peaaegu olematu ning suvel on tootlikus väga kõrge.



**Joonis 16.** Päikesekollektori tootlikus kuude keskmiste päikesepaiste tundidega ja õhutemperatuuridega

Kuude keskmiste temperatuuride ja päikesepaiste andmed (lisa 4) on saadud Riigi Ilmateenistusest (kuukokkuvõtted). Aasta 2016 oli keskmisest soojem ja sajusem ning aasta 2015 viimase poole sajandi kuumim (Kallis jt 2016, Kallis jt 2017).

2016 aasta oli eriline oma päikesepaiste kestuse poolest, kuna kokku oli sellel aastal päikest näha 1828,7 tundi (norm 1765,8 tundi). Ka tulpdigrammis on näha, et maikuu on üsna päikesepaisteline. Võru meteoroloogiajaama andmetel paistis päike mai kuu jooksul kokku 359 tundi (norm 261 tundi) (Kallis jt 2017).

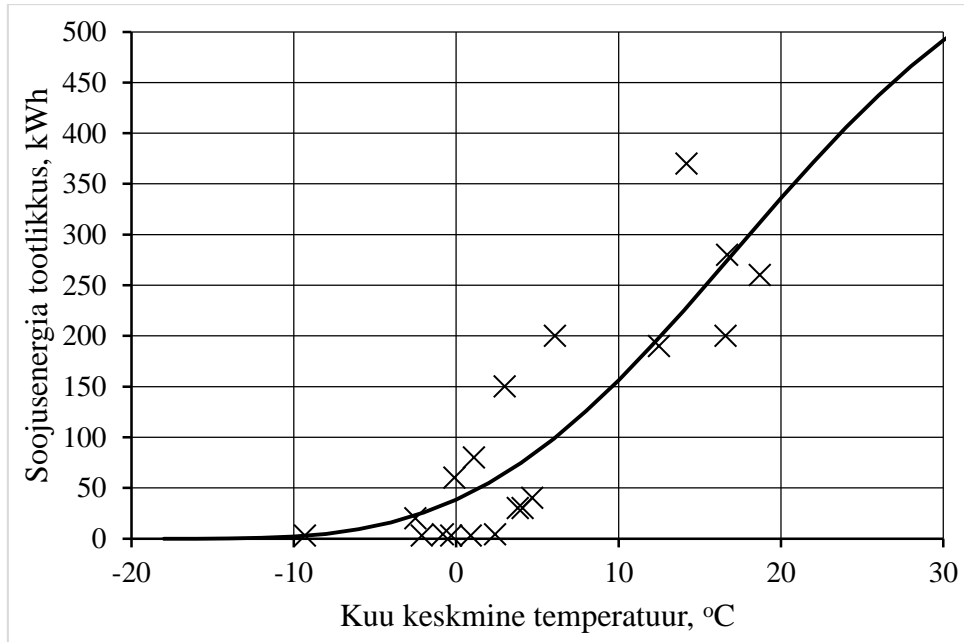
Joonises 16 on kokku pandud kolmed erinevad andmed. Võrreldud on kollektorite tootlikkust, keskmiseid temperatuure ja päikesepaiste kestust kuude kaupa. Nagu on näha tabelist 2, siis on väga tugev seos päikesepaiste ja tootlikkuse vahel ( $r=0,966$ ), samuti on tugev seos keskmise temperatuuri ja tootlikkuse vahel ( $r=0,853$ ). Neid seoseid mõjutab keskmise temperatuuri ja päikesepaiste vaheline tugev seos ( $r=0,770$ ). Sellest tingitult arvutati osakorrelatsioonikordajad paaridele päikesepaiste – tootlikkus ja temperatuur – tootlikkus nii, et elimineeriti esimesel juhul temperatuuri mõju ning teisel juhul päikesepaiste mõju. Osakorrelatsioonikordaja saadi päikesepaiste ja tootlikkuse vahel temperatuuri elimineerimisega  $r = (0,966 - 0,770 * 0,853) / \text{SQRT}((1 - 0,770^2) * (1 - 0,853^2)) = 0,929$ . Osakorrelatsioonikordaja temperatuuri ja tootlikkuse vahel päikesepaiste mõju elimineerimisega saadi  $r = (0,853 - 0,770 * 0,966) / \text{SQRT}((1 - 0,770^2) * (1 - 0,966^2)) = 0,661$ . Seega on tootlikkusel seos päikesepaistega palju tugevam, kui keskmise temperatuuriga. Elektritarbimisel on vaadeldud tunnustega väga nõrk või peaaegu olematu seos.

**Tabel 2.** Ilmaandmete, tootlikkuse ja elektritarbimise vaheline korrelatsioonimaatriks

	Keskmine temperatuur, °C	Päikesepaiste, h	Tootlikkus, kWh	Elektrienergia tarbimine, kWh
Keskmine temperatuur, °C	1			
Päikesepaiste, h	0,770	1		
Tootlikkus, kWh	0,853	0,966	1	
Elektrienergia tarbimine, kWh	0,080	-0,016	-0,051	1



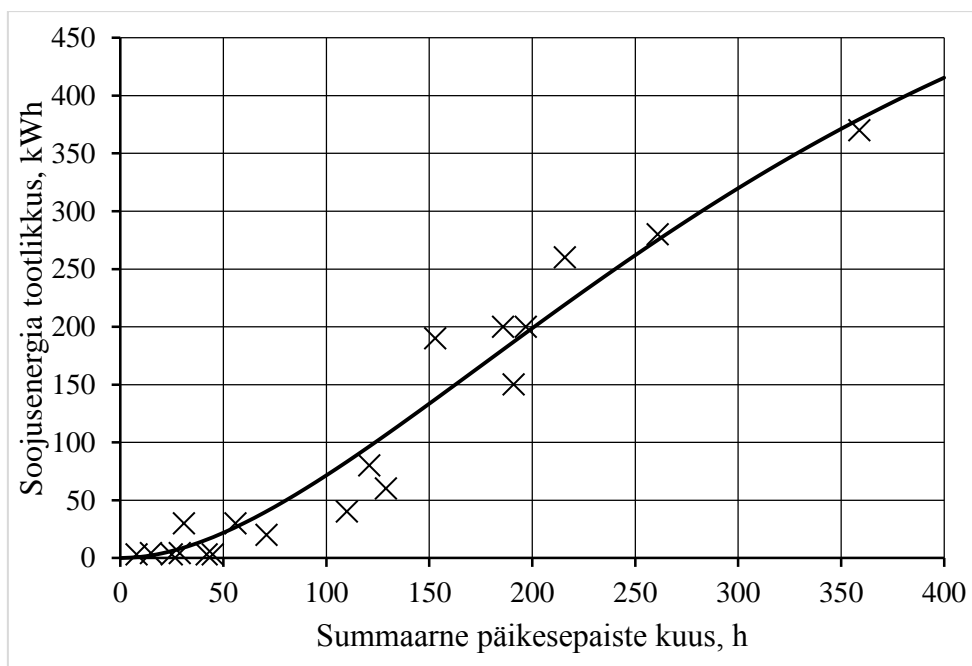
Joonises 17 on välja toodud kuidas on soojusenergia tootlikuse tõus seoses kuude keskmiste temperatuuridega.



**Joonis 17.** Kuu keskmise temperatuuri ja soojusenergia tootlikkuse seos

Nagu joonisest näha on, siis temperatuuri tõustes kasvab ka tootlikus. Joonisel oleva regressioonikõvera kujutamisel kasutati valemit 1. Regressioonanalüüsi tulemusena saadi valemi kordajaks  $a$  saadi  $-3,2361$ . Determinatsioonikordaja ( $R^2$ ) oli  $0,809$  ning valemi olulisuse tõenäosuseks ( $p$ -väärtus) saadi  $1,04402 \cdot 10^{-7}$  (kui tulemus on üle  $0,05$ , siis vastastikune suhe on kaheldav).

Joonises 18 on välja toodud kuidas on soojusenergia tootlikuse tõus seoses kuu summaarse päikesepaistega.



**Joonis 18.** Kuu summaarse päikesepaiste ja soojusenergia tootlikkuse seos

Nagu on joonisel 18 näha, siis kasvab tootlikus üheskoos päikesepaiste tundide summaga. . Joonisel oleva regressioonikõvera kujutamisel kasutati valemit 3. Regressioonanalüüsi tulemusena saadi valemi kordajaks  $a$  saadi  $-0,1831$ . Determinatsioonikordaja ( $R^2$ ) oli  $0,974$  ning valemi olulisuse tõenäosuseks ( $p$ -väärtus) saadi  $4,40515 \cdot 10^{-7}$  (kui tulemus on üle  $0,05$ , siis vastastikune suhe on kaheldav).

Päikesepaiste hulga suurenedes on energiatootlikuse kasv alguses kiirenev. Kui aga päikesepaiste hulk saavutab teatud piiri, hakkab energiatootlikuse kasv vähenema. Ehk energia tootlikus ei saa lõpuni tõusta koos päikesepaiste hulgaga.

## 6 MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED

### 6.1 Kirjeldus

Päikesepaneelide lisamine küttesüsteemi läks maksma umbes 1800 eurot (hind on koos käibemaksuga ning arvesse ei ole võetud töökuulu). Hinna sisse on arvestatud ka kontrollid, ringluspump, 3T ventiil ja muud seadmed. Majanduslike arvutuste jaoks tuleks esiteks välja arvutada kasulik soojusenergia. Nagu andmeanalüüsist välja tuli, siis kollektorist saadav soojavee hulk suveperioodil on üsna kõrge. Seega on vaja teada, kas suvine energiatootlikus ületab tarbimise. Kuna suveperioodil puudub vajadus maja kütta, siis on arvesse võetud ainult tarbevee hulk.

Eesti inimese tarbevee kulunormi saame Riigi Teataja „soojusvarustuse kulude arvutamise ja jaotamise meetodika“, lisa 6 alt. Kuna eramus elab 3 inimest ning sooja vee ( $t=55\text{ °C}$ ) kulunorm vanni ja duššiga inimese kohta on 90 l ööpäevas, siis ööpäevane sooja vee vajadus tuleb 270 liitrit (Soojusvarustuse kulude... 1997).

270 liitri vee soojendamiseks  $55\text{ °C}$ -ni kuluva energiahulga arvutamine (Visk 2008)

$$Q_{sv} = c_p \cdot m \cdot (t_{sv} - t_{kv}), \quad (5)$$

kus  $Q_{sv}$  on energiahulk mis kulub vee soojendamiseks kWh/ööpäevas;

$m$  - vee kaal, kg (270);

$t_{kv}$  - külma vee temperatuur (5);

$t_{sv}$  - sooja vee temperatuur (55);

$c_p$  - vee erisoojus (4,187).

Külma vee temperatuuriks väljaspool kütteperioodi põhjavee puhul võeti  $5\text{ °C}$ . Vee erisoojus on 4,187 kJ/(kg\*K) ja erikaal 1 kg/l. Arvutuste tulemusena saame ööpäevaseks sooja vee tarbimiseks 15,7kWh.

Võtame arvutamiseks aasta 2016 mai, juuni ja juuli, kuna valitud kuude tootlikus oli võrreldes ülejäänud aastaga kõrgem. Päevade arvuks sellel perioodil tuleb  $31+30+31=92$  päeva. Kui ühe ööpäeva jooksul kulus vee soojendamiseks energiat 15,7 kWh, siis 92

päeva jooksul kulutatud energia saame kui leiame arvude korrutise. Vastuseks saame, et 92 päeva vee soojendamiseks kulus 1444,4 kWh.

Selle perioodi jooksul tootis kollektor energiat 910 kWh energiat. Siit võib järeldada, et kollektor toodab aasta ringselt 100% kasulikku soojust. Seega aasta 2016 kogu kasulik.

## **6.2 Tasuvusarvutus**

Süsteemi tasuvusarvutused tulevad päikeseküttekollektori 2016 aasta tootlikuse järgi. Eramus on kasutusel tahkeküttekatel, kus põletatakse puitbriketti. Rahaline kokkuvõide arvutatakse selle põhjal, kui palju puitbriketti jäi aastal 2016 põletamata.

Puitbriketi kütteväärtus on umbes 5,05 Mwh/t kohta. Tonni hind on keskmiselt 150 eurot (Velsker 2012).

Riigi Teataja hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika järgi tulevad soojusallika kasutegurid kütuse tarbimise alumise kütteväärtuse alusel. Tahkekütuse katla puhul on kasutegur 0,75 (Hoonete energiatõhususe... 2013, § 14)

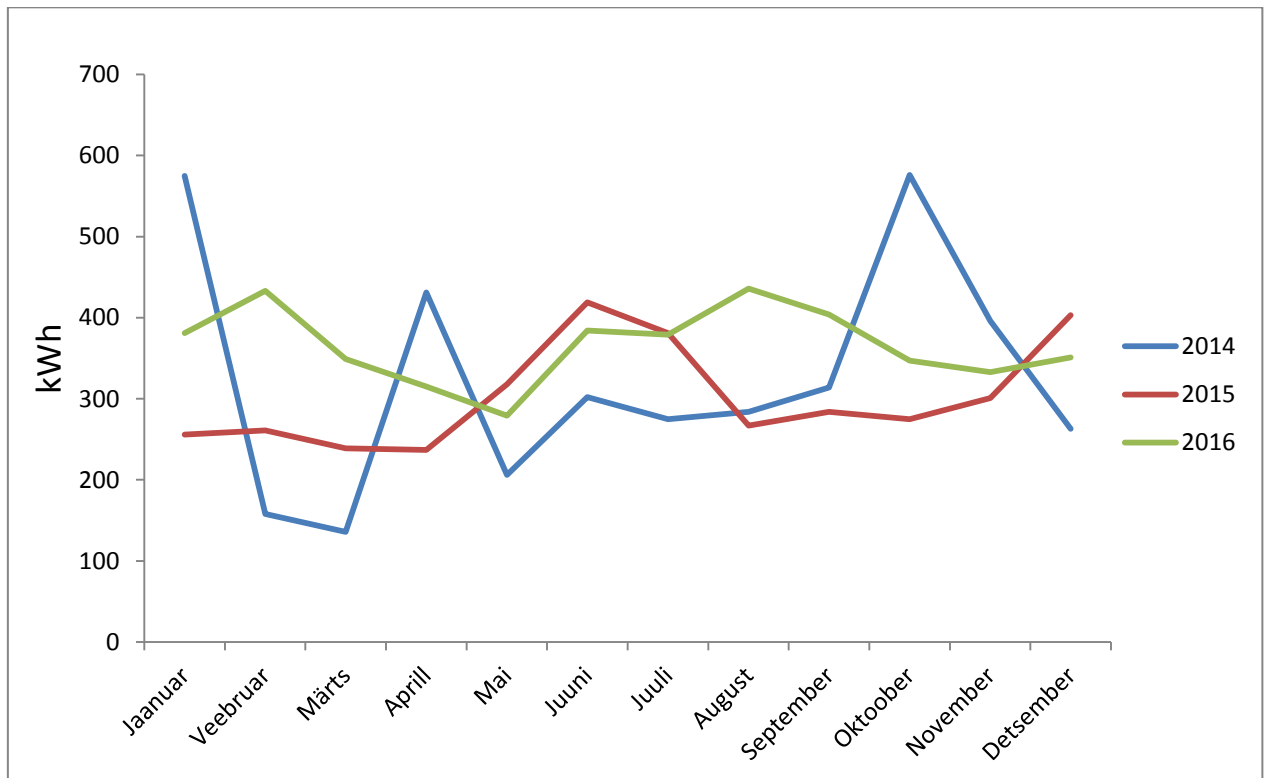
Puitbriketi kokkuvõide saame arvutada kui jagame kollektori kasuliku tootlikkuse katla kasuteguri ja puitkütuse kütteväärtuse korrutisega. Vastuseks saame 0,423 tonni aastas.

Arvutuse põhjal näeme, et aastas hoitakse kokku 0,423 tonni ehk 423 kg puitbriketti. Kui arvestada briketi hinnaks 150€/t (Briketivedu.ee 2017), oleks aastane rahaline kokkuvõide 61,3 €. Sellise aastase kokkuvõide juures tuleb päikeseküttele tasuvusajaks seega 29,4 aastat.

## **6.3 Elektrienergia tarbimise muutus**

Üks uurimuse eesmärkidest oli teada saada, kas ja kuidas on muutunud elektrienergia tarbimine vaadeldaval perioodil. Joonisel 19 on näha tarbimise muutused aastate jooksul kuude kaupa. Päikeseküttele süsteem lisati küttesüsteemi 2015 aasta augustis. Joonisel on näha, et elektritarbimine muutus stabiilsemaks ja aastane tarbimine langes aastal 2015 ning

tõusis 2016. Aja jooksul on kindlasti ka muutunud tarbimisharjumused ning elektrivõrku lisatud ka uusi seadmeid. Praegusel juhul ei ole võimalik tuvastada päikeseenergia mõju elektritarbimisele.



**Joonis 19.** Elektrienergia tarbimine aastatel 2014-2016

Aastane tarbimine kokku oli 2014 aastal 3916 kWh, 2015 aastal 3641 kWh ning 2016 aastal 4391 kWh.

## 7 ARUTELU

Käesolev uurimustöö on tehtud Põlvamaal asuvas eramu näitel. Uuritud on kuidas mõjub temperatuuri ja päikesepaiste seos kollektori tootlikusele, kui mõistlik on meie kliimas kasutada lisaküttena päikeseenergiat ja kuidas muutus elektritarbimine peale kollektori paigaldamist.

Uurimuses selgus, et päikesekollektori tootlikust mõjutab kõige rohkem päikesepaistuse hulk ning suur mõju on ka kuu keskmisel temperatuuril. Samuti on väga oluline tootlikuse mõjutaja päikesepaiste ja õhutemperatuuri seos.

Antud objekti kohta tehtud tasuvusarvutuste juures tuli välja, et tasuvusaeg on peaaegu 30 aastat. Tuleb ära märkida, et tasuvusarvutused on tehtud tahkeküttekatla süsteemi kohta kuhu on lisatud 2 lamedapinnalist päikesepaneeli, pindalaga 4,6 m<sup>2</sup>. Potentsiaalselt võiks paneele juurde lisada, kuna kasulik soojus oli 100%. Sellega oleks võimalik tasuvusaega vähendada vähemalt paari aasta võrra. Minu arvamus on, et praeguse puitbriketi hinna juures pole majanduslikul kasulik lisaküttena paigaldada päikese soojuskollektorit. Samas aga muudab päikeseenergia kasutamine elanike elu lihtsamaks, kuna suvel pole vajadust sooja vee saamiseks katelt kütta.

Uurimuse käigus võtsin Eesti Energia iseteenindusest välja elektritarbimise andmed aastate 2014, 2015 ja 2016 kohta. Analüüsisin elektritarbimist enne ja pärast päikesekollektori paigaldamist. Andmetest selgus, et tarbimine on muutunud stabiilsemaks, aga elektrienergia kulu vähenemisest selget märki ei ole. Põhjuseid, miks kollektorite paigaldamine ei kajastu elektritarbimises võib olla mitu. Näiteks on majapidamises seadmete arv ja tarbimine aja jooksul kasvanud. Samuti võib olla kollektori tootlikuse mõju elektritarbimisele lihtsalt liiga väike.

## KOKKUVÕTE

Päikeseenergiat jõuab Maale meeletutes kogustes. kui meie tehnika võimaldaks kas või fraktsiooni kogu päikesekiirgusest meile kasulikuks energiaks muuta poleks meil fossiilseid kütuseid enam vaja. Õnneks on inimkond aru saanud, et päike on üks suur energiaallikas ja seda tuleb ära kasutada tuleb maksimaalselt ära kasutada. Viimaste sajandite jooksul on ka toimunud suur areng päikesekollektorite valdkonnas. Palju erinevaid viise on praegusel ajal päikesest meile kasulikku energiat toota nii eramajades kui ka tööstuslikul tasemel. Ka Eestis on laialdaselt majapidamistes kasutuses päikesekollektorid. Näiteks on toodud käesolevas uurimustöös uuritav objekt kuhu on paigaldatud päikesekollektor mis toodab sooja vett.

Töö eesmärgiks oli uurida eramu küttesüsteemi lisatud päikeseküttekollektori mõju energiavarustusele, elektritarbimisele ja kuidas kliima mõjutab nende tootlikust.

Uurimuse alguses püstitatud hüpoteesid pidasid osaliselt paika.

Andmeanalüüsist tuli välja, et sooja vee kollektori tootlikkus on tugevas seoses kuu keskmise temperatuuriga. Samuti mõjutab suuresti tootlikust temperatuuri ja päikesepaiste seos. Kõige tugevamalt aga mõjutab tootlikust kuu keskmised päikesepaiste tunnid.

Uuritava objekti tasuvusarvutused näitasid, et sellise süsteemi juures ulatub tasuvusaeg kuni 30 aastani. Sellise tasuvusaja juures ei ole majanduslikult mõistlik tahkeküttekatla juures lisaküttena kasutada päikeseenergiat.

Andmeanalüüs näitas, et elektrienergia tarbimise kogust kollektori lisamine küttesüsteemi ei muutnud. Küll aga muutus elektrienergia tarbimine stabiilsemaks kevadel ja sügisel.



## KASUTATUD KIRJANDUS

1. 2010 Survey of Energy Resources. (2010). Solar energy. World Energy Council. 408-453 pp.
2. **Alexopoulos, S., Hoffschmidt, B.** (2016). Advances in solar tower technology. – *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. Vol 6, Issue 1.*
3. **Amrutkar, K.S., Ghodke, S., Patil, N.K.** (2012). Solar Flat Plate Collector Analysis.-*IOSR Journal of Engineering. Vol. 2 (issue 2) pp 207-213.*
4. ATTACK DPX 45 PROFI.- *Wood-gasifying boilers.* <http://www.attack.sk/en/attack-dpx-45-profi/> (03.05.2017).
5. Eesti kaart (2015). – *Maa-ameti Geoportaal.* <https://xgis.maaamet.ee/>(10.05.2017).
6. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika. (vastu võetud 08.10.2012 nr 63, viimati jõustunud 09.01.2013). – *Riigi Teataja.* <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001> (25.04.2017).
7. **Jamar, A., Majid, Z.A.A., Azmi, W.H., Norhafana, M., Razak, A.A.** (2016). A review of water heating system for solar energy applications. –*International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol. 76, pp 178-187.*
8. **Kallis, A., Loodla, K., Tillmann, E., Krabbi, M., Pärn, R., Vint, K., Jõeveer, A.** Eesti meteoroloogia aastaraamat 2015. (2016). Tallinn: Keskkonnaagentuur.
9. **Kallis, A., Loodla, K., Tillmann, E., Krabbi, M., Pärn, R., Vint, K., Juust, E.** Eesti meteoroloogia aastaraamat 2016. (2017). Tallinn: Keskkonnaagentuur.
10. **Kalogirou, A.S.** (2004). Solar thermal collectors and applications. – *Progress in Energy and Combustion Science. Vol. 30(issue 3), pp 231-295.*
11. **Kannan, N., Vakeesan, D.** (2016). Solar energy for future world: - A review. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.62, pp 1092-1105.*
12. **Khare, A., Saxena, S., Tyagi, C. G., Kumar, S.** (2014). Parabolic solar collector.- *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. Vol. 3,pp 239-246.*
13. Kuukokkuvõtted. (2017). – *Riigi Ilmateenistus.* <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/> (10.05.2017).
14. Linear Frensel Reflector: Operations & Maintenance manual (2014). *Government of India: Ministry of New & Renewable Energy.* [http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/CST-Manuals/LFR\\_E.pdf](http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/CST-Manuals/LFR_E.pdf) (01.02.2017).

15. **Mokhtar, G., Boussad, B., Noureddine, S.** (2016). A linear Fresnel reflector as a solar system for heating water: Theoretical and experimental study. – *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 8, pp 176-186.
16. **Nogueira, C.E.C., Vidotto, M.L., Toniazzo, F., Debastiani, G.** (2016). Software for designing solar water heating system. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 58, pp 361-375.
17. **Parigi, G.** (1599-1600). Seinamaal. - *Galleria degli Uffizi*. <https://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Mirrors/Tzetzes.html>.
18. Partsi mõisa peahoone (registri number 23784). – *Kultuurimälestiste riiklik register* <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=23784> (15.04.2017).
19. **Pons, X., Ninyerola, M.** (2008). Mapping a topographic global solar radiation model implemented in a GIS and refined with ground data. – *International journal of climatology*. Vol.28, pp 1821-1834.
20. **Punter, A.** (2012) Practical Answers. – *A Handbook of Small-scale Energy Technologies*.ch.4, pp 29-39.
21. Päikeseenergia tehnoloogia (2012) . – *Tehniline dokumentatsioon* [http://juhendid.sks.ee/wolf\\_paikeseenergia\\_est.pdf](http://juhendid.sks.ee/wolf_paikeseenergia_est.pdf) (20.04.2017).
22. Rekordid. (2017). – *Riigi Ilmateenistus*. <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/rekordid/ohutemperatuur/> (10.05.2017).
23. **Singh, R., Lazarus, I., Souliotis, M.** (2015) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – *Recent developments in integrated collector storage (ICS) solar water heaters: A review*. Vol. 54, pp 270-298.
24. Soojusvarustuse kulude arvestamise ja jaotamise meetodika. (Heaks kiidetud 11. augusti 1997. a. Käskkirjaga nr 86). – *Riigi Teataja*. <https://www.riigiteataja.ee/akt/12930302> (25.04.2017).
25. **Wang, J., O'Donnell, J., Brandt, A.** (2017). Potential solar energy use in the global petroleum sector. – *Energy*. Vol.118, pp 884-892.
26. **Velsker, L.** (2012). Puitbriketiga võib haprama ahju lõhki kütta. – *Postimees-Tarbija24*. <http://tarbija24.postimees.ee/1041386/puitbriketiga-voib-haprama-ahju-lohki-kutta> (10.05.2017).
27. **Visk, U.** (2008). Soojus. – *Ettevalmistus füüsikaolümpiaadiks*. [http://www.teaduskool.ut.ee/sites/default/files/teaduskool/oppetoo/fys\\_soojus.pdf](http://www.teaduskool.ut.ee/sites/default/files/teaduskool/oppetoo/fys_soojus.pdf) (10.05.2017).
28. World Energy Resources. (2013). 2013 survey: Solar Energy. World Energy Council.

# DWELLING ENERGY SUPPLY WITH SOLAR HEAT PANELS

## SUMMARY

Solar power is reaching to earth in delirious amounts. If our technology would allow at least a fraction of all the solar radiation to use it as useful energy, we would never need fossil fuel again. Luckily the humanity has understood that the sun is one of the biggest source of energy which should be used as much as possible. The solar collector field has been developed rapidly in recent centuries. There are many different ways to use solar power in private houses and also in industrial fields nowadays. Solar collectors are being widely used in Estonian households for now. For example at this study there is a research object where the installed solar collector is producing hot water. The purpose of this research was to study the solar collector effect for the energy supplies, power consumption and connection between collector productivity and climatic conditions.

Almost all the hypothesis that has been put up at the beginning of the research were partially right. It came out that hot water which collector had produced was in strong connection with the average month temperature. Also the temperature and sunshine connection is affecting the productivity. But the most strong affect to solar productivity was caused by average sunshine amounts in one month.

The profitability calculations of this object showed that the profitability time will take up to 30 years in this certain system. At this profitability time it is not economically reasonable to use solar power together with solid fuel boiler system.

The data analysis came around to the results that adding the collector to the heating system did not change electrical energy consumption amount. But still electrical consumption was more stable in spring and autumn.

# LISAD

## Lisa 1. Uuritava objekti asendiplaan (Eesti kaart 2015)

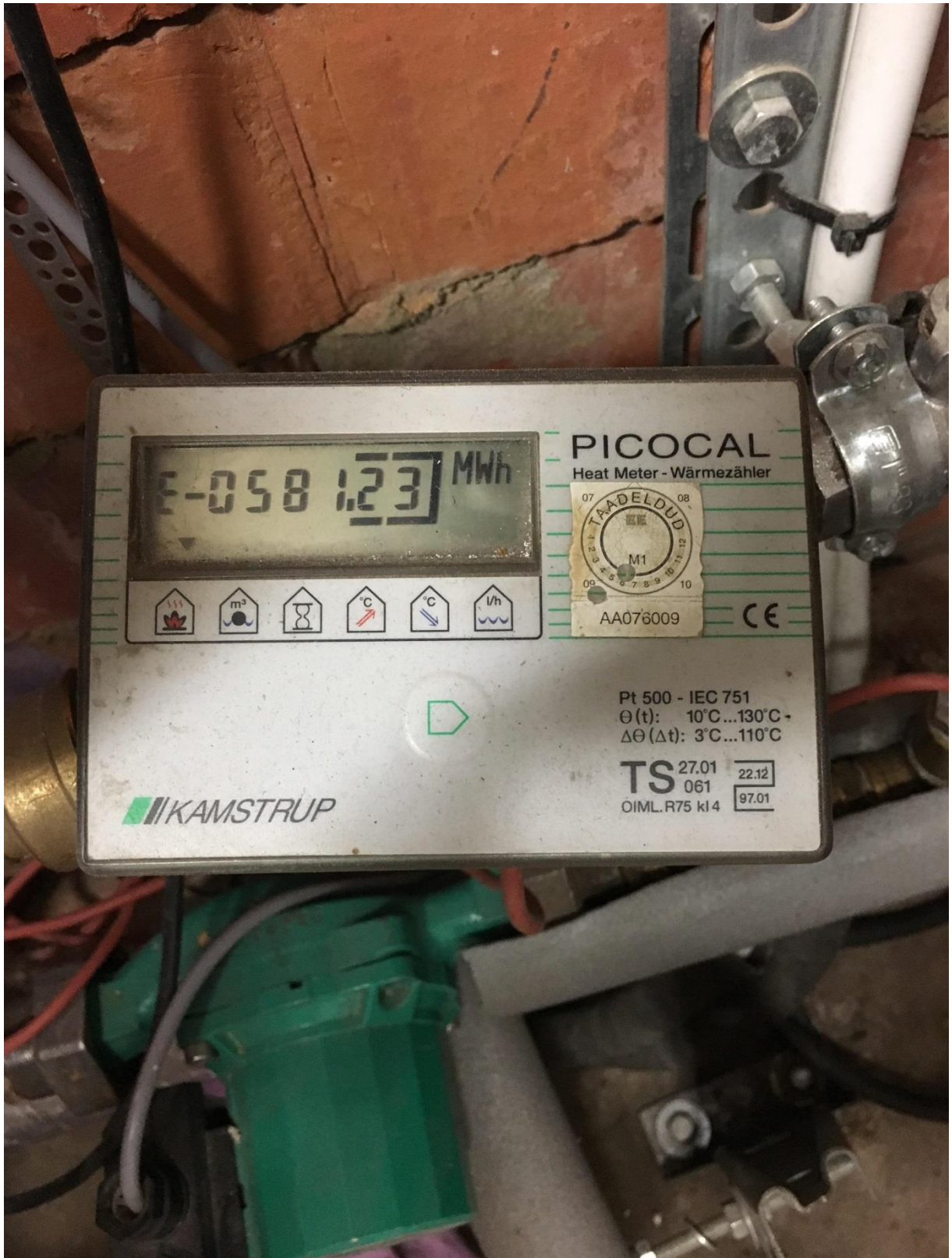


## Lisa 2. Lamedapinnaliste paneelide asukoht





Lisa 3. Soojusenergia mõõteriist PICOAL Pt 500 – IEC 751



**Lisa 4. Kogutud andmed tabelis (kuukokkuvõtted).**

Aasta	Kuu	Temp	Päike, h	Tootlikkus, kWh
2015	Oktoober	4,7	110	40
2015	November	3,8	31	30
2015	Detsember	2,4	29	4
2016	Jaauuar	-9,3	42	3
2016	Veebruar	0,9	45	3
2016	Märts	-0,1	129	60
2016	Aprill	6,1	186	200
2016	Mai	14,2	359	370
2016	Juuni	16,7	261	280
2016	Juuli	18,7	216	260
2016	August	16,6	197	200
2016	September	12,5	153	190
2016	Oktoober	4,1	56	30
2016	November	-0,8	15	4
2016	Detsember	-0,3	8	3
2017	Jaauuar	-2,1	25	3
2017	Veebruar	-2,5	71	20
2017	Märts	1,1	121	80
2017	Aprill	3	191	150

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Mattias Herzmann,  
sünniaeg 29.09.1992,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Päikesekollektor eramu energiavarustuses, mille juhendaja(d) on Andres Annuk ja Allar Padari,
  - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(kuupäev)

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)