



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Regina Feldman

**PÄIKESEENERGIA KASUTAMINE VÄIKEELAMU
NÄITEL**

**SOLAR ENERGY APPLICATIONS FOR SMALL
DWELLING**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad: Erkki Jõgi, *MSc*
Veli Palge, *DrSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Fr. R. Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Regina Feldman		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Päikeseenergia kasutamine väikeelamu näitel			
Lehekülgi: 48	Jooniseid: 24	Tabeleid: 12	Lisasid: 0
<p>Osakond: Energeetika osakond</p> <p>Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika 4.17 Energeetikaalased uuringud</p> <p>CERCS: T140 Energeetika</p> <p>Juhendajad: Erkki Jõgi ja Veli Palge</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017</p>			
<p>Antud töös on uuritavaks objektiks Pärnumaal Suurejõe külas asuv 94-aastane hoone, kus soovitakse kasutada päikeseenergiat. Hoone ja selle asukoha suhtes kaalutakse mitmeid päikeseenergial toimivaid lahendusi ja tulemuste põhjal leitakse kõige sobivam lahendus. Aastane elektrienergia tarbimine oli 2766 kW·h. Uuritavateks päikesejaama lahendusteks on päikesepaneelide ja -kollektorite paigaldamine hoone katusele, juurdeehitise katusele või hoone lähedal olevale maa-alale. Tulemuste välja töötamiseks on kasutatud elektrienergia tarbimist kuude lõikes ja päikesepaiste tingimusi hoone asukohast tingituna ajavahemikul märts 2016 kuni veebruar 2017. Kiirgusvoo andmed on võetud Tartu Ülikooli füüsikainstituudi ilmajaama arhiivist. Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamiseks on kasutatud PVGIS programmi ja kollektorite efektiivsuse leidmiseks päikese kiirgusvoo väärtusi. Kõige paremaks PV-lahenduseks oleks juurdeehitise katusele 3,2 kW paigaldatav päikeseelektrijaam, mis toodaks aastas elektrienergiat 2380 kW·h. Elanike tarbevee soojendamise vajadusi rahuldaks 2,955 m² (neeldumispinnaga 1,87 m²) vaakumkollektor hoone katusel, mis soojendaks aastas 13 993 liitrit vett. Antud hoone puhul pole varasemaid sellelaadseid uurimustöid tehtud ja seetõttu pole võimalik võrrelda saadud tulemusi eelnevatega. Kuna hoones viibitakse perioodiliselt ja hetkel käivad maja renoveerimistööd, siis kindlasti saaks tulevikus teha järgmised uuringud ja mõõtmised, kui ehitustööd on lõppenud ja kui hoonet kasutatakse aastaringseks elamiseks. Antud töös uuriti elektri tarbimist kuude lõikes, aga tulevikus saaks teha mõõtmisi ka tundide järgi, kus oleks tarbimine täpsemalt analüüsida.</p>			
Märksõnad: PV-paneeli kasutamine, päikesekollektori kasutamine, inverter väikeelamus, kiirgusvoog			

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Bachelor's Thesis	
Fr. R. Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Regina Feldman		Speciality: Engineering	
Title: Solar Energy Applications for Small Dwelling			
Pages: 48	Figures: 24	Tables: 12	Appendixes: 0
<p>Department: Energy Engineering</p> <p>Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17 Energetic Research</p> <p>CERCS: T140 Energy research</p> <p>Supervisors: Erkki Jõgi and Veli Palge</p> <p>Place and date: Tartu 2017</p>			
<p>Present research has written of one 94 year old dwelling. The house is in Suurejõe village, Pärnu country. The dwelling has not be used the whole year, but usually people live there in the period April to October. In the house live partly two older persons and now it is in the renovating process. The research has written because the popularity of solar energy and the desire to use it. In the analysis will find different ways to use PV-panels and solar thermal collectors. The main goal is to use less electrical energy from the grid and produce energy from the solar energy. The annual electricity consumption from the grid is 2766 kW·h. The solar radiation data has taken from the Institute of Physics of the University of Tartu. Where is a weather station and the information of solar radiation includes the period March 2016 to February 2017. The productivity of solar panels has calculated with PVGIS data. This thesis is comparing three different PV-panels in four possible solutions. The best solution is to install 3,2 kW panels to the roof of annexe, which will produce 2380 kW·h energy per year. There is a comparison between two different solar thermal collectors. Estimated annual water consumption is almost 40 tons of water. Better solution is to use vacuum tubes solar collector on the roof of the dwelling. The collector of 1,87 m² absorption surface will heat 14 tons of water per year. There is not any previous results and because of this it is not possible to compare the results. In the future might do new measurements when people live in the dwelling permanently.</p>			
<p>Keywords: <i>PV-panel using, solar thermal collector using, inverter in small dwelling, radiant flux</i></p>			

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID.....	5
SISSEJUHATUS.....	6
1. PÄIKESEENERGIA.....	7
1.1. Päikeseenergia maailmas.....	7
1.2. Päikeseenergia Euroopas ja Eestis	8
1.3. Päikesekiirus.....	10
2. PÄIKESEPANEELID.....	12
2.1. Päikesepaneelide liigid.....	12
2.2. Päikesepaneelide pinge-voolu kõver	13
2.3. Paigaldusviisid	14
2.4. Võrguga ja võrguga mitte ühendatud süsteemid	15
2.4.1. Võrku ühendatud päikeseelektrijaam	15
2.4.2. Võrguga mitte ühendatud päikeseelektrijaamad	16
2.4.3. Inverterid.....	17
2.5. Erilahendused.....	18
3. PÄIKESEKOLLEKTORID	21
3.1. Päikesekollektorite liigid.....	21
3.2. Optimaalne kaldenurk päikesekollektoritele	22
3.3. Tarbevee soojendamine ja kasutamine.....	23
4. UURITAVA OBJEKTI KIRJELDUS	24
4.1. Hoone	24
4.2. Asukoht	25
4.3. Energiatarve	26
4.4. Küttesüsteem	28
5. VÕIMALIKUD PÄIKESEJAAMA LAHENDUSED JA TULEMUSED	29
5.1. Kiirusvoo andmed	29
5.2. Päikesepaneelide tootlikkus	31
5.3. Päikesekollektorite tootlikkus	36
KOKKUVÕTE.....	41
SOLAR ENERGY APPLICATIONS FOR SMALL DWELLING.....	43
KASUTATUD KIRJANDUS	44
LIHTLITSENTS	Error! Bookmark not defined.

TÄHISED JA LÜHENDID

A	–	päikesekollektori neeldumispind, m^2
c	–	vee erisoojus, $4200 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$ENMAK$	–	Eesti energiamajanduse arengukava
G	–	päikeseenergia kogus, $\text{kW}\cdot\text{h}/m^2$
I_{mp}	–	vool maksimaalsel võimsusel, A
I_{oc}	–	lühisahela vool, A
LED	–	valgusdiod (<i>light-emitting diode</i>)
m	–	mass, kg
MPP	–	maksimaalse võimsuse punkt (<i>maximum power point</i>), W
<i>Off-grid</i>	–	võrguühenduseta süsteem
<i>On-grid</i>	–	võrguühendusega süsteem
P_{light}	–	paneelile langeva kiirguse võimsus, W
PV	–	fotoelement (<i>photovoltaic</i>)
$PVGIS$	–	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
Q	–	temperatuuri tõstmiseks kuluv energia, J
q	–	päikesekollektorite poolt saadud energiahulk, $\text{kW}\cdot\text{h}$
U_{mp}	–	pinge maksimaalsel võimsusel, V
U_{oc}	–	avatud ahela pinge, V
ΔT	–	temperatuuride vahe, K
η	–	kasutegur, %

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on päikeseenergia kasutamine muutunud üha populaarsemaks. Põhjuseks on see, et päikeseelektrijaama ehitamine on muutunud odavamaks ning kliima soojenemise tõttu püütakse keskkonda vähem kasvuhoonegaase õhku paisata. Meie ümber toimuvad suured keskkonnamuutused ning me oleme sunnitud tegema muudatusi enda tarbimis- ja tootmisharjumustes. Päikesepaneelide ja –kollektorite kasutajate arv on kiirelt kasvanud ja see on saanud kasvavaks trendiks, sest paneelide ja kollektorite tehnoloogiad on jõudsalt arenenud ning seadmed on muutunud palju efektiivsemaks.

Uurimuse eesmärgiks on leida väikeelamu näitel võimalikud päikesepaneelide ja –kollektorite lahendused, arvestades elanike elektrienergia- ja tarbevee tarbimisharjumustega. Käesolevas töös on uuritavaks objektiks võetud Pärnumaal, Suurejõe külas asuv 94 aastat vana hoone, mida hetkel renoveeritakse ja kasutatakse ainult perioodil aprill kuni oktoober. Eesmärgi saavutamiseks:

- 1) antakse ülevaade päikeseenergia olemusest;
- 2) tehakse ülevaade päikeseenergia elektriks muundavatest päikesepaneelide ja tarbevee soojendamiseks kasutatavast tehnoloogiast;
- 3) kirjeldatakse uuritava objekti asukoht, tehnosüsteemid ja energia tarbimise dünaamika;
- 4) analüüsitakse objektipõhiselt päikeseenergia kasutamist elektrienergia ja sooja tarbevee saamiseks.

Päikesepaneelide eeldatava tootlikkuse arvutamiseks kasutatakse PVGIS andmebaasi [1], millega saab välja arvutada ligilähedase päikeseelektri tootlikkuse soovitud asukohas. Töös võrreldakse kolme erinevat päikesepaneeli ja nelja võimalikku lahendust antud objekti suhtes. Tarbevee soojendamise tootlikkuse analüüsimiseks võrreldakse omavahel plaat- ja vakkumtorudega kollektorit, millede efektiivsuse leidmiseks kasutatakse Tartu Ülikooli füüsikainstituudi katusel oleva ilmajaama kiirgusvoo mõõdetud tulemusi uuritava ajavahemikul. Võrreldavate päikesejaamade tootlikkuse aluseks on võetud elektrienergia tarbimine ja elektriarved ajavahemikus 1. märts 2016 kuni 28. veebruar 2017.

1. PÄIKESEENERGIA

1.1. Päikeseenergia maailmas

Maailmas päikeseenergia valdkonda juhtivad riigid teevad iga-aastaselt uusi arendusi, et päikesevalgusest saadud energiat üha efektiivsemalt kasutada ja tarbida. Kindlasti on vaja suureks päikeseenergia muundamiseks väga häid tehnoloogiaid ja päikesevalgust. Statistilised andmed näitavad seda, et kõige paremad päikesepaneelide tingimused asuvad Aafrikas (Sahara kõrbes) [2], aga sinna ei ole mõtet päikeseelektrijaama ehitada, kuna seal pole tarbijaid ja elektri transportimisega tekiks suured kaod. Praeguseks hetkeks on suurepäraseid tulemusi näidanud Saksamaa, Itaalia, Hiina, USA, Jaapan ja Hispaania [2].

Tabelis 1.1 on välja toodud 2016. aasta enim päikesepaneelide paigaldanud riigid ja PV-paneelide koguvõimsused.

Tabel 1.1. 2016. aastal enim päikesepaneelide paigaldanud riigid ja paneelide koguvõimsused [2]

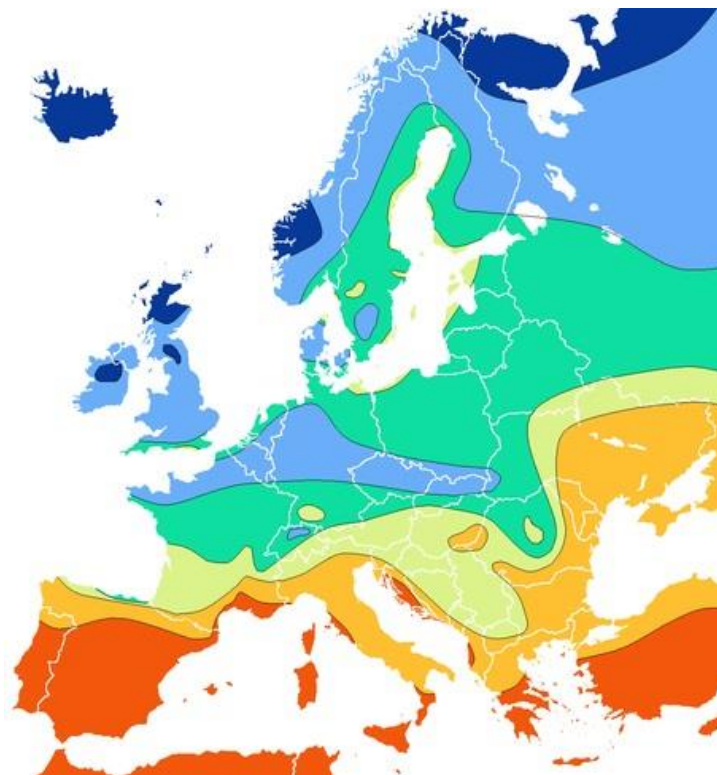
Riik	Paneelide arv, tk	Võimsus, MW
Hiina	172 000 000	43 000
Saksamaa	158 512 000	39 628
USA	100 000 000	27 800
Jaapan	93 200 000	23 300
Itaalia	73 840 000	18 460
Suurbritannia	33 600 000	8400
Prantsusmaa	22 640 000	5660
Hispaania	21 432 000	5358
Austraalia	16 544 000	4136
Belgia	12 296 000	3074

Tabelist on näha, et kõige rohkem päikesepaneelide on paigaldanud Hiina ja nende koguvõimsuseks on 43 000 MW. Hiina järel on kohe Saksamaa 158 512 000 paneeliga ja koguvõimsusega 39 628 MW. Sellest saab järeldada, et ka Euroopas on aastast piisaval hulgal päikesepaneelide paigaldajate seas on kuus Euroopa riiki.

Hetkel on maailma kõige suuremaks päikeseelektrijaamaks Hiinas asuv *Longyang Dam Solar Park*, mille koguvõimsuseks on 840 MW. Olemasolevas jaamas on peaaegu neli miljonit päikesepaneeli ja need on asetatud ligikaudu 26 ruutkilomeetrisele maa-alale [3].

1.2. Päikeseenergia Euroopas ja Eestis

Euroopas on väga suur erinevus päikesepaisteliste tundide osas – põhjapoolsetel laiuskraadidel on vähe päikesepaistelisi tunde ja mida rohkem lõuna poole liikuda, seda rohkem päikest paistab. Joonisel 1.1 on kujutatud Euroopa riikide päikesepaisteliste tundide arv aastas, kus tumesinine osa tähistab kõige väiksema tundide arvuga päikesepaistelist aega (vähem kui 1200 tundi), helesinine osa 1200-1600 tundi, roheline osa 1600 kuni 1800 tundi, helekollane ala 1800-2000 tundi, kollane ala 2000 kuni 2500 tundi ja oranž värv tihedama päikesepaistega alasid (rohkem kui 2500 tundi).

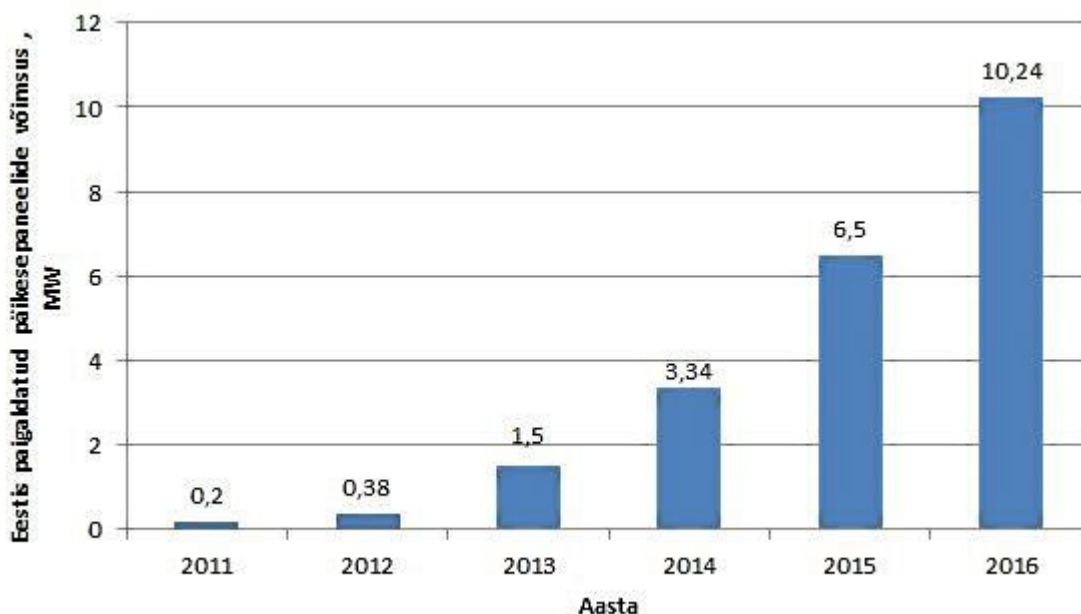


Joonis 1.1. Euroopa päikesepaisteliste tundide arv aastas [4]

Jooniselt on näha, et Loode-Eestis ja saartel on aastas sama palju päikesepaistelisi tunde kui Lõuna-Euroopas (Austrias, Ungaris, Balkanimaades ja osa Lõuna-Prantsusmaast). Eesti ja Lõuna-Euroopas asuvate riikide erinevus on see, et Eestis pole päikesepaisteliste tundide jaotumine sama ühtlane aasta lõikes, kui seda Euroopa lõunapoolsemates riikides. Eestis talvel toodetakse päikeseenergiat väga vähe, aga kevadkuudel on kõrgrõhuline selge taevast, mis tõstab tootmist jõudsalt.

Tänu päikeseenergia tehnoloogiale ja inimeste teadlikkusele on päikeseenergia osakaal ka Eestis kasvanud ning üha enam majapidamisi liitub elektrivõrguga. Seda näitab

ka joonis 1.2, kus on välja toodud Eestis paigaldatud päikesepaneelide võimsused aastatel 2011-2016.



Joonis 1.2. Paigaldatud päikesepaneelide võimsused Eestis aastatel 2011-2016 [5;6]

Jooniselt on näha, et iga aasta päikeseenergia kasutamine ja PV-paneelide paigaldamine Eestis kasvab. Statistikas on esitatud võrguga liitunud klientide paigaldatud päikesepaneelide koguvõimsus, kes müüvad muundatud energiat võrku. Kahjuks puuduvad statistilised andmed selle kohta, kui palju PV-paneele on paigaldatud *off-grid* ehk võrguga mitte ühendatud lahendustega majapidamisesse.

2013. aastal alustati läbirääkimisi Eesti energiamajanduse arengukava (ENMAK) 2030 [7] raames. Valitsus kiitis arengukava heaks 2016. aasta oktoobris [5] ja sellega püütakse fossiilsete kütuste kasutamist vähendada. Tänu põlevkivi kaevandamise ja kasutamise vähenemisega plaanitakse elektriturul taastuenergia osakaalu suurendada. ENMAK 2030 arengukavas on kirjas, et 2030. aastaks võiks taastuenergia osakaal elektri lõpptarbimisel olla 50% ja kaugküttemajanduses 80% [8]. Vastu võetud arengukavasse puudutatud ka hoonete energiatõhususe tõstmise teemat, kus vähemalt 40% väikeelamutest peab olema C- või D-klassis ja 50% kortermajadest C-energiatõhususklassiga [8]. Hoone energiatõhusamaks muutmist saab aidata ka KredEx, kes toetab maja renoveerimist kuni 30% kogumaksumusest ja maksimaalne toetus väikeelamu kohta on 15 000€ [9]. KredExi poolt välja toodud taastuenergia tootmiseseadmeteks on päikese abil soojust või elektrit tootev seade (päikesekollektor ja PV-paneel) [10].

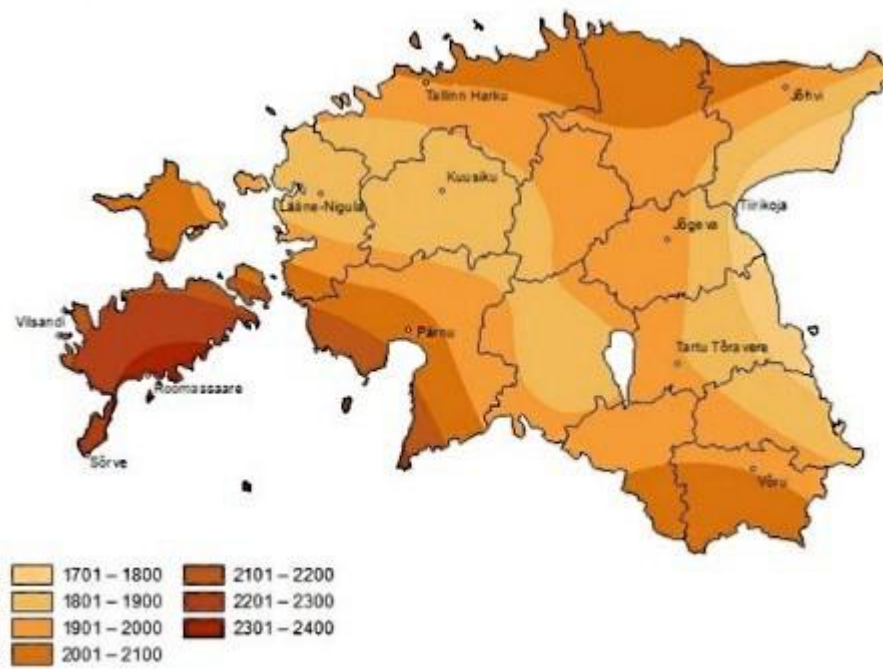
1.3. Päikesekiirgus

Päikeseenergiat kasutavate seadmete tootlikkus sõltub väga palju päikesepaiste ajalisest kestvusest ja aastasest varieeruvusest. Suvisel perioodil on meil rohkem päikesepaistelisi päevi kui talvel, aga Eesti kliimas tarbime just talvel rohkem energiat kui suvel. Päikesekütte tootlikust mõjutavad lisaks päikesepaistele ka teised tegurid: õhutemperatuur, sademed ja lumikatte paksus. Temperatuuri suhtes mängib olulist rolli õhutemperatuuri ja päikesekütte süsteemi temperatuuride vahe. Mida väiksem on õhu- ja süsteemi vaheline temperatuur, seda efektiivsem on kollektorite tootlikkus [11]. Sademed puhastavad kollektoreid mingil määral, aga mitte täielikult. Lumikatte puhul ei jõua kiirgus hästi kollektoriteni ja sellega tootlikkus väheneb.

Päikesekiirguse all mõeldakse nii otsest-, hajusat- kui ka maapinnalt peegeldunud kiirgust. Otsekiirguse puhul levib kiirgus paralleelsete kiirtena ja jõuab maapinnani pilvitu taeva korral. Kõige pilvitumad kohad Eestis on saared ja Põhja-Eesti [12]. Hajukiirgus tekib päikesekiirguse hajumisest atmosfääris ja peegeldumisel pilvedelt. Hajukiirgus esineb alati ja selge ilma korral on osatähtsus 10-20%, lauspilvituse ja lahkpilvede varjude puhul on kogu kiirgus hajukiirgus [13]. Talvel peegeldub lumelt suur osa valgust, mida saab ära kasutada vee soojendamiseks. Sellest saab järeldada, et mida kõrgemal on päike maapinna horisondi suhtes, seda efektiivsemalt soojendatakse vett [11].

Eestis mõõdetakse päikesekiirguse langemist maapinnale Tõravere, Tiirkojal ja Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel. Teiste kohtade korral tuleb kasutada päikesekiirguse suuruse arvutamiseks empiirilisi valemeid. [14]. Eestis on keskmiseks päikesepaiste kestuse ajaks 1765,8 tundi aastas ja päikesekiirgus 1 m² kohta 977 kW·h [15]. Kõige päikesepaistelise piirkond on Saaremaa, kus on enamusest 2101-2400 päikesepaistelise tundi aastas.

Joonisel 1.3 on kujutatud Eestis esineva aasta päikesepaiste kestvus tundides. Kõige suurem päikesekiirguse hulk langeb maapinnale mais, juunis ja juulis ning kõige väiksem detsembris. Eesti keskmised päikesekiirguse näitajad on sarnased Kanada, Inglismaa, Saksamaa ja Põhja-Euroopa riikidega [17]. Kuna iga aasta ei ole päikesepaistelisi päevi võrdselt, siis päikesekiirguse hulk võib erineda eelnevate aastatega võrreldes



Joonis 1.3. Eestis esineva aasta päikesepaiste kestus tundides [16]

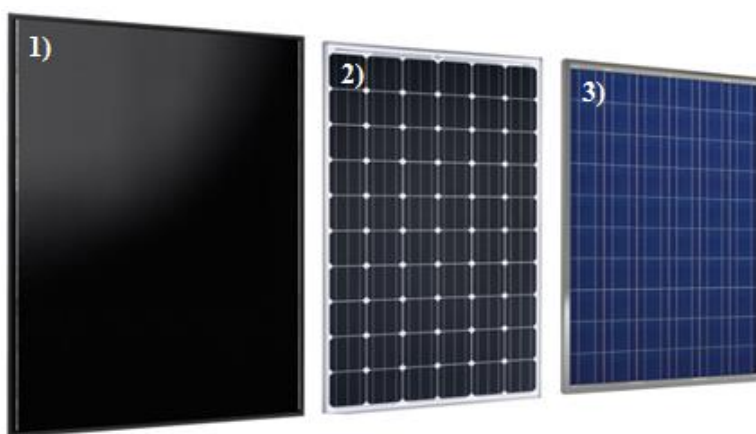
Antud töös on kasutatud Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel oleva ilmajaama andmeid [18]. Võrreldavad suurused on võetud ajavahemikus 1.märts 2016 kuni 28.veebruar 2017.

2. PÄIKESEPANEELID

2.1. Päikesepaneelide liigid

Päikesepaneelidega ehk PV-paneelidega muundatakse päikeseenergia elektrienergiaks ja PV-paneele saab pidada kõige töökindlamateks taastuvenergia allikateks, sest neil puuduvad liikuvad osad. Nende hooldamine on ka seega väga lihtne ja hooldamiskulud on väikesed. PV-paneelid koosnevad omavahel ühendatud PV-elementidest, mis on paigutatud enamasti alumiiniumraami ja kaetud peegeldust vähendava klaasiga. Kuna paneelid on kaetud klaasiga, siis talvisel perioodil tuleb nende puhastamisega ettevaatlik olla. Päikesepaneelide puhastamisel võib klaas puruneda ja selle tagajärjel pääseb niiskus PV-elementide vahele, mille tulemusena rikutakse paneelide elektrilised ühendused. Peale raamidega piiratud PV-paneelide valmistatakse ka raamideta paneele, mida saab paigaldada kas katuse- või fassaadilahendustena [19].

Päikesepaneele valmistatakse ränist ning omavahel eristatakse kolme erinevat tüüpi räni: amorfne (*a-Si*), polükristall (*poly-Si*) ja monokristalliline räni (*c-Si*). Räni sisalduse järgi jaotuvad PV-paneelid mono-, multi- ja polükristallilisteks paneelideks. Peale kristalliliste päikesepaneelide toodetakse ka sadestatud kilega (*thin film*) paneele, mis on küll odavamad, aga väiksema kasuteguriga kui kristallilisest ränist valmistatud paneelid [19]. Joonisel 2.1 on näidatud kolm erinevat päikesepaneeli ja vasakult lugedes järgnevalt: *thin film*, monokristalliline ja polükristalliline PV-paneel.



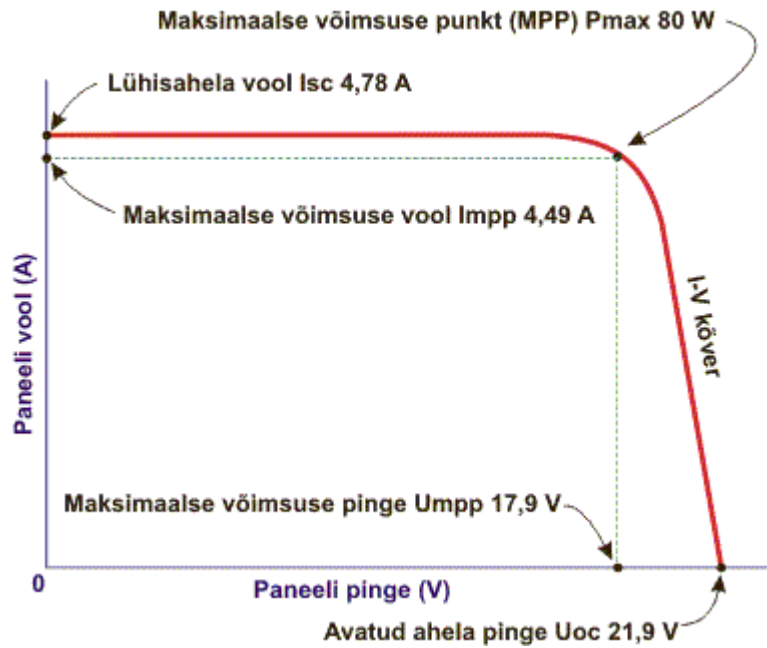
Joonis 2.1. 1) *Thin film*, 2) monokristalliline ja 3) polükristalliline päikesepaneel [20]

Päikesepaneelide soeatmisel on väga tähtis paneelides oleva räni sisaldus, mis määrab ära PV-paneeli efektiivsuse. Siinkohal kehtib seos, et mida efektiivsem on päikesepaneel, seda kallim on ka paneeli hind. Tavaliselt jääb PV-paneelide efektiivsus vahemikku 13-20%. Päikesepaneelidest on kõige efektiivsemad monokristallilised paneelid, mille valmistamisel kasutatakse suurte kristallidena toodetud räni. Monokristalliliste päikesepaneelide efektiivsus on ligikaudu 11-18 %. Polükristallilised päikesepaneelid on natuke väiksema kasuteguriga ja odavamad, kui seda monokristallilised paneelid. Polükristalliliste PV-paneelide valmistamiseks kasutatakse väiksemaid ränikristallide elemente ning nende kasutegur on 15%. *Thin film* paneelide valmistamisel ei kasutata räni kristalle vaid amorfne kile paigutatakse erinevatele materjalidele. Amorfse kilega päikesepaneelide suureks puuduseks on see, et nende kasutegur on väga väike ning nende efektiivsus on ainult 3-11% [19].

2.2. Päikesepaneelide pingevoolu kõver

Volt-amper karakteristikuga iseloomustatakse päikesepaneeli elektrilisi omadusi ja sellega kontrollitakse päikesepaneelide kvaliteeti. Karakteristikule märgitakse *MPP* (ingl *maximum power point*) ehk maksimaalne punkt, kus kattuvad lühis (I_{sc}) ja avatud ahel (U_{oc}) [19]. Sellele punktile vastab pinge U_{mp} ja voolutugevus I_{mp} [21]. Maksimaalses punktis on võimsus (P_{max}) kõige suurem ning see sõltub temperatuurist ja päikesekiirguse intensiivsusest. Mida intensiivsem on päikesekiirgus, seda suurem on voolutugevus ja mida madalam on temperatuur, seda suurem on pinge [19]. Avatud ahela pinge U_{oc} on punkt, kus kõver lõikab pingetelge. Sellises olekus ei ole päikesepatarei kontaktidele ühendatud koormust ning voolutugevus läbi patarei on null. Lühisvool I_{sc} on punkt, kus volt-amper karakteristik lõikab voolutugevuse telge. Sellisel juhul on päikesepatareile ühendatud koormus nulltakistusega ja pinge kontaktidel võrdub nulliga. U_{oc} ja I_{sc} punktid näitavad ära maksimaalse pinget ja voolutugevust, mida on antud patareist võimalik kätte saada. Kehtib seos, et mida lähemal on U_{mp} U_{oc} -le ja I_{mp} I_{sc} -le, seda suurem on saavutatav võimsus.

Joonisel 2.2 on kujutatud 80 W päikesepaneeli voolu-pinge kõver, kuhu on peale märgitud paneeli tootlikkuse arvutamiseks vajaminevad elektrilised suurused.



Joonis 2.2. Päikesepaneeli pinge-voolu kõver [22]

Joonisel oleva päikesepaneeli pinge-voolu karakteristikult on näha, et lühisahela voolu suuruseks on 4,7 A ja avatud ahela pinge väärtuseks 21,9 V. Maksimaalse võimsuse punkti 80 W moodustavad maksimaalse võimsuse vool, mille suurus on 4,49 A ja maksimaalse võimsuse pinge, väärtusega 17,9 V. Pinge-voolu kõvera kohta esineb kirjanduses ka nimetus I-V kõver või I-V karakteristik, mis iseloomustab päikesepaneeli näivtakistuse väärtust.

2.3. Paigaldusviisid

Päikesepaneelide paigaldamiseks on mitmeid erinevaid mooduseid. Kõige lihtsamaks viisiks on need paigaldada hoone lõunapoolsele katusele, kuhu paistab päike kõige rohkem. Eesti oludes on optimaalseks paneelide paigaldusnurgaks 40 kraadi maapinna suhtes. PV-paneelide efektiivsuse tõstmiseks on võimalik paneelide kaldenurka muuta, paigaldades süsteemile vastavad seadmed. Suvisel ajal on soovituslikuks kaldenurgaks 30-40 kraadi ja talvekuudel 90 kraadi maapinna suhtes [19]. Peale katuse saab päikesepaneelid paigaldada ka maja lõunapoolsele fassaadile, kui see omanikke ei häiri.

Teiseks lahenduseks oleks paigaldada maapinnale päikesejaam, kus päikesepaneelid on asetatud hoideraamile ja tugisambale. Sellise lahenduse puhul peab olema vaba maad, kuhu selline jaam ehitada ning paneelidele ei tohiks tekkida suurte puude varjusid.

Päikesejaama ehitamisel peab silmas pidama ka seda, et paneele ei paigaldataks liiga lähedale üksteisele, sest päikese asimuut maapinna suhtes muutub päeva jooksul. Päike muudab oma asimuuti ühes tunnis keskmiselt 15 kraadi [23]. Liiga väikese vahe jätmisel võib juhtuda see, et üks päikesepaneel tekitab teisele paneelile varju ning seetõttu väheneb muundatud elektrienergia kogus. Parema päikesejaama kasuteguri saavutamiseks saab süsteemile paigaldada päikese jälgimisseadme (*Solar Tracker*), mis muudab paneelide asendit päikese liikumise järgi [24].

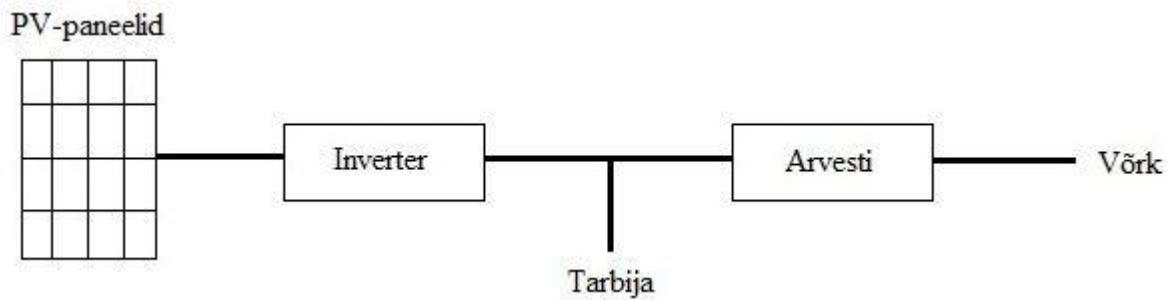
2.4. Võrguga ja võrguga mitte ühendatud süsteemid

2.4.1. Võrku ühendatud päikeseelektrijaam

Päikeseelektrijaama planeerides tuleb ka sellele mõelda, et kas kogu süsteem ühendatakse võrguga või mitte. Üheks lahenduseks oleks võrguga ühendamine ehk *on-grid* [25] süsteem. See tähendab seda, sageli tarbimisaeg ei lange kokku tootmise ajaga ja kui toodetud elektrit jääb üle, siis on tark mõte seda võrku edasi müüa. Teame, et päikese abil elektri- ja soojusenergia saamine ei ole ühildavuses tarbimisaegadega, siis on igati tark mõte muundatud elektrienergia võrku müüa. Toodetud elekter suunatakse võrku sel juhul, kui majapidamises ei kasutata muundatud energiat ära või ei salvestata seda akupanka. Mõningatel kordadel on tarbimine suurem ning on hea, kui elektrit saab võrgust juurde osta. Nii *on-grid* kui ka *off-grid* [26] päikeseelektrijaama puhul on vaja soetada süsteemile ka inverter, mis muudab päikesepaneelide poolt antava alalisvoolu tarbitavaks vahelduvvooluks. Süsteemis olevate inverterite kogu väljundvõimsuse järgi määratakse võrku ühendatud elektritootjad järgmiselt [27]:

- 1) mikrotootjad, kelle võimsus on kuni 15kW;
- 2) pisitootjad, kelle võimsus on 16-200 kW;
- 3) elektritootjad, kelle võimsus on üle 200 kW.

Joonisel 2.4.1 on välja toodud lihtsustatud skeem, milline võiks olla võrguga ühendatud elektrijaama lahendus. Joonisele on ära märgitud kõige tähtsamad seadmed päikeseenergia muundamiseks.

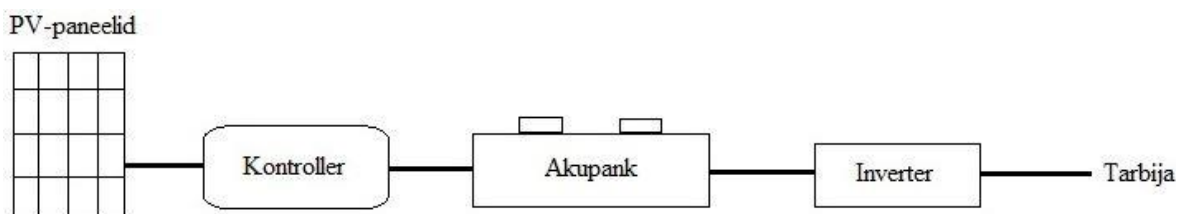


Joonis 2.4.1. Võrguga ühendatud süsteemi lihtsustatud skeem [19]

PV-paneelidele langev päikesevalguse energia muundatakse elektrienergiaks ja suunatakse edasi inverterisse, mis muundab alalisvoolu vahelduvvooluks. Inverterist läheb muundatud vahelduvvool edasi tarbijale ning üle jäänud energia suunatakse läbi arvesti võrku. Energiat võrgust ostes liigub elektrienergia arvestisse, mis fikseerib ostetud energiahulga ja seejärel suunatakse elekter tarbijale kasutamiseks.

2.4.2. Võrguga mitte ühendatud päikeseelektrijaamad

Võrreldes võrguga ühendatud lahendusega, on *off-grid* süsteemi miinuseks see, et kui elektri tootmine ei suuda vajadusi katta, siis pole võimalik ka võrgust elektrit juurde saada. Sellise lahenduse ülesse seadmise põhjuseks võib olla see, et lähedal pole elektrivõrku ning majapidamisse on vaja kuidagi elektrit ja soojust saada. Võrguga mitte ühendatud elektrijaam on sõltumatu elektrisüsteem ning selle efektiivsemaks kasutamiseks tuleb kasutada salvestit, kontrolleri ja inverteri [19]. Võrguga mitte ühendatud elektrijaama lahendus sobib ideaalselt suvekodudesse, kus ei tarbita elektrit pidevalt ja sellise lahenduse puhul pole vaja lepingut teha võrguga liitumiseks. Joonisel 2.4.2 on välja toodud lihtsustatud skeem, milline võiks olla *off-grid* elektrijaama lahendus.



Joonis 2.4.2. Võrku ühendamata süsteemi lihtsustatud skeem [19]

Off-grid lahenduse puhul on elektrienergia liikumise teekond lihtsam kui seda *on-grid* lahenduse puhul. PV-paneelidele langev päikeseenergia muundatakse elektrienergiaks ja

suunatakse edasi kontrollerrisse, kus reguleeritakse ja kontrollitakse pinget ja tarbija voolu. Kontrollerrit kasutatakse akupanga eluea kaitseks [25]. Süsteemi järgmiseks etapiks on osa muundatud energia salvestamine akupanka, kust üle jäänud energia suunatakse edasi inverterisse. Vaheldit läbinud vool on muundatud vahelduvvooluks ja seda saab kasutada majapidamises.

2.4.3. Inverterid

Päikeseenergiat toodetakse alalisvooluga 12, 24 või 48 V, aga majapidamises kasutatakse vahelduvvoolu 230 V [28]. Selleks, et saaksime majapidamises päikesepaneelide poolt toodetud elektrit kasutada, tuleb päikeseelektrijaama süsteemi paigaldada inverter, mis muundab voolu meie majapidamistes kasutatavaks [27]. Joonisel 2.4.3 on kujutatud Kostali poolt toodetud inverterit PIKO, mille võimsus on 7,0 kW.



Joonis 2.4.3. Kostali inverter PIKO 7.0 [28]

Vaheldeid on erinevaid ning tänapäeval on nende valik väga suur. Siinkohal tuleb tähelepanelikult jälgida, et kõik inverterid ei sobi igale süsteemile. Vaheldi valimisel tuleb jälgida efektiivsuse protsenti (hea inverter on efektiivsusega 97-98%), faaside arvu (on olemas 1- ja 3-faasilised inverterid) ja väljundvõimsust [27].

Tänapäeval toodetud vaheldite võimused jäävad vahemikku 100-30 000 W ja nende töötamist on võimalik jälgida ka arvutiga interneti vahendusel [27]. Mikrotootjate päikeseelektrijaamas kasutatakse võrguinvertereid ja liigne energia suunatakse võrku. Puudujääv enektrienergia võetakse võrgust. Sellise süsteemi puhul on vaja paigaldada kahe-suunaline energiaarvesti, mis fikseerib ära, kas elektrit ostetakse või müüakse [29].

Võrguga ühendatud lahenduste puhul pole vaja akupanka kasutada, aga *off-grid* süsteemi puhul oleks hea, kui akupank olemas oleks.

Toodetakse kahte erinevat liiki vaheldeid – puhta siinusega (*true sine wave*) ja modifitseeritud siinusega (*modified sine wave*) [30]. Puhta siinusega inverterite eelis on see, et need sobivad kõigile tarbijaile, aga modifitseeritud siinusega inverterite kasutamise puhul ei pruugi osa elektrimootoreid käivituda. Viimased on aga puhta siinusega vahelditest odavamad. Eestis müüakse Froniuse, Huawei, Kostali ja Naps Systemsi toodetud invertereid [31].

2.5. Erilahendused

Päikesekatvus ehk *solar roof* [32;33] on alternatiiviks katusematerjalile ja on üha rohkem populaarsust kogumas. Päikesekatvuse lahenduseks on päikesepaneelid, mis paigaldatakse katusele ja sellega saab katuse materjali pealt kokku hoida. Päikesekatvusena töötav lahendus on sama efektiivne kui katusele eraldi paigaldatud päikesepaneelidki ja paneele saab paigaldada kas terve katuse ulatuses või siis ainult osaliselt. Päikesekatvust on väga lihtne paigaldada ja vajab kasutamise ajal vähe hooldamist. Joonisel 2.3 on ettevõtte Päikesekatvus OÜ poolt paigaldatud päikesekatvus, kus on ära kasutatud peaaegu kogu katuse üks pind.



Joonis 2.3. Päikesekatvus OÜ poolt tehtud töö [34]

Solar roof kui lahendusena sobib katustele, mille kalle on 10 kuni 70 kraadi. Väiksema kalde korral on vaja paigaldada lisaalusstruktuur, mis kaitseks paneele vihma- ja veekahjustuste eest [23]. Hetkel tegeleb Tesla päikesekatuste aktiivse edasi arendamisega, millega soovitakse kasutatav lahendus veelgi efektiivsemaks, soodsamaks ja elegantsemaks muuta [33].

Hollandis asuvasse Krommenie linna paigaldati 2010. aastal *SolaRoad* [35], mis kujutab endast päikesepaneelidest ehitatud jalgrattateed. Esialgu oli tegemist prototüübiga ja katsetati kuidas lahendus töötab. Teele paigaldatud paneelid osutusid efektiivseteks ja 2014. aastal ühendati süsteem ka võrguga. Kasutatav *SolaRoad* on 70 meetrit pikk ja 3,5 meetrit lai. 27 päikesepaneeli on paigaldatud ühele sõidurajale, laiusega 1,75 meetrit [38]. Selline erilahendusega jalgrattatee muundab päikeseenergiat rohkem kui 3000 kW tunnis ja aastas suudab iga ruutmeeter toota keskmisel 70 kW·h [36]. Joonisel 2.4 on pilt Hollandis paigaldatud *SolaRoad*ist.



Joonis 2.4. Krommenie linna paigaldatud *SolaRoad*’i lahendus [35]

Kuna paigaldatud PV-elementid peavad olema vastupidavad liikluskoormusele, mustusele ja ei tohi olla libisevad, siis päikesepaneelid on asetatud karastatud klaasi [37].

Eelmisel aastal avati Poolas jalgrattatee, mis helendab öösel. Tee loomise idee saadi Hollandist, kus jalgrattatee on tähistatud LED-valgustitega [38]. Poolas olev tee aga

koosneb sinistest *luminous`*idest, mis päeval ajal salvestavad päikesevalgust endasse ja öösel suudavad helendada rohkem kui 10 tundi [30]. Poolas avatud helendav jalgrattatee on kujutatud joonisel 2.5, kus on näha *luminous`*ide helendumist pimedal ajal.



Joonis 2.5. Poolas avatud sinistest *luminous`*idest valmistatud jalgrattatee [38]

Öösel valgustatud teelõik aitab paremini teega kohaneda ja õnnetusi ära hoida. Sinine värv on valitud vastavalt asukohale ehk Mazuriani piirkonnas asub palju järvi ja sobib igati. Sajameetrine teelõik on testimisel ja hetkel ei teata, kui kaua sünteetilised *luminous`*id suudavad endasse päevavalgust salvestada ja öösel helendada [38].

3. PÄIKESEKOLLEKTORID

3.1. Päikesekollektorite liigid

Päikesekollektoritega kasutatakse põhiliselt vee soojendamiseks. Soojendatud vett saab kasutada nii tarbevena kui ka keskküttena ja seda isegi talvel miinuskraadide korral. Päikesekollektorid suudavad talvel vett soojendada ja seda kuni 50 plusskraadini, mis on tarbeveeks piisav temperatuur [39]. Kollektorite lahendus uuritavas majapidamises on väga kasulik, sest talvisel ajal viibitakse hoones vähe ning vett ei tarbita. Tavaliselt kasutatakse torude jäätumise vältimiseks soojuskandjat antifriisi. Võrreldes päikesekollektoreid päikesepaneelidega, siis kollektorite kasutegur on fotoelektriliste paneelide kasutegurist kordades suurem ja on eesti kliimas palju efektiivsem [40]. Kui majapidamises soovitakse päikeseenergia abil ainult vett soojendada, siis tasub kasutada just päikesekollektoreid.

Vett soojendavaid päikesepaneele toodetakse kahte erinevat liiki - vaakumtoru kollektorid ja tasapinnalised ehk lamekollektorid [40]. Joonisel 3.1 on välja toodud pilt, kus vasakul pool on vaakumtorudega kollektor ja paremal pool lamekollektor.



Joonis 3.1. 1) vaakumtorudega- ja 2) lame- ehk plaatkollektor [41]

Eestis kasutatakse pigem vaakumtoru kollektoreid, sest kollektoris olevate torudele iseloomulik ümar pind võimaldab päikeseenergiat efektiivsemalt kasutada. Kollektortorude puhul paistab päikesevalgus korraka vähemalt poolele toru pindalast ja millele lisandub toru ümbritsev hajus valgus. See tähendab seda, et kollektoreid saab kasutada ka hajuspilvisuse korral [39]. Kuna vaakumtoru kollektorid on tasapinnalistest vähem efektiivsemad, siis nende võimsus on ka väiksem. Päikese asendi muutumisel suurema osa

ajast torud varjavad üksteispäikese eest. Efektiivsuse leidmiseks tuleks võrrelda erinevate paneelide võimsust kirjeldavaid graafikuid päeva kestel. Talvisel ajal on vaakumtorudega kollektoril väiksemad konvektiivsed soojuskaod. Soojavee paneelide plussiks on see, et süsteemi saab integreerida ka maasoojuse ja teiste kõikvõimalike katlasüsteemidega, mis teeb majapidamises olemasoleva süsteemi palju paindlikumaks. Tasapinnalised kollektorid on madalama efektiivusega ja tundlikumad väliskeskkonna jahutavale mõjule kui vaakumkollektorid, aga nende paigaldamine on odavam ja hooldamine lihtsam [42].

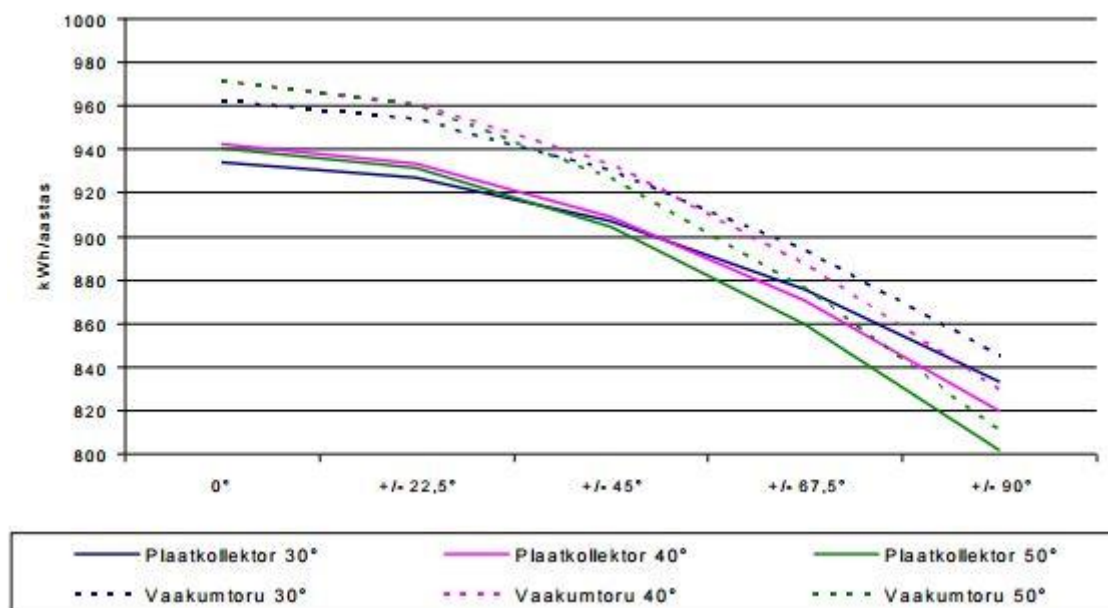
3.2. Optimaalne kaldenurk päikesekollektoritele

Kuna planeet Maa pöörleb, siis sellega päikese kõrgus horisondil varieerub. Maksimaalseks päikese kõrguseks horisondist on Tallinnas suvisel pööripäeval $54^{\circ} 3'$ ja talvisel pööripäeval ainult $7^{\circ} 11'$ [43]. Päikesekollektorite paigaldamisel mängib nende kaldenurk väga suurt rolli ja arvestatakse sellega, millal soovitakse kollektorite efektiivsust kõige enam ära kasutada (kas kevadel ja sügisel või suvel). Plaatkollektorid on suveperioodil tootlikumad, kuna siis esineb rohkem otsest päikese kiirgust, aga talveperioodil on efektiivsemad just vaakumtorukollektorid [11]. Tabelis 3.1 on välja toodud optimaalne kaldenurk plaat- ja vaakumtorukollektoritele Tallinna piirkonnas perioodidel märts – oktoober ja aprill – september ning aasta keskmine.

Tabel 3.1. Fikseeritud optimaalne kaldenurk plaat- ja vaakumtorukollektorile Tallinnas [43]

Periood	Optimaalne kaldenurk, °	
	Plaatkollektor	Vaakumkollektor
Märts-oktoober	46-56	49-50
Aprill-september	40-49	47-50
Aasta keskmine	40-41	45-49

Tabelis olevatest andmetest saab järeldada seda, et plaat- ja vaakumkollektorite paigaldamisel tuleb arvestada erinevate kaldenurkades suurustega, et neid saaks efektiivsemalt kasutada. Joonisel 3.2 on kujutatud plaat- ja vaakumtorukollektorite aastast toodangut ilmakaare suhtes, millede kaldenurkadeks on 30, 40 ja 50 kraadi. 0 kraadi tähistab lõuna, +/- 22,5 kraadi edela ja kagu, +/- 45 kraadi lääne ja ida, +/- 67,5 kraadi loode ja kirde ning +/- 90 kraadi põhja suunda.



Joonis 3.2. Plaatkolektori Vitosol 200-F ja vaakumkolektori Vitosol 200-T, kaldenurkadega 30, 40 ja 50 kraadi, tootlikuse võrdlus ilmakaare suhtes [43]

Jooniselt on näha, et nii plaat- kui ka vaakumkolektorid on lõuna ilmakaare suhtes kõige efektiivsemad. Kõige väiksema kasuteguriga on 50 kraadise kaldenurgaga plaatkolektor, mis on paigaldatud põhjasuunas. Üldiselt on vaakumkolektorite tootlikkus parem kui plaatkolektoritel, aga erinevusi esineb just ida- ja lääne ilmakaare suunas paigaldatud kollektorite korral, kus 30 kraadise kaldenurga all olev plaatkolektori tootlikkus on parem 40 kraadise kaldenurga all olev vaakumkolektor. Samasugune erinevus esineb ka 40-kraadise plaatkolektori ja 50-kraadise vaakumkolektori vahel.

3.3. Tarbevee soojendamine ja kasutamine

Kollektorite soetamisel tuleks lähtuda mõningatest reeglitest, mis aitavad paigaldada sobiva koguvõimsusega päikeseküttesüsteemi. Inimese kohta võiks paigaldada kollektoreid pindalaga 1-1,5 m² [44]. Eestis kasutatakse rohkem vaakumkolektoreid, seega, nende puhul võib kollektorite pindala vähendada ca. 30%. Väikese kollektorite pindala (3-4 m²) puhul tuleb arvestada torude kadude kõrge osakaaluga. Kuna sooja vee tootmine ja selle tarbimine ei ühti, siis ühe inimese kohta peab salvesti maht olema 80-100 liitrit [44]. Ühe inimese kohta kulub majapidamises tarbevett 90-160 liitrit päevas [45]. Erinevus tuleneb inimeste vee tarbimise harjumustest ja vajadustest.

4. UURITAVA OBJEKTI KIRJELDUS

4.1. Hoone

Uuritav hoone on ehitatud 1923. aastal, mille pindala on 82,6 m². Hoone asub 0,25 hektari suurusel krundil. Alates 2006. aastast on maja nii seest- kui ka väljastpoolt renoveeritud ning uuendamine kestab tänaseni. Selle käigus on hoone välisfassaadile paigaldatud kivivill, tuuletõke, voodrilauad ja lauakate. Katusematerjalina on kasutatud plekki. Hoones on kasutatavateks ruumideks kolm tuba, köök, esik ja sauna osa. Praegune saun asub hoones ja see koosneb leili- ja pesuruumist. Joonisel 4.1 on vaated hoone erinevatelt külgedelt. Nool ja N tähistavad põhja ilmakaare suunda.



Joonis 4.1. Vaated objektile erinevatest suundadest: 1) lääne suund, 2) edela suund, 3) kagu suund ja 4) lõuna suund

Hoones olevate ruumide kõrgus on 2,15-2,20 meetrit. Ruumide sisekattteks on kipsplaat ja tapeet, köögis seinapaneel. Lagedeks on kasutatud laepaneele. Hoone kõigi ruumide

põrandad on valatud betooniga, soojustatud ja kaetud laminaatparketiga. Majal on olemas kaks korrust, aga hetkel kasutatakse ainult esimest korrust. Tulevikus plaanitakse ka teine korrus välja ehitada ning kasutusele võtta. Peale elumaja asub krundil ka kuur, mida kasutatakse hetkel garaaži- ja kuurina ning tulevikus plaanitakse sinna ka uus puuküttega köetav saun ehitada.

4.2. Asukoht

Hoone asub Suurejõe külas Pärnumaal ning jääb suure maantee kõrvale. Hoone asetseb pikuti põhja-lõuna suunas ning kõrgus merepinnast on 29,5 meetrit. Joonisel 4.2 on välja toodud hoone asetus koos krundiga.



Joonis 4.2. Uuritav hoone ja krunt [46]

Jooniselt on näha, et hoone ümber asub palju vaba maad, mida saab ära kasutada päikesejaama ehitamiseks. Maantee ääres olevad vanad kõrged puud on eemaldatud ja krundile paistab rohkem päikesevalgust. Krundi lääne- ja lõunapoolsetel servadel kasvab võsa, mis ei ole väga kõrge. Hoonest ida suunda jääb suur Viljandi maantee, krundi serv põhjasuunas on kuni kraavini. Krundi läbib keskelt väike kraav, mis on ühendatud ligidal oleva Käru jõega. Kraavist vasakule poole jääv osa oli väga palju aastaid tagasi kartulipõld, mida hetkel ei kasutata ja mis on hetkel lihtsalt muruplats. Ülejäänud krundi osa on kasutusel siis sissesõiduteena, parklana ja muruplatsina.

Joonisel 4.3 on välja toodud krundil olev kasutamata maa, mis asub hoonest edela suunas ja kõrvalhoone taga olev maa-ala. Välja on toodud ka sisehoovi osa, kuhu saaks planeerida väikese katusealuse auto jaoks.



Joonis 4.3. Hoone krundil olev kasutamata maa: 1) varem kasutusel olev kartulipõld, mis nüüd seisab kasutuna ning kaugemal kuurihoone taga vaba maa-ala ja 2) hoone sisehoovis olev vaba maa-ala, mida saaks efektiivselt ära kasutada

Kuna krundil olevate hoonete suurem osa katusest ei ole lõuna ilmakaare suunas, siis üheks lahenduseks oleks hoovi ehitada väike katusealune ala auto jaoks, mille katusele saaks paigaldada päikesepaneelid.

4.3. Energiatarve

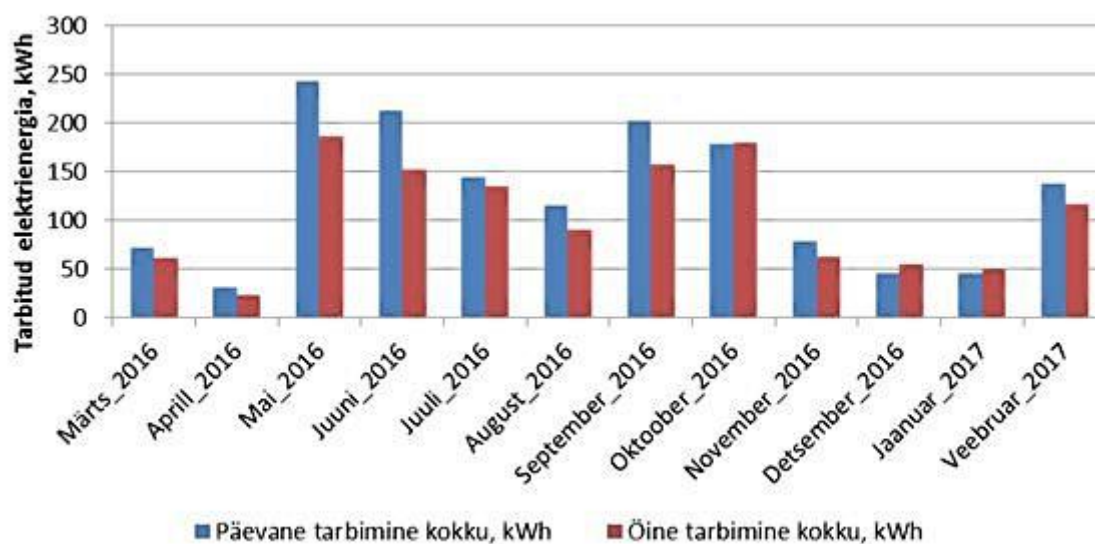
Hoones kasutatava elektri tarbimise ülevaade on saadud Eesti Energia klienditeenindusse [47] sisse logides, kus on ära näidatud tarbimine kuude lõikes. Uuritavaks ajavahemikuks on võetud 1. märts 2016 kuni 28. veebruar 2017. Hoones kasutatakse Landis+Gyr E350 kaugloetavat arvestit, mille tulemusena on tarbimise kokkuvõtteid tehes arvesse võetud ka eelnevate aastate tarbimised. Joonisel 4.2 on ära näidatud elektri tarbimine kuude kaupa. Jooniselt on näha, et elektri tarbimine on olnud väga erinev. Siinkohal tuleb täpsustada, et uuritavas hoones ei elata aastaringselt, vaid kasutatakse seda pigem suvemajana. Kunagi tulevikus plaanitakse hakata seal ka aastaringselt elama. Kuna hetkel käivad ka renoveerimistööd, siis palju kasutatakse elektrit tööriistadega töötamiseks. Hoones kasutatava elektri kogutarbimine ajavahemikul 1. märts 2016 kuni 28. veebruar 2017 oli

2765 kW·h. Tabelis 4.1 ja joonisel 4.4 on välja toodud uuritavas hoones elektrienergia tarbimine päevase- ja öise tariifi järgi.

Tabel 4.1. Hoones elektrienergia päevane ja öine tarbimine ajavahemikul 1. märts 2016 kuni 28. veebruar 2017

	Päevane tarbimine, kW·h	Öine tarbimine, kW·h
Märts 2016	71,417	60,449
Aprill 2016	30,228	22,767
Mai 2016	242,787	185,675
Juuni 2016	211,948	152,09
Juuli 2016	144,237	134,658
August 2016	115,328	89,928
September 2016	201,544	156,889
Oktoober 2016	178,281	179,771
November 2016	77,838	62,558
Detsember 2016	45,303	54,335
Jaanuar 2017	44,712	49,089
Veebruar 2017	137,92	116,16
Kokku:	1501,543	1264,369
Aastas kokku:	2765,912	

Tabelist on näha, et suur tarbimine on olnud ka öisel ajal ning detsembris ja jaanuaris on öine tarbimine ületanud päevast.



Joonis 4.4. Elektrienergia tarbimine väljatooduna kuude lõikes ajavahemikul 1.märts 2016 kuni 28. veebruar 2017

Jooniselt 4.4 on näha, et uuritaval ajavahemikul on elektri tarbimine olnud suur ka suvisel perioodil, mis on hea lahendus päikesepaneelide poolt toodetud elektri koheseks tarbimiseks. Kuna majas elavad inimesed, kes on päevasel ajal kodus, siis põhilisi majapidamistöid tehakse just päikeseenergia tootmise hetkel. Talvisel perioodil on suur elektrienergia tarbimine olnud ka öise tariifi ajal ja selle põhjuseks saab pidada seda, et hoones mitte elamise hetkel on kasutatud temperatuuri hoidmiseks elektriradiaatoreid.

Suurimateks elektrienergia tarbijateks on köögis olevad külmkapp ja sügavkülm, veeboiler, elektripliit, mikrolaineahi, saunas olev saunaahi, vannitoas olev pesumasin ja ühes toas olev televiisor. Kuna hoone on hetkel renoveerimisel, siis selle käigus kasutatakse palju mitmeid tööriistu, mis on suure võimsusega ja tarbivad palju elektrit. Renoveerimise käigus paigaldati hoonesse uus ja energiasäästlikum veeboiler, millel saab muuta soojendatava vee temperatuuri. See peaks tagama tulevikus väiksema energiakulu, sest uuritaval ajahetkel oli veel kasutusel vana boiler, mis tarbis palju elektrit.

4.4. Küttesüsteem

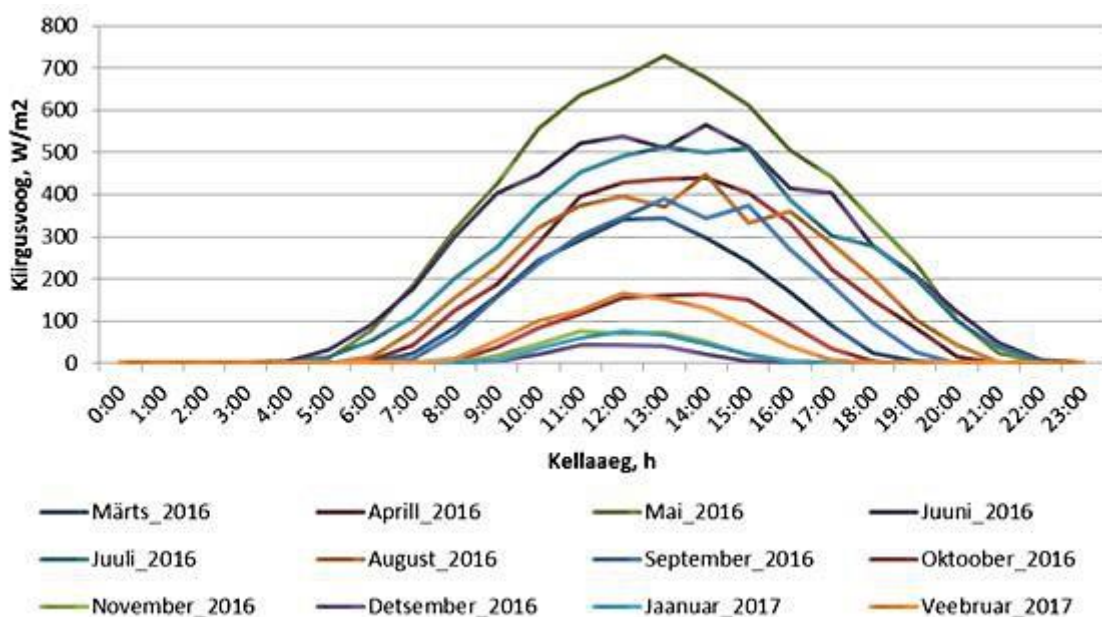
Peamiselt kasutatakse tubade soojendamiseks ahju ja puuküttega pliiti. Ahi asub hoone keskmises toas, mis annab peamiselt sooja kahele ruumile ning köögis olev pliit koos soojamüüriaga annab sooja kööki ning kolmandale ruumile. Renoveerimise käigus on vana pliit ja ahi välja lõhutatud ning asendatud uutega. Vannitoas on peamiseks küttekehaks elektriline põrandaküte ning ka saunaahi, aga sauna köetakse harva.

Kuna hoonet kasutatakse praegusel hetkel kui suviemajana, siis talvisel perioodil pole vaja pidevalt kütta. Oluline on, et oleks piisav temperatuur ruumides olemas. Torude külmumise vastu kasutatakse elektriradiaatoreid ja põrandakütet, mis tarbivad palju elektrit. Sel hetkel, kui hoones ei elata, köetakse ahju ja pliiti paar korda kuus, mis vähendavad mõningal määral elektrienergia tarbimist. Sees elamise korral kasutatakse ahju ja pliiti tihedamini.

5. VÕIMALIKUD PÄIKESEJAAMA LAHENDUSED JA TULEMUSED

5.1. Kiirgusvoo andmed

Päikesepaneelide ja –kollektorite tootlikkus sõltub väga palju päikesekiirguse hulgest ja päikesepaisteliste tundide arvust. Antud töös uuritakse Tartu Ülikooli füüsikainstituudi katusel oleva ilmajaama [17] mõõdetud tulemusi. Joonisel 5.1 on võrreldud kiirgusvoo väärtusi kuude täistundide keskmiste tulemuste järgi ja seda ajavahemikul 1. märts 2016 kuni 28. veebruar 2017.

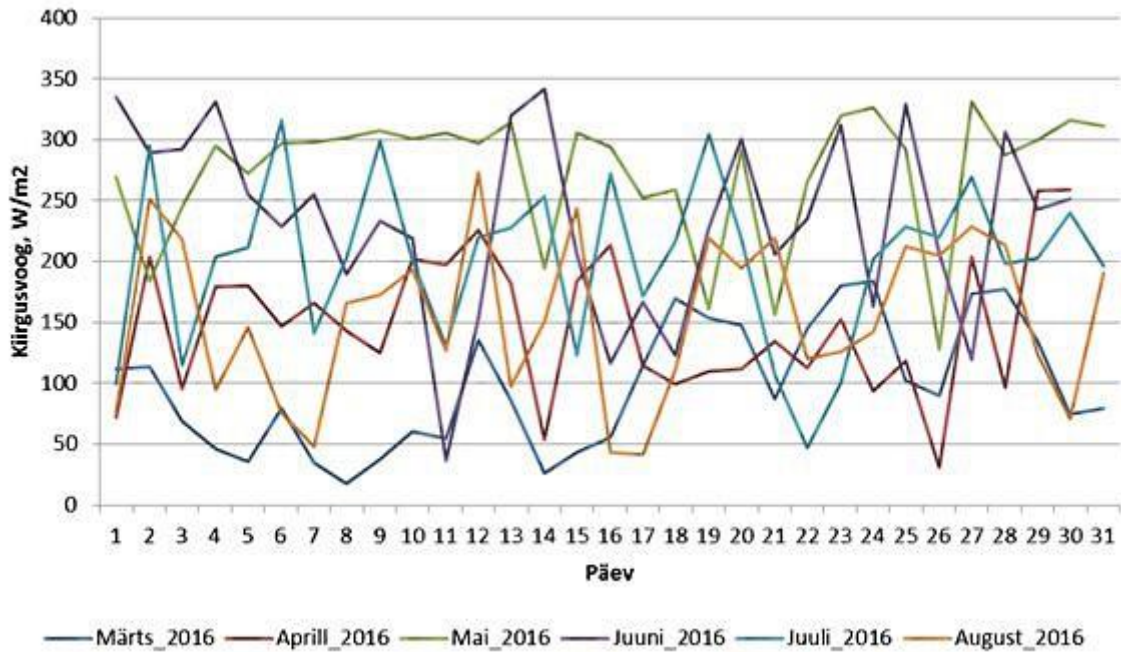


Joonis 5.1. Täistundidel horisontaalpinnale langeva keskmise kiirguse intensiivsus ajavahemikul 1.märts 2016 kuni 28. veebruar 2017

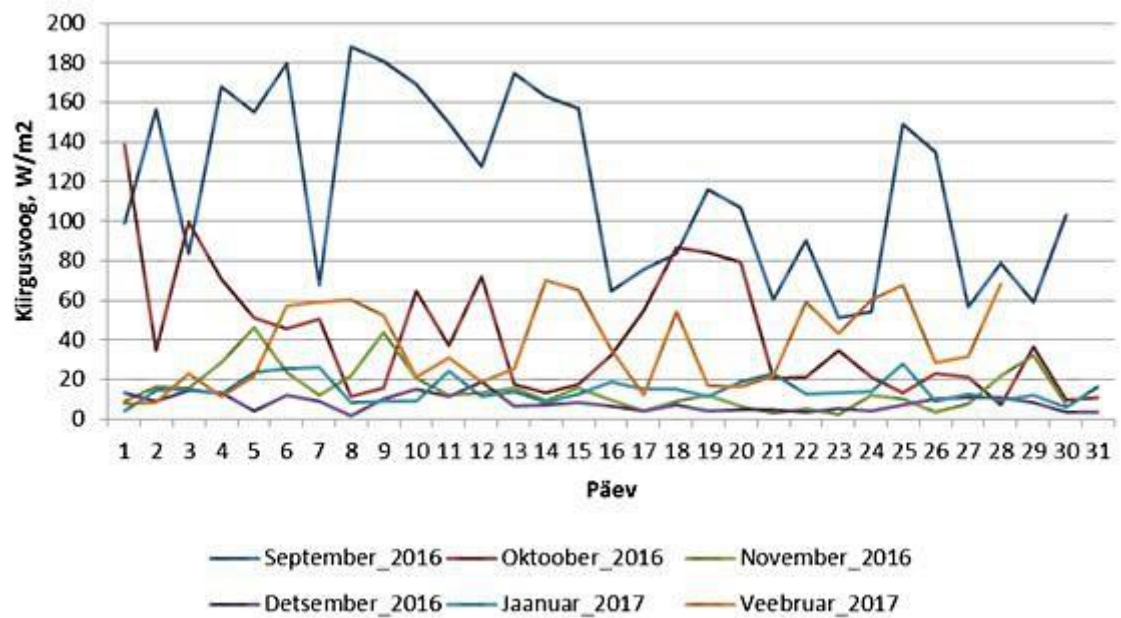
Jooniselt on näha, et kõige suuremad päikesekiirguse väärtused on olnud 2016. aasta mai kuus, kus parimad tulemused ulatuvad keskpäeval üle 700 W/m^2 . Ka 2016. aasta juuni ja juuli kiirgusvoo väärtused on head, aga oleksid võinud paremad olla. Eelmise aasta suvel oli päikesepaistelisi päevi vähem kui tavaliselt ja sellepärast jäävad suvekuude tulemused 2016. aasta maikuule alla. On teada, et päikesepaisteliste tundide arv erinebki ja see on tavaline, kui eelmise aasta mõõdetud väärtused erinevad eelnevate aastate omast.

Joonisel 5.2 on välja toodud mõõdetud kiirgusvoo keskmised tulemused ajavahemikul 1.märts 2016 kuni 31. august 2016 ja joonisel 5.3 mõõdetud kiirgusvoo keskmised tulemused ajavahemikul 1.september 2016 kuni 28. august 2017. Kuna kiirgusvoo

väärtused muutusid uuritava ajavahemikul palju, siis on tehtud kaks eraldi joonist, kus aasta on jagatud kaheks. Kahe erineva joonise pealt on võimalik saadud tulemusi paremini välja lugeda.

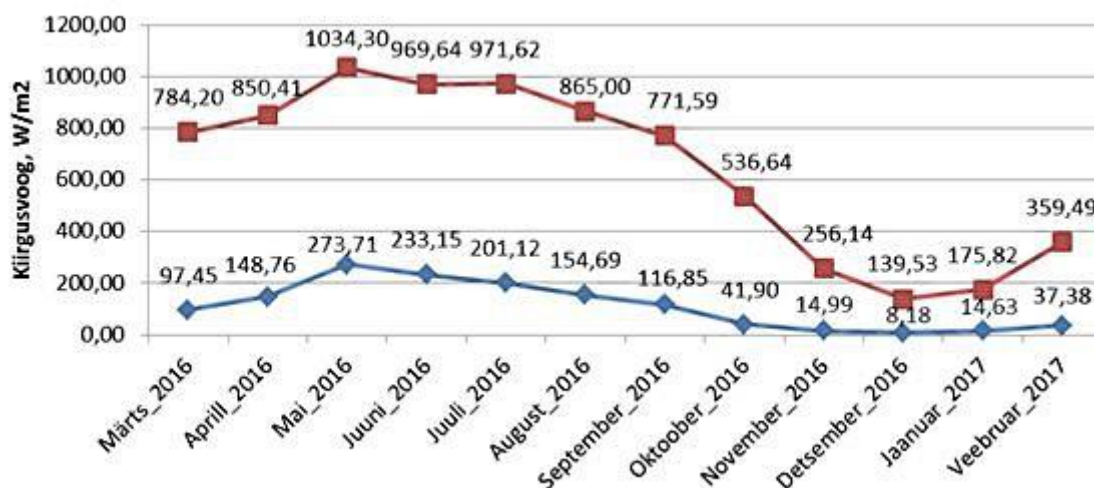


Joonis 5.2. Mõõdetud kiirgusvoo keskmised tulemused ajavahemikul 1.märts 2016 kuni 31. august 2016



Joonis 5.3. Mõõdetud kiirgusvoo keskmised tulemused ajavahemikul 1.september 2016 kuni 28. august 2017

Joonistelt on näha, et päikesekiirguse väärtused erinevade kuupäevade kaupa väga palju. Kõige väiksemad muutused esinevad 2016. aasta mais. Kõige suuremad erinevused on olnud 2016. aasta juunis, mil kõrgeim päeva keskmine väärtus oli 14. juunil (341 W/m^2) ja vähim väärtus 11. juunil (37 W/m^2). Kõige stabiilsemad kuud on olnud november, detsember 2016 ja jaanuar 2017. Joonisel 5.4 on välja toodud kuude keskmised ja maksimaalsed väärtused uuritava ajavahemikul. Keskmised väärtused on ära näidatud sinise joonega ja maksimumväärtused punasega.



Joonis 5.4. Kiirgusvoo kuude keskmised ja maksimumväärtused ajavahemikul 1. märts 2016 kuni 28. veebruar 2017

Joonis 5.4 tõestab seda, et kevad- ja suvekuudel on kiirgusvoo kuude keskmiste ja maksimumväärtuste vahel suuremad erinevused kui sügisel ja talvel. Kõige muutlikumad ilmad on olnud juulis ja mais, kus maksimumi ja keskmise vahe on $770,5$ ja $760,59 \text{ W/m}^2$. Selline erinevus tuleneb sellest, et mais ja suvekuudel esineb rohkem päikesevalgust kui seda sügisel ja talvel. Kõige väiksem erinevus on olnud 2016. aasta detsembris, kui uuritavate suuruste vahe oli vaid $131,35 \text{ W/m}^2$. Muidugi tuleb siinkohal arvestada ka sellega, et antud töös on kasutatud Tartu Ülikooli füüsikainstituudi katusel olevat ilmajaama, aga uuritav objekt asub Pärnumaal, kus on kiirgusvoo väärtused mõningal määral paremad kui Tartus.

5.2. Päikesepaneelide tootlikkus

Antud töös võrreldakse kahte erinevat päikesepaneeli. Kõige rohkem kasutatakse päikesejaama paigaldamisel just mono- ja polükristallilisi PV-paneeli. Tabelis 5.1 on välja

toodud polükristallilise paneeli Hahnwha 280 W, monokristallilise paneeli LG 320 W ja amorfse kilega Flexible 100 W paneeli tehnilised andmed.

Tabel 5.1. Võrreldavate päikesepaneelide tehnilised andmed [48;49]

	Hahnwha, 280 W	LG 320 N1C, 320 W	Flexible, 100 W
Efektiivsus, %	16,8	19,5	21
Maksimum võimsus, W	280	320	100
Avatud ahela pinge, V	37,9	40,9	21,6
Lühisvool, A	9,32	10,05	5,97
Pinge maksimum võimsusel, V	30,8	33,6	17,8
Vool maksimum võimsusel, A	8,75	9,53	5,62
Mõõt, mm	1670x1000x32	1640x1000x40	1060x540x3
Elementide arv	60	60	48

Päikesepaneelide eeldatava tootlikkuse teada saamiseks kasutatakse töös PVGIS andmebaasi [1], kus sisestatakse uuritava objekti täpne asukoht. Asukoha järgi saab välja arvutada paigaldatavate paneelide eeldatava tootlikkuse kuude lõikes. Lahtrisse *Radiation database* märgitakse *Classic PVGIS*, sest Eestis kasutatakse seda andmebaasi. *PV technology* lahtris valitakse mono- ja polükristalliliste paneelide kasutamise korral *Cristalline silicon*, amorfse kilega paneelide puhul *CIS*. Lahtrisse *Installed peak PV power* märgitakse päikesepaneelide süsteemi koguvõimsus kilovattides. Antud töös on valitud mono- ja polükristalliliste paneelide võimsusteks: 1,12, 1,28, 2,80, 3,20, 1,68 ja 1,92 kW. *Estimates system losses* lahtrisse märgitakse Eesti tingimustele vastav kadude protsent, milleks on 5%. Lahtri *Mounting position* juures valitakse maapinnal olevale päikesejaamale *Free-standing* positsioon ja katusel asetsevate paneelide puhul *Building integrated*. Siinkohal kehtib seos, et maapinnale paigaldatud päikesepaneelide tootlikkus on suurem, sest paneelide taga õhk liigub, mis kaitseb paneele ülekuumenemise eest ja jahutab neid. Lahtri *Slope* tähendab katuse kaldenurka ja Eestis optimaalseks kaldenurgaks loetakse 40 kraadi pinna normaali suhtes, mida kasutatakse ka antud töös. Kõik võrreldavad lahendused on lõunakaare suunas ja sellega on valitud asimuudiks 0°. Lahtri *Tracking options* juures ei märgitud katusel olevate lahenduste puhul midagi, aga kaks lahendust asuvad maapinnal, millest ühel saab paneele liigutada vertikaalses suunas kuni 70° ja teise lahenduse puhul on 2-teljeline päikest jälgiv seade.

Tabelites 5.2, 5.3 ja 5.4 on välja toodud mono- ja polükrtistallilise ning amorfse kilega päikesepaneelide eeldatav tootlikkus uuritava objekti asukohas. Kõigi kolme paneeli suhtes on võrreldud nelja erinevat võimalikku lahendust. Kuna hoonel on lõunakaare suunas

olevat katuse pinda vähe, siis sinna saaks väikese võimsusega süsteemi paigaldada (neli paneeli). Teise lahenduse puhul saaks ehitada väikese katusealuse autole, mille katusele saaks suurema võimsusega süsteemi paigaldada (kümme paneeli). Kolmandaks ja neljandaks lahenduseks oleks paigaldada kõrvalhoone taha väike päikesejaam (kuus paneeli), mis ei segaks vaatevälja.

Tabel 5.2. Päikesepaneeli Hahnwha Q.Cells-Q.Plus BFR-G4.1 280 W erinevate paigalduskohtade ja koguvõimsustega päikesejaamade aasta eeldatav tootlikkus

	Katus 1,12 kW (kW·h)	Katusealune, 2,80 kW (kW·h)	Maapind 1,68 kW (kW·h)	2-teljeline 1,68 kW (kW·h)
Märts	88,5	177	176	177
Aprill	126	256	268	274
Mai	154	307	354	369
Juuni	148	297	345	362
Juuli	149	299	348	364
August	124	248	264	273
September	87,6	175	176	178
Oktoober	54,7	109	105	105
November	22,1	44,2	39,9	39,5
Detsember	13,2	26,4	23,8	23,6
Jaanuar	21,8	43,5	40,6	40,3
Veebruar	50,2	100	98,7	98,7
Aasta keskmine:	86,5	173	187	192
Aastas kokku:	1040	2080	2240	2300

Tabel 5.3. Päikesepaneeli LG 320 N1C, NeON 2, 320Wp, mono eeldatav tootlikkus

	Katus 1,28 kW (kW·h)	Katusealune 3,20 kW (kW·h)	Maapind, 1,92 kW (kW·h)	2-teljeline 1,92 kW (kW·h)
Märts	101	202	201	203
Aprill	144	288	306	313
Mai	175	351	405	421
Juuni	170	339	394	414
Juuli	171	341	398	416
August	142	284	302	312
September	100	200	201	204
Oktoober	62,5	125	120	119
November	25,3	50,5	45,6	45,1
Detsember	15,1	30,1	27,2	27
Jaanuar	24,9	49,7	46,4	46,1
Veebruar	57,4	115	113	113
Aasta keskmine:	99	198	213	219
Aastas kokku:	1190	2380	2560	2630

Kuna antud töös on amorfse kilega päikesepaneelide pindala ja võimsus väiksem, siis eeldatava tootlikkuse arvutamiseks kasutatakse rohkem paneele, kui seda mono- ja polükristalliliste PV-paneelide puhul. Hoone katuse lahenduse korral kasutatakse 12

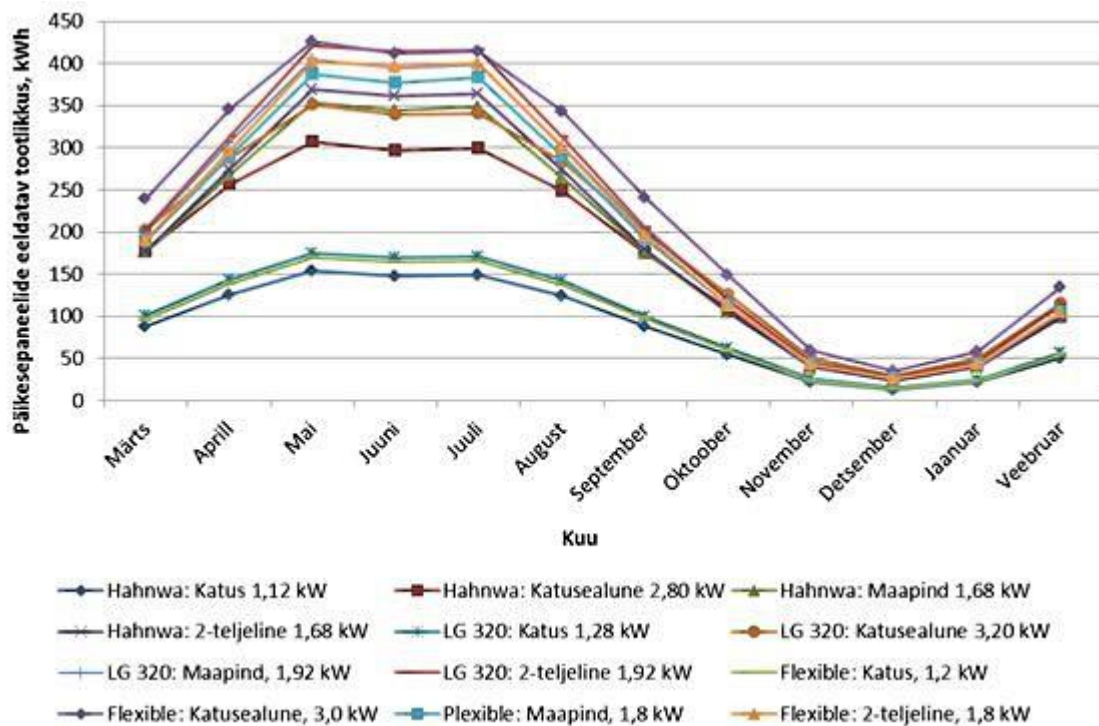
paneeli (koguvõimsus 1,2 kW), auto väligaraaži puhul 30 paneeli (koguvõimsus 3,0 kW) ja maapinnal olev päikesejaam koosneb 18 *thin-film* paneelist (koguvõimsusega 1,8 kW).

Tabel 5.4. Päikesepaneeli Flexible 100 W eeldatav tootlikkus

	Katus, 1,2 kW (kW·h)	Katusealune, 3,0 kW (kW·h)	Maapind, 1,8 kW (kW·h)	2-teljeline, 1,8 kW (kW·h)
Märts	96,1	240	189	190
Aprill	138	346	290	297
Mai	170	426	387	403
Juuni	165	412	377	397
Juuli	166	414	383	400
August	137	343	290	300
September	96,4	241	192	195
Oktoober	59,4	149	113	113
November	23,7	59,2	42,9	42,4
Detsember	14,0	35,0	25,4	25,1
Jaanuar	23,1	57,8	42,9	42,7
Veebruar	53,7	134	105	105
Aasta keskmine:	95,2	238	203	209
Aastas kokku:	1140	2860	2440	2510

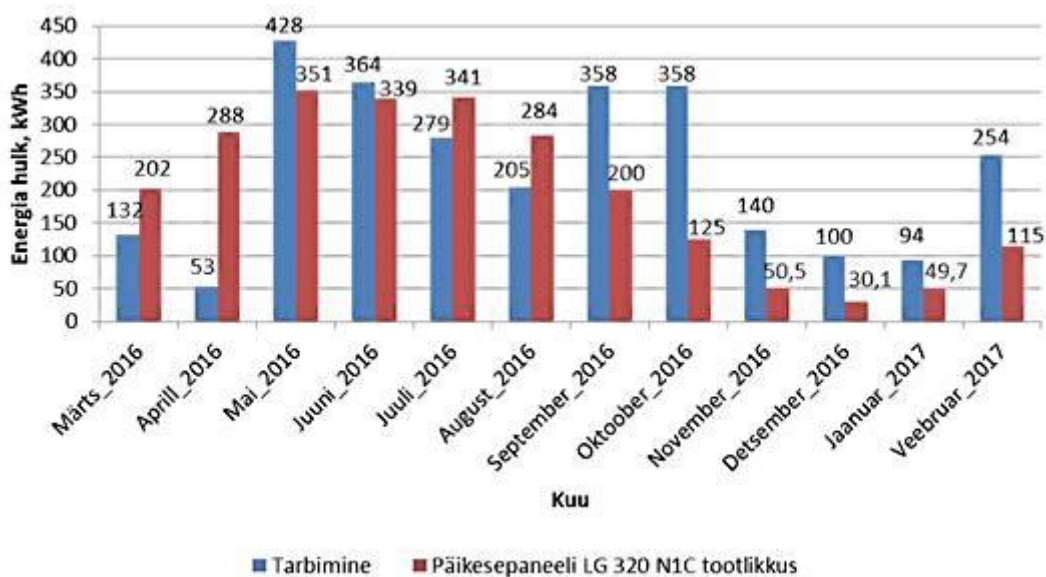
Joonisel 5.5 on välja toodud kõigi kolme päikesepaneeli eeldatav tootlikkus kõigi nelja võimaliku lahenduse korral. Kõige suurema tootlikkusega on kaheteistkümnest amorfse kile päikesepaneelidest koosnev katusealusele paigaldatud päikeseelektrijaam, mille aastane eeldatav tootlikkus oleks kokku 2860 kW·h. Sellise tulemuse põhjuseks saab pidada amorfse kilega paneeli head efektiivsust. Tänapäeval on hakatud valmistama ka kõrgema kasuteguriga paneele. Paremusest järgmine variant oleks maapinnal asetsev kaheteljeline kuuest monokristallilistest paneelidest koosnev päikesejaam, mille aastane eeldatav tootlikkus kokku oleks 2630 kW·h.

Kõige nõrgemad tulemused on tulnud polükristalliliste paneelide kasutamisel, kus kõige halvemaks lahenduseks oleks hoone katusele 1,28 kW päikeseelektrijaama paigaldamine. Selline variandi aastane eeldatav kogutoodang oleks vaid 1040 kW·h. Põhjus tuleneb sellest, et antud uurimuses on kasutatud väiksema võimsusega ja efektiivsusega polükristallilisi paneele, kui seda on monokristallilised- ja amorfse kilega paneelid. Kuna PVGIS andmebaasis ei saa eraldi võrrelda mono- ja polükristallilisi paneele, siis võimsuste järgi valitud paneelid on võetud teadlikult, et tulemused eristuksid teineteisest. Töös võrreldud paneelide tootlikkus erineb kõige rohkem suvel ja kõige vähem talvel.



Joonis 5.5. Kolme päikesepaneeli eeldatav tootlikkus nelja võimaliku lahenduse korral

Reaalselt oleks nelja erineva lahenduse puhul hetkel kõige paremaks variandiks paigaldada kümnest monokristallilised päikesepaneelid koosnev 3,2 kW päikesejaam juurdeehitise (kas siis auto katusealune või väike katusega istumisala) katusele. Joonisel 5.6 on välja toodud sellise päikesejaama eeldatav tootlikkuse võrdlus tarbimisega.



Joonis 5.6. 3,2 kW päikesejaama eeldatava tootlikkuse võrdlus tarbimisega ajavahemikul

1.märts 2016 kuni 28. veebruar 2017

Jooniselt 5.6 on näha, et katusele paigaldatav päikeseelektrijaama tootlikkus ületab tarbimist märtsis 2016, aprillis 2016, juulis 2016 ja augustis 2016. Selline lahendus aga kataks 86 protsenti aasta kogu tarbitud elektrienergiast. Üldiselt viibitakse hoones ajavahemikul aprill kuni oktoober, aga 2016. aastal saabuti elamusse alles aprilli lõpus ja viibiti eemal lühiajaliselt juulis ja augustis. Kõige stabiilsem aeg on juunis 2016, kus tarbimise ja tootmise energiahulga vahe on vaid 25 kW·h.

Katusele päikesejaama ehitamisel pole vaja juurde muretseda liikuvaid osi ja nende hooldamine oleks kerge. Maapinnal olevatele lahendustele oleks vaja juurde osta postid ja talad, kuhu päikesepaneelid asetada. Lisaks konstruktsioonosadele oleks vaja juurde muretseda ka liikuvad lülid, mis liigutaks paneele soovitud kraadide võrra. Lisaks sellele, kui paneelid on paigaldatud katusele, ei riiva nad liialt silma ja hetkel kasutamata maad saaks ära kasutada muul otstarbel.

5.3. Päikesekollektorite tootlikkus

Kasutatava tarbevee soojendamiseks saab väga kasulikult kasutada päikesekollektoreid. Antud töös võrreldakse omavahel lame- ja vaakumtorudega kollektorit. Tabelis 5.5 on välja toodud päikesekollektorite TS 300 ja ED58-18-20 tehnilised andmed. Võrreldavad kollektorid on valitud hoones hetkel alaliselt elavate inimeste arvu ja eeldatava vee tarbimishulga järgi. Päikesekollektorid on valitud kasuliku neeldumispinna suuruse ja kasuteguri järgi. Kuna vaakumtorudega kollektorid on Eesti kliimas parema tootlikkusega kui plaatkollektorid, siis teadlikult valiti selliste tehniliste andmetega päikesekütte seadmed.

Tabel 5.5. Kollektorite TS 300 ja ED58-18-20 tehnilised andmed [49]:

	TS 300	ED58-18-20
Pindala, m ²	2,031	2,955
Apertuur A, m ²	1,78	1,87
Kasutegur η_0 , %	81,8	62,1
Kõrgeim veetemperatuur tsirkulatsiooni korral, C°	192	217
Keskmine veetemperatuur T _m , C°	96	108,5

Päikesekollektorite tootlikkuse arvutamiseks on vaja teada päevase päikeseenergia hulka. Päikesekiirguse andmed, ajavahemikul 1.märts 2016 kuni 28. veebruar 2017, on võetud Tartu Ülikooli füüsikainstituudi ilmajaama arhiivist.

Arvutatud päikeseenergia tulemused on tabelis 5.6, kus on uuritavad suurused välja toodud kilovattides (kW) ja megadžaulides (MJ). Siinkohal märkus, et 1kW·h võrdub 3,6 MJ.

Tabel 5.6. Päikeseenergia summaarne hulk päevas ja kuus

Kuu	Päikeseenergia hulk päevas, kW·h/m ²	Päikeseenergia hulk kuus, kW·h/m ²	Päikeseenergia hulk päevas, MJ/m ²	Päikeseenergia hulk kuus, MJ/m ²
Märts 2016	2,34	72,50	8,20	261,01
Aprill 2016	3,57	107,11	12,85	385,60
Mai 2016	6,57	203,64	23,65	733,10
Juuni 2016	5,60	167,87	20,14	604,32
Juuli 2016	4,83	149,64	17,38	538,69
August 2016	3,71	115,09	13,36	414,31
September 2016	2,80	84,14	10,10	302,88
Oktoober 2016	1,00	31,15	3,62	112,12
November 2016	0,36	10,80	1,30	38,86
Detsember 2016	0,20	6,09	0,71	21,92
Jaanuar 2017	0,35	10,88	1,26	39,18
Veebruar 2017	0,90	25,15	3,23	90,54
Aastas kokku:		984,04		3542,54

Võib öelda, et tabelis 5.6 olevad tulemused vastavad tegelikkusele. Tõraveres on aasta keskmiseks päikeseenergia väärtuseks 969,2 kW·h/m² ehk 3489 MJ/m² [50]. Kuna uuritav objekt asub Pärnumaal, siis seal on päikesekiirguse väärtused erinevad kui Tõraveres ja Tartu Ülikooli füüsikainstituudi katusel mõõdetud tulemused. Mõõdetud tulemused on näidanud seda, et Pärnumaal on päikesepaistelisi tunde rohkem kui seda Tartumaal. Järgnevalt leitakse päikesekollektorite toodetav energiahulk ühes kuus valemiga [51]:

$$q = A \cdot G \cdot \eta, \quad (5.1)$$

kus q on päikesekollektori poolt muundatud energiahulk kuus, kW·h;

A – päikesekollektori neeldumispind, m²;

G – päikeseenergia kogus kuus, kW·h/m²;

η – päikesekollektori neeldumispinna ja süsteemi kasutegur, %.

Valemiga 5.1 leitud väärtused on kantud tabelisse 5.7, kus on näha võrreldavate päikesekollektorite toodetav energia kilovatt-tundides ja megadžaulides kuude lõikes. Päikesekollektoritega tarbevee soojendamisel esinevad erinevad soojuskaod, aga neid antud töös ei arvestata. Kadude suuruseks arvestatakse tavaliselt 10% kogutoodangust.

Tabel 5.7. Kollektorite TS 300 ja ED58-18-20 eeldatav tootlikkus kuus

Kuu	TS 300		ED58-18-20	
	Tootlikkus kuus, kW·h	Tootlikkus kuus, MJ	Tootlikkus kuus, kW·h	Tootlikkus kuus, MJ
Märts 2016	105,56	380,02	84,19	303,08
Aprill 2016	155,96	561,46	124,38	447,77
Mai 2016	296,51	1067,44	236,48	851,33
Juuni 2016	244,43	879,95	194,94	701,78
Juuli 2016	217,88	784,37	173,77	625,57
August 2016	167,58	603,29	133,65	481,14
September 2016	122,51	441,04	97,71	351,76
Oktoober 2016	45,36	163,30	36,17	130,21
November 2016	15,73	56,63	12,54	45,14
Detsember 2016	8,87	31,93	7,07	25,45
Jaauar 2017	15,84	57,02	12,63	45,47
Veebruar 2017	36,62	131,83	29,21	105,16
Aastas kokku:	1432,85	5158,26	1142,74	4113,86

Tabelist 5.7 on näha, et rohkem suudab vett soojendada plaatkollektor. TS 300 neeldumispind on küll väiksem vaakumkollektorist, aga vett soojendava paneeli tootlikkuse juures on väga tähtis ka kasutegur. Suvisel perioodil on tootlikkus märgatavalt suurem kui seda talvel ja arvestada tuleb sellega, et suvel ei soojendataks vett üleliia.

Erinevates kirjanduslikes allikates on ära märgitud ühe inimese veehulga tarbimine päevas. Ühes allikas on välja toodud, et üks inimene tarbib vett 90-160 liitrit päevas [45], teises jällegi vähem. Arvestades, et uuritavas hoones elavad alaliselt vanemad inimesed, siis nende vee tarbimisharjumused on tavalisest väiksemad. Kuna elamusse ei ole paigaldatud veearvestit ja vesi tuleb lokaalsest puurkaevust, siis võib tarbitava vee hulka vaid oletada.

Antud töös võetakse ühe inimese kasutatavaks vee hulgaks 50 liitrit päevas, mis teeb ühes päevas kokku 100 liitrit. Üks kord nädalas tehakse ka sauna, kus sooja vee tarbimise hulk võrreldes teiste päevadega on natukene suurem (75 liitrit ühe inimese kohta). Eeldatav tarbitava vee hulk ühes kuus oleks 3200-3300 liitrit, kuigi suvekuudel tarbitakse arvatavasti vähem sooja vett. Valitud päikesekollektorite neeldumispinda ja kasutegurit võrreldes valitakse vee akumulatsioonipaagi mahuks 200 liitrit. Kuna vee soojendamise ja tarbimise ajad ei ühti, siis ühe inimese kohta peab salvesti maht olema 80-100 liitrit [44].

Tavaliselt on kraanist tuleva vee temperatuur 20 ja 50 °C vahel. Antud töös on kasutatavaks temperatuuride vaheks 60 °C (algtemperatuur 10 ja lõpptemperatuur 70 C°). Järgnevalt leitakse tarbitava vee soojendamiseks kuluv energiakulu valemiga [51]:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T, \quad (5.2)$$

kus Q on vee soojendamiseks kuluv energiahulk, J;

c – vee erisoojus, 4200 J/(kg·K);

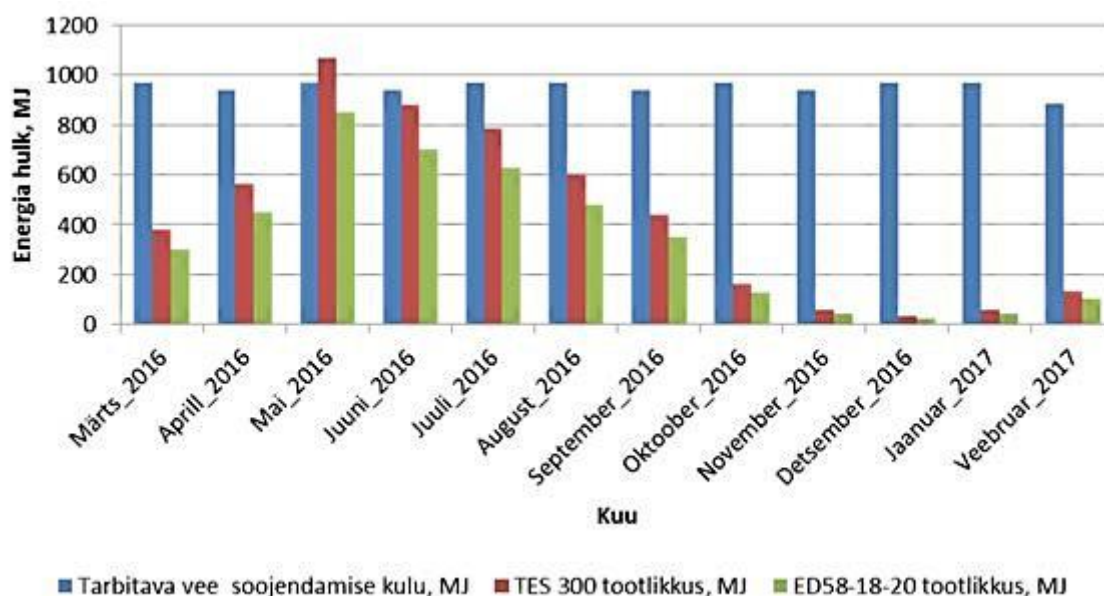
m – tarbitava vee hulk, kg;

ΔT – akumulatsioonis oleva vee alg- ja lõpptemperatuuri vahe, K.

Valemiga 5.2 arvatud tulemused on kantud tabelisse 5.8 ja lisaks vee soojendamiseks kulunud energiahulga on tabelis ka päikesekollektorite tootlikkuse väärtused.

Tabel 5.8. Tarbevee soojendamiseks kuluv energia ja kollektorite tootlikkuse väärtused

Kuu	Tarbitava vee hulk, l	Tarbitava vee soojendamise kulu, MJ	TES 300 tootlikkus, MJ	ED58-18-20 tootlikkus, MJ
Märts 2016	3300	970,2	380,02	303,08
Aprill 2016	3200	940,8	561,46	447,77
Mai 2016	3300	970,2	1067,44	851,33
Juuni 2016	3200	940,8	879,95	701,78
Juuli 2016	3300	970,2	784,37	625,57
August 2016	3300	970,2	603,29	481,14
September 2016	3200	940,8	441,04	351,76
Oktoober 2016	3300	970,2	163,30	130,21
November 2016	3200	940,8	56,63	45,14
Detsember 2016	3300	970,2	31,93	25,45
Jaanuar 2017	3300	970,2	57,02	45,47
Veebruar 2017	3000	882,0	131,83	105,16
Aastas kokku:	38900	11436,6	5158,26	4113,86



Joonis 5.7. Tarbevee soojendamiseks kuluva energia ja kollektorite tootlikkuse võrdlus

Jooniselt 5.7 on näha, et uuritavale objektile sobib paremini vaakumtorudega kollektor ED58-18-20. Kui kõikide kuude arvatud tulemusi vaadata, siis ühelgi kuul ei ületa kollektori võimalik tootlikkus tarbitava vee koguse soojendamiseks kuluva energiahulga väärtust (plaatkollektori TES 300 tootlikkus ületab maikuus). Sellest saab järeldada, et vee soojendamine on kasulik ja kollektorit kasutades ei ole vaja nii palju elektrivõrgust elektrienergiat tarbida, kui seda varem on tehtud. Valemist 5.2 on tuletatud vee mass ja sellega leitakse, kui palju vett suudab kollektor ühes kuus soojendada. Arvatud tulemused on kantud tabelisse 5.9.

Tabel 5.9. Päikesekollektoriga ED58-189-20 tootlikkus ja soojendatud vee kogus

Kuu	ED58-18-20 tootlikkus, MJ	Saadud sooja vee kogus, l
Märts 2016	303,08	1030,88
Aprill 2016	447,77	1523,03
Mai 2016	851,33	2895,68
Juuni 2016	701,78	2387,01
Juuli 2016	625,57	2127,79
August 2016	481,14	1636,53
September 2016	351,76	1196,46
Oktoober 2016	130,21	442,89
November 2016	45,14	153,54
Detsember 2016	25,45	86,56
Jaauar 2017	45,47	154,66
Veebruar 2017	105,16	357,69
Aastas kokku:	4113,86	13992,72

Kuna elamus elab vähe inimesi, siis vee soojendamiseks piisab ka vaid ühest kollektorist, mis on pindalaga 2,955 m² (neeldumispind 1,87 m²). Antud vaakumtorudega kollektor suudaks soojendada peaaegu 14 000 liitrit vett aastas, mis teeb 36 protsenti aastasest tarbitavast kogusest. Siinkohal tuleb silmas pidada seda, et töös on kasutatud lihtsustatud valemeid ning täpsema tootlikkuse arvutamiseks tuleks arvestada esinevate kadudega ja päikese asimuudiga. Hoone suhtes vaadatuna saaks kollektori paigaldada katuse välja ehitatud osale, mis on suunaga lõunasse. Katusele paigaldatud kollektor ei riivaks silma ja vee soojendamine toimuks tarbimiskoha lähedale, millega kaasneksid süsteemis väiksemad kaod.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös oli uuritavaks objektiks Pärnumaal Suurejõe külas asuv 94. aastane maja, kus soovitakse elektrivõrgust tarbitava elektrienergia hulka vähendada ja kasutada üha populaarsemaks saavat päikeseenergiat. Hoones elavad alaliselt kaks vanemat inimest ja kes viibivad seal tavaliselt ajavahemikul aprill kuni oktoober. Elamu kõrval on kõrvalhoone, mida kasutatakse hetkel vaid kuuri- ja garaažina. Uuritava objekti ümber on ka palju vaba maa-ala, mida saaks efektiivselt ära kasutada päikeseelektrijaama ehitamiseks.

Enne päikesepaneelide ja –kollektorite tootlikkuse arvutamist oli vaja teada, palju on elanike elektrienergia tarbimine uuritaval ajavahemikul. Tulemused saadi Eesti Energia iseteenindusest, kuhu olid laekunud igakuised arved ja tarbimise hulk kilovatt-tundides. Kuna hoones ei viibita aastaringselt, vaid alaliselt, siis ka tarbitava elektrienergia hulk on tavaliselt palju väiksem. Aastas kasutati elektrienergiat vaid 2766 kW·h. Tulemustest on näha seda, et elektrienergiat on kasutatud ka sellel ajal, kui hoones pole elatud. Põhjuseks on see, et elamut renoveeriti ajal, mil pererahvas ei viibinud antud hoones. Teiseks põhjuseks on see, et talvel oli vaja majas hoida temperatuuri, et torud ära ei külmuks. Positiivsete plusskraadide hoidmiseks kasutati kahte elektriradiaatorit ja põrandakütet. Tuttavad kütsid ka ahju kaks kuni kolm korda kuus.

Kiirgusvoo andmete saamiseks kasutati Tartu Ülikooli füüsikainstituudi katusel oleva ilmajaama mõõdetud tulemusi. Uuritav objekt asub Pärnumaal ja sealsed päikesekiirguse tulemused on kindlasti paremad, aga füüsikainstituudi andmete järgi saab teada, kui hea oli kiirgusvoo tulemus uuritaval ajahetkel. Päikesekiirguse andmete töötlemisel saadi tulemuseks, et aastane kiirgusvoo hulk ühele ruutmeetrile on 984 kW·h ehk 3542 MJ. Kõige paremad tulemused on olnud 2016. aasta mais, kus päeva keskmiseks kiirgusvoo väärtuseks oli 1034 W/m². Kõige vähem paistis päikest detsembris, mis on ka igati loogiline, sest just siis on valgust kõige vähem.

Päikesepaneelide paigaldamisel võrreldi omavahel kolme erinevat PV-paneeli (mono- ja polükristallilist ning amorfse kilega paneeli), mis olid erinevate võimsustega ja kasuteguritega. Antud töös võrreldi omavahel nelja erinevat lahendust, mida saaks uuritaval

objektile rakendada: elamu katusele paigaldatavad paneelid, juurdeehitise katusele paigaldatavad paneelid ja kaks varianti kõrvalhoone taga olevale kasutamata maa-ala, kus ühe lahendusena oleks vertikaalselt 70 kraadi liigutatav süsteem ning teisena päikest jälgiv kaheteljeline jaam. Kõige paremaks lahenduseks oleks juurdeehitise katusele paigaldatav 3,2 kW-ne kümnest monokristallilisest paneelist koosnev päikeselektrijaam. Selline süsteemi tootlikkus oleks 2380 kW·h aastas ja see kataks 86 protsenti kogu tarbitavast elektrienergiast.

Päikesekollektorite kasutamise võimalike lahenduste leidmiseks võrreldi omavahel ühte plaat- ehk lamekollektorit TES 300 ja ühte vaakumtorudega kollektorit ED58-18-20. Ainukeseks võimalikuks lahenduseks on võetud elamu katusel olev katuse väljaehitatud osa, mis on suunaga lõunasse. Tarbitava vee kogus aastas on ligikaudu 38 900 liitrit, mille soojendamiseks kulub 11 437 MJ elektrienergiat. Antud uurimuses on paremaks lahenduseks vaakumtorudega päikesekollektor, mille tootlikkus ei ületa ühelgi kuul tarbitava vee soojendamiseks kuluvat energia kogust. Kollektori ED-58-18-20 aastane tootlikkus oleks 5158 MJ, millega saaks soojendada peaaegu 14 000 liitrit vett aastas (36 protsenti aasta kogutarbimisest). Sellise lahenduse korral kasutatakse soojendatud vee hoiustamiseks 200-liitrist akumulatsioonipaaki.

Antud hoone puhul pole varasemaid sellelaadseid uurimustöid tehtud ja seetõttu pole võimalik võrrelda saadud tulemusi eelnevatega. Kuna hoones viibitakse perioodiliselt ja hetkel käivad maja renoveerimistööd, siis kindlasti saaks tulevikus teha järgmised uuringud ja mõõtmised, kui ehitustööd on lõppenud ja kui hoonet kasutatakse aastaringseks elamiseks. Kindlasti võiks ka veesüsteemi paigaldada arvesti, et saaks teada kindla tarbitava vee koguse aasta lõikes. Antud töös uuriti elektri tarbimist kuude lõikes, aga edaspidi saaks teha mõõtmisi ka tundide järgi, kus oleks tarbimine täpsemini välja toodud.

SOLAR ENERGY APPLICATIONS FOR SMALL DWELLING

Summary

Present research has written of one 94 year old dwelling. The house is in Suurejõe village, Pärnu country. The dwelling has not be used the whole year, but usually people live there in the period April to October. In the house live partly two older persons and now it is in the renovating process. The research has written because the popularity of solar energy and the desire to use it. There is also a lots of unused free land around the buildings. In the analysis will find different ways to use PV-panels and solar thermal collectors.

The main goal is to use less electrical energy from the grid and produce energy from the solar energy. The annual electricity consumption from the grid is 2766 kW·h. It is less than usually in the dwellings, but with PV-panels and solar thermal collectors it would be more less. The solar radiation data has taken from the weather station of the Institute of Physics of the University of Tartu in the period March 2016 to February 2017. The results show that the total annual solar radiation amount was 948 kW·h/m² (3542 MJ/m²). The best figures were in May 2016 and the worst in December 2016.

The productivity of solar panels has calculated with PVGIS data program. This research is comparing three different PV-panels in four possible solutions (two solutions on the roof and two on the ground). The best solution is to install 3,2 kW plant with ten solar panels to the roof of annexe, which will produce 2380 kW·h energy per year. It is 86 % of annual consumption and these results are very good.

There is a comparison between two different solar thermal collectors. Estimated annual water consumption is almost 40 tons of water. It is expected, because in the dwelling has no water counter. The best solution is to use vacuum tubes solar collector on the roof of the dwelling, because in Estonia it is more useful than flat solar thermal collector (especially in winters). The collector of 1,87 m² absorption surface will heat 14 tons of water per year.

There is not any previous results and because of this it is not possible to compare the results with previous figures. In the future might do new measurements when people live in the dwelling permanently and it would be much better if there has a counter in the water system.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Photovoltaic Geographical Information System. European Commission. [on-line] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (30.05.2017)
2. What countries use the most Solar Panels? Solar Panel Guide. [on-line] <https://www.solarpanel.guide/countries-use-solar-panels/> (30.05.2017)
3. **Voiland, A.** NASA Earth Observatory. Longyangxia Dam Solar Park. (2017) [on-line] https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=89668&eocon=home&eoci=iotd_readmore (30.05.2017)
4. Europe sunshine hours map. Wikipedia commons. (2015) [on-line] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_sunshine_hours_map.png (30.05.2017)
5. **Potisepp, R, Tammist, R, Lokk, A.** Taastuvenergia aastaraamat 2015. Eesti Taastuvenergia Koda. Lk. 24 [on-line] http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2016/12/TEK_aastaraamat_A4_juuni16_40lk_PREVIEW-1.pdf (30.05.2017)
6. Investeeringud taastuvenergiasse ulatusid mullu 70 miljoni euroni. Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon. [on-line] <http://www.tuuleenergia.ee/2017/02/investeeringud-taastuvenergiasse-ulatusid-mullu-70-miljoni-euroni/> (30.05.2017)
7. ENMAK 2030. Energiamajanduse arengukava aastani 2030. (2016). *Eesti Arengufond*. [on-line] https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030_koos_elamumajanduse_lisaga.pdf (30.05.2017)
8. Valitsus kiitis heaks energiamajanduse arengukava aastani 2030. Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon. [online] <http://www.tuuleenergia.ee/2016/10/valitsus-kiitis-heaks-energiamajanduse-arengukava-aastani-2030/> (30.05.2017)
9. Väikeelamute rekonstrueerimistoetus. Kredex. [on-line] <http://kredex.ee/toetus/eraisikule-2/vaikeelamute-rekonstrueerimistoetus/> (30.05.2017)
10. Väikeelamute energiaohususe suurendamise toetuse andmise tingimused. (2016). 1. Üldsätted, 1.2. Mõsited. 1.2.6. Taastuvenergia tootmiseseade. *Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium*. [on-line] http://kredex.ee/public/Teenused/Vaikeelamute_toetused/kaskkiri_lisadega_Template_16-0293.pdf (30.05.2017)

11. **Vellamäe, M.** (2016). Eramu päikeseküttega ORC mikrotootmiseseade. (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli tehnikainstituut. Lk 15-16.
12. Päikesekiirguse liigid. Päikeseküte. [on-line] <http://www.xn--pikesekte-v2a4y.ee/artiklid/paikesekiirguse-liigid/> (30.05.2017)
13. **Tomson, T.** (2013). Hajukiirgus Eestis. - *Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine*. Koost. Volmer, E., Allik, A., Jõgi, E., Uiga, J. Väljaanne nr. 15. Tartu: Eesti Maaülikool, lk 86.
14. Päikesekiirgus Eestis. Tallinna Tehnikakõrgkooli varamu. [on-line] http://eprints.ttk.ee/128/2/paikesekiirgus/pikesekiirgus_eestis.html (30.05.2017)
15. Kliimanormid, päikesepaiste kestus. Riigi ilmateenistus. [on-line] <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/paikesepaiste-kestus/> (30.05.2017)
16. Päikesekiirguse omadused. Comfort home. [on-line] <http://www.comforthome.ee/ee/paikesekute/> (30.05.2017)
17. Päikese kiirgusandmed Eestis. Soojapood OÜ. [on-line] <http://www.soojapood.ee/et/p/paikese-kiirgusandmed-eestis> (30.05.2017)
18. Kiirgusvoo arhiiv. Tartu Ülikool, füüsika instituut. [on-line] <http://meteo.physic.ut.ee/> (30.05.2017)
19. **Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M.** Elekter päikesest ja tuulest. Lk 110-117. MTÜ Kolm Kobrast. Tallinn, 2012
20. Solar Panels are the same ... and other myths. Sinetech. [online] <http://www.sinetech.co.za/news-solar-panels-are-all-the-same.html> (30.05.2017)
21. Päikesepatarei volt-amper karakteristiku mõõtmine. Eri-praktikumi juhend. Tallinna Tehnikaülikool. (2015). [on-line] http://staff.ttu.ee/~krustok/Course/PDF/IV_juhend.pdf (30.05.2017)
22. MPPT kontrolleri tööpõhimõte. Taastuenergia. [online] <http://www.taastuenergia.ee/mppt-kontroller.html> (30.05.2017)
23. **Palge, V.** Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine (seitsmenda konverentsi kogumik). Päikesekollektori kasuteguri sõltuvus paigaldamise seadenurkadest, lk 124. Tartu, 2006.
24. **Zipp, K.** Solar Power World. How does a solar tracker work? 04.04.2013 [on-line] <http://www.solarpowerworldonline.com/2013/04/how-does-a-solar-tracker-work/> (30.05.2017)
25. PHOCOS päikesepaneelide kontrollid akude laadimiseks. Taastuenergia. [on-line] <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneeli-kontroller-phocos-cm.html> (30.05.2017)

26. Elektrivõrgu ühenduseta autonoomsed päikesepaneelide Off-grid lahendused akudega. Sinu energia. [on-line] http://paikesepaneel.ee/Web/Autonoomsed_Off_Grid_lahendused (30.05.2017)
27. Inverterid. Energia partner. [on-line] <http://energiapartner.ee/paikesenergia/inverterid/> (30.05.2017)
28. Võrguinverterid, inverter-laadijad, laadimiskontrollerid. NAPS. [on-line] <http://napsolar.ee/tooted/kodulahendused/inverterid-ja-laadimisseadmed/> (30.05.2017)
29. Elektrivõrguga ühendatud (On-grid) päikesepaneelide süsteem-mikrotootja. Sinu energia. [on-line] <http://paikesepaneel.ee/Web/MikrotootjanaLiitumine> (30.05.2017)
30. **Messenger, A. R., Ventre, J.** Photovoltaic Systems Engineering Third Edition. United States of America: CRC Press, 2010 – 503 lk.
31. Inverterid, muundurid. Copower. [on-line] <http://copower.ee/inverterid-muundurid/> (30.05.2017)
32. Solrif. Päikesekatus. [on-line] <http://www.xn--pikesekatus-l8a.ee/#solrif> (30.05.2017)
33. Solar Roof. Tesla. [on-line] <https://www.tesla.com/solarroof> (30.05.2017)
34. Tehtud tööd. Päikesekatus. [on-line] <http://www.xn--pikesekatus-l8a.ee/#tehtudtood> (30.05.2017)
35. Home page. SolaRoad. [on-line] <http://en.solaroad.nl/> (30.05.2017)
36. **Van Rooij, R.** Clean Technica. Dutch Solar Bike Path SolaRoad Successful & Expanding. (2017). [on-line] <https://cleantechnica.com/2017/03/12/dutch-solar-bike-path-solaroad-successful-expanding/> (30.05.2017)
37. Solar Power Hits the Road. (2015). IEEE Transmitter. [on-line] <http://transmitter.ieee.org/solar-power-hits-the-road/> (30.05.2017)
38. **Iyer, K.** TechWorm. Poland builds a solar-powered bike path that glows bright blue at night. (2016) [on-line] <https://www.techworm.net/2016/10/poland-builds-solar-powered-bike-path-glows-bright-blue-night.html> (30.05.2017)
39. Päikesekollektorid. Soletek. [on-line] <http://soletek.eu/paikesekollektorid/> (30.05.2017)
40. Päikesekollektorid vee soojendamiseks ja kütmiseks. Sinu energia. [on-line] <http://paikesepaneel.ee/Web/Paikesekollektorid> (30.05.2017)
41. Päikesekollektor. Energiatalgud. [on-line] <https://energiatalgud.ee/index.php?title=P%C3%A4ikesekollektor> (30.05.2017)

42. Lamekollektorid. Soletek. [on-line] <http://soletek.eu/paikesekollektorid/lametekollektorid/> (30.05.2017)
43. Sõro, T. (2015). Päikeseenergiasüsteemide rakendamine eramute soojusenergia vajaduse rahuldamiseks. (Bakalaureusetöö). Tartu Ülikool. [on-line] http://taurus.gg.bg.ut.ee/Loputood_2015/KKP_rak/S%C3%B5ro_Triin.pdf (30.05.2017)
44. Rosin, A. Päikeseenergeetika, põhialused. Tallinna Tehnikaülikool. [on-line] https://energiatalgud.ee/img_auth.php/9/93/Rosin%2C_A._P%C3%A4ikeseenergeetika_p%C3%B5hialused._2012.pdf (30.05.2017)
45. Hot Water Consumption per Occupant. The Engineering ToolBox. [on-line] http://www.engineeringtoolbox.com/hot-water-consumption-person-d_91.html (30.05.2017)
46. Vändra mnt. 7 hübriidkaart. Maa-amet. [on-line] https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WID-TH=1066&HEIGHT=638&zlevel=10,564118.22106929,6498403.6723633 (30.05.2017)
47. E-teenindus. Eesti Energia. [on-line] <https://www.energia.ee/et/e-teenindus/tarbimisajalugu> (30.05.2017)
48. Päikesepaneelid. TipSolar. [on-line] <http://www.tipsolar.ee/7-tooted-paikesepaneelid.html> (30.05.2017)
49. Päikeseküte. Akrom. [on-line] <http://www.akromex.com/eshop/et/> (30.05.2017)
50. Post, P. Päikese soojusenergiat põhinevad tehnoloogiad. Tartu Ülikool. [on-line] https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/28239/pikese_soojusenergiat_phinevad_tehnoloogiad.html (30.05.2017)
51. Defining Collector Efficiency. Apricus. [on-line] http://www.apricus.com/html/solar_collector_efficiency.htm#.WS6uaJKLTIU (30.05.2017)

LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Regina Feldman,
(sünnipäev 23.12.1990)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Päikeseenergia kasutamine väikeelamu näitel, mille juhendajad on Erkki Jõgi ja Veli Palge,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni 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, 31.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ (juhendaja nimi ja allkiri)

_____ (kuupäev)

_____ (juhendaja nimi ja allkiri)

_____ (kuupäev)