



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut



www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Maaküttega eramaja päikeseelektrijaama otstarbekus

Expediency of solar system in the house with geothermal heat pump

MAGISTRITÖÖ
HAJAENERGEETIKA

Üliõpilane: Aleksandr Petkevits

Üliõpilaskood: 153455 AAHM

Juhendaja: dotsent. Eduard Latšov

Tallinn, 2018.a.

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks elektroenergeetika erialal.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“ 25 ” Mai 2018

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“ 25 ” Mai 2018

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“ ”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

L.1. Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Aleksandr Petkevits	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Maaküttega eramaja päikeseelektrijaama otstarbekus	
<i>Kuupäev:</i> 25.05.2018	69 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja Mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> dotsent Eduard Latõšov	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> ei ole	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida, kuidas päikesepaneelide paigaldamine eramaja katusele aitab säästa elektriarvetelt ja kui pikk on selle süsteemi tasuvusaeg. Magistritöö käigus soovin tutvuda elektrienergia tootmisega PV paneelide abil ning uurida päikeseelektrijaama kasulikkust tavatarbija puhul. Töö põhineb konkreetse maja näitel.	
Töö struktuur. Töö koosneb järgnevatest osadest:	
- Osas 1. On käsitletud PV paneelide tehnilisi näitajaid, omapärasid, maksumusi jne.	
- Osas 2. On kirjeldatud uuritava objekti energiatarbimist ja muud PEJ planeerimise seisukohalt olulisi aspekte. Päikeseenergia potentsiaal.	
- Osa 3. Otstarbekuse hinnang. Muud vajalikud andmed (toetused, elektri hind). Tehnilised arvutused. Majanduslikud arvutused. Tundlikkuse analüüs.	
- Osa 4. Tulemuste analüüs. Diskussioon.	
<i>Märksõnad:</i> Päikeseelektrijaam, päikesepaneel, inverter, tootlikkus, soojuspump	

L.2. Summary of the Thesis

<i>Author:</i> Aleksandr Petkevītš	<i>Type of the work:</i> Master thesis
<i>Title:</i> Expediency of solar system in the house with geothermal heat pump	
<i>Date:</i> 25.05.2018	<i>69 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> dotsent. Eduard Latõšov	
<i>Consultant(s):</i> no	
<p><i>Abstract:</i> The goal of this Master's thesis is to investigate how the installation of solar panels on the roof of a private house helps to save electricity bills and how long is the payback period. Work is done for a specific house. In the course of this work, I want to show if the idea of a solar power plant is useful to the average consumer, or it's just a waste of time and money, and how the production of electricity through PV panels works.</p> <p>Structure of the work. The work consists of the following parts:</p> <ul style="list-style-type: none">- Part 1: Technical characteristics, peculiarities, costs, etc. of PV panels.- Part 2. The energy consumption of the investigated object and other aspects relevant to the solar power station planning are described. Solar energy potential.- Part 3: Feasibility assessment. Other necessary data (subsidies, electricity price). Technical calculations. Economic calculations. Sensitivity analysis.- Part 4: Analysis of results. Discussion	
<i>Keywords:</i> Solar power, solar panels, inverter, production, heat pump	

Sisukord

Lõputöö ülesanne	7
Teema põhjendus	8
Töö eesmärk	8
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:	8
Lähteandmed	8
Uurimismeetodid	8
Graafiline osa	9
Töö struktuur	9
Kasutatud kirjanduse allikad	9
Töö etapid ja ajakava	10
Eessõna	11
Sissejuhatus	12
1. Päikesepaneel ja päikeseelektrijaam	13
1.1. Üldiseloostus	13
1.1.1. Ajalugu	14
1.1.2. Olukord maailmas ja Eestis	16
1.1.3. Plussid ja miinused	20
1.2. Tulevikuvision	23
1.3. Tehnilised näitajad	26
1.4. Tüübid	28
1.5. Paigutamise viisid	31
1.6. Päikeseelektrijaama tüübid	33
1.7. Ühendamine	36
1.8. Majanduslikud aspektid	37
2. Tarbija	40
2.1. Üldiseloostus	40
2.2. Energia tarbimine	42
2.3. Tehnilised aspektid	43
2.4. Päikeseenergia potentsiaal	45
3. Otstarbekuse hinnang	47
3.1. Tehnilised arvutused	47

3.2. Majanduslikud arvutused.....	51
3.2.1. Baasvariant.....	52
3.2.2. Tasuvusanalüüs.....	53
4. Tulemuste analüüs ja diskussioon.....	58
Lõputöö kokkuvõte	61
Lisad	63
Kasutatud kirjandus	64

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema: Maaküttega eramaja päikeseelektrijaama otstarbekus.

Üliõpilane, üliõpilaskood: Aleksandr Petkevits 153455AAHM

Eriala: Hajaenergeetika

Lõputöö liik: magistritöö

Lõputöö juhendaja: Eduard Latõšov

Lõputöö ülesande kehtivusaeg:

Lõputöö esitamise tähtaeg: 25.05.2018

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Teema põhjendus

Tänapäeval on elektriarved ühed suurematest kulutustest igas majas. Üheks võimaluseks, kuidas oma raha kokku hoida, on päikesepaneelide paigaldus, mis aitab olla vähem sõltuv enda energiavajadusest elektrifirmades. Minu meelest on see teema oluline iga inimese jaoks, kes tahab elektri eest vähem maksta või tulevikus üldse elektriostmisest loobuda. Ma loodan, et minu poolt tehtud töö annab tavainimesele ülevaate, kuidas saab päikeseenergiat kasutada ja selle töö näite põhjal saab enda jaoks otsustada ja arvutada, kas tema jaoks päikesepaneelide paigaldamine on otstarbekas või on see lihtsalt raha raiskamine?

Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on uurida, kas konkreetse eramaja jaoks elektrienergia tootmine päikesepaneelide abil on otstarbekas või ei ole.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Uurida kus ja kuidas kasutatakse päikesepaneele.

Leida päikeseelektrijaama jaoks vajalikud komponendid (päikesepaneelid, inverterid, kaablid, akud), mida on vaja konkreetses majas kasutada.

Arvutada tasuvusaeg ja hinnata otstarbekust.

Lähteandmed

Elektritarbimise kogus, arved elektritarbimise eest, katuse pindala, ilmastikutingimused, päikeseelektrijaama komponentide hinnad. Andmed saan internetist ja majaomaniku käest.

Uurimismeetodid

Esiolgu peab teada saada ilmastikutingimused uuritava objekti asukohas: aasta keskmine temperatuur, päikesekiirgus jne. Lisaks peab vaatama kuhu poole on katus suunatud. Sellest lähtudes kasutades online päikesepaneelide kalkulaatorit saab arvutada palju elektrit toodab näiteks 1kW päikeseelektrijaam. Tuleb uurida millal ja kui palju elektrit tarbitakse ja siis saab arvutada millise võimsusega päikeseelektrijaam peab olema, et näiteks terve elektritarbimise nõudlus katta. Lõpptulemuse leidmiseks peaks uurima, kui palju majaomanik maksab elektritarbimise eest, palju terve päikesepaneel maksab ja siis elektri hinnatõusu arvestades tasuvusaja arvutama. Andmete analüüsiks kasutan valemeid, tabeleid Excelis.

Graafiline osa

Tabelid ja joonised on töö põhiosas, vajadusel läheb osa lisadesse.

Töö struktuur

Sisukord

Lõputöö ülesanne

Eessõna

Sissejuhatus

1. Päikesepaneel ja päikeseelektrijaam

1.1. Üldiseloostus

1.1.1. Ajalugu

1.1.2. Olukord maailmas ja Eestis

1.1.3. Plussid ja miinused

1.1.4. Tulevikuvision

1.2 Tehnilised näitajad

1.3 Tüübid

1.4 Majanduslikud aspektid

2. Tarbija

2.1. Üldiseloostus

2.2. Energia tarbimine

2.3. Tehnilised aspektid

2.4. Päikeseenergia potentsiaal

3. Otstarbekuse hinnang

3.1. Tehnilised arvutused

3.2. Majanduslikud arvutused

3.2.1 Baasvariant.

3.2.2. Tasuvusanalüüs

4. Tulemuste analüüs ja diskussioon

Lõputöö kokkuvõte

Lisad

Kasutatud kirjandus

Kasutatud kirjanduse allikad

Raamatud, arengukavad, aruanded.

1) Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, René A.C.M.M. van Swaij, Miro Zeman Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems (2014)

2) A.H.M.E Reinders, V.A.P. van Dijk, E. Wiemken, W.C. Turkenburg, Technical and economic analysis of grid-connected PV systems by means of simulation (1999)

3) Parimita Mohanty, K. Rahul Sharma, Mukesh Gujar, Mohan Kolhe, Aimie Nazmin Azmi PV System Design for Off-Grid Applications (2015)

Töö etapid ja ajakava

Kirjanduse läbitöötamine (31.03.2018)

Lähteandmete kogumine (05.04.2018)

Teoreetilise osa kirjutamine (31.03.2018)

Arvutuste teostamine (15.04.2018)

Uuringu tulemuste kirjeldamine (20.04.2018)

Järelduste kirjutamine ja kokkuvõtte koostamine (25.04.2018)

Juhendaja läbilugemiseks saatmine (05.05.2018)

Paranduste sisseviimine ja teiseks läbilugemiseks saatmine (10.05.2018)

Töö lõplik versioon valmis (20.05.2018)

Eessõna

Huvi selle teema vastu tekkis kui esimest korda nägin päikesepaneele maja katustel. Peamine küsimus mis mind huvitas oli, kas tõesti päikeseenergia abil elektrienergia tootmine nii tulutoov, et igal aastal paigaldatakse neid paneele üha rohkem. Või inimesi juhib midagi muud, võib-olla raha säästmine ei ole ainus põhjus aga mõned mõtlevad ka keskkonna kaitsmisele.

Loodan, et minu töö aitab tavainimestel mõista, milleks kasutada päikesepaneele ja kas neid on meie tingimustes otstarbekas paigaldada.

Tahan tänada oma juhendajat Eduard Latõšovi, kes mind aitas töö kirjutamise käigus.

Samuti tahan tänada kõiki oma lähedasi inimesi, kes mind toetasid.

Sissejuhatus

Tööstus, äri ja kodumajapidamised vajavad usaldusväärseid, ökonoomseid ja keskkonnasõbralikke energiaallikaid, millega saab rahuldada elektrienergia vajaduse.

Taastuvad energiaallikad võivad oluliselt kaasa aidata nende vajaduste rahuldamiseks. Erinevalt fossiilsetest kütustest, põhinevad taastuvad energiaallikad ammendamatus ressursis. Looduslike potentsiaalide kasutamiseks kogu maailmas on saadaval erinevad tehnoloogiad.

Vastavalt valguseenergia hulga mis jõuab pinnale, seisab Eesti peaaegu samas reas Saksamaaga, kus päikeseenergia areng on väga aktiivne.

Maailmas moodustavad täna fossiilkütused üle 90% inimese energiavajadusest. Kuid see ressurss lõpeb varem või hiljem, osutades vajadusele võtta ette teatavaid meetmeid kogu maailma energiasektori ressursibaasi oluliste struktuurimuutustega toimetulemiseks. Taastuvate energiaallikate kasutamine muutub aktuaalsemaks. Energiasääst on üks peamisest prioriteedist.

Taastuenergia on tohutu ja ületab kõigi süsivesinike toorainete aastase toodangu. Oluline on märkida, et nende kasutamine on võimalik praktiliselt kõigis maailma piirkondades. Positiivne külg taastuenergia kasutamises on, et seda tüüpi energia kasutamine ei muuda energiabilanssi planeedil, mis on põhjuseks alternatiivsete energiaallikate kiireks arenguks ja väga optimistlikud prognoosid nende arenguteks järgmisel kümnendil.

Taastuenergia allikad mängivad olulist rolli inimkonna kolme globaalse probleemi - energia, ökoloogia ja toit - lahendamisel.

Kõige võimsam, keskkonnasõbralikum, looduslikum ja üldiselt kättesaadavam energiaallikas meie planeedil on Päike. Teaduse ja tööstuse arendamine võimaldab meil täna rääkida reaalsest võimalusest pakkuda inimkonnale elektrit päikeseenergia teisendamise abil.

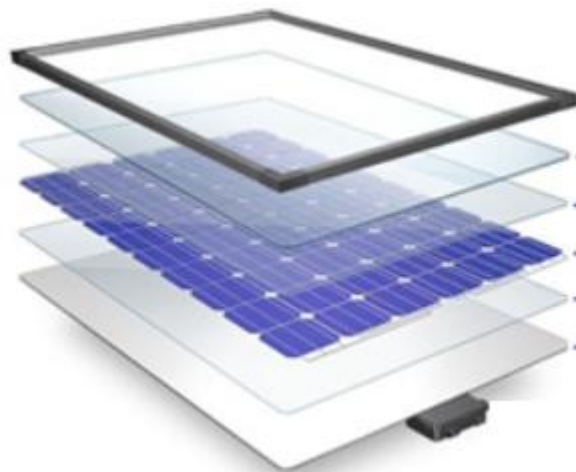
1. Päikesepaneel ja päikeseelektrijaam

1.1. Üldiseloostus

Täna näeme üha enam päikesepaneele majade katustel või majade kõrval. Kuid mis on päikesepaneel ja millest see koosneb?

Päikesepaneelis ehk PV paneelis muudetakse päikesekiirgus otse elektrienergiaks. Selleks kasutatakse päikesepaneelis fotoelektrilist seadet ehk fotogalvaanilist elementi, mis muudab fotogalvaanilise efekti abil valgusenergia elektrienergiaks. PV element on kihtidena kokku laotud ja pressi all lamineeritud [54].

Päikesepaneel koosneb järgmisest osadest:



Joonis 1.1.1. Päikesepaneel [55]

Tagakate- päikesepaneeli tagumise polümeerkatte kõige tähtsamateks rollideks on tõkestada niiskust, pakkuda ühendustele ning muudele õrnadele komponentidele füüsilist kaitset, tagada elektriline isolatsioon ja vähendada päikesepaneeli töötemperatuuri.

Päikeseelement- päikeseelemendid on päikesepaneeli generaatorid – nad muundavad päikesevalguse elektrienergiaks [1].

EVA kile (etüleen vinüül atsetaat) - kapseldajat kasutatakse, et tagada PV-mooduli päikeseelementide adhesiivsust, ülemise pinna ja tagumise pinna vahel. Kapseldaja peaks olema stabiilne kõrgel temperatuuril ja kõrge UV-kiirgusega. Samuti peaks see olema optiliselt

läbipaistev ja sellel peab olema madal termiline vastupidavus. EVA on kõige sagedamini kasutatav kapseldamaterjal. EVA näeb välja nagu õhuke leht, mis asub päikeseplatade ja pealispinna ning tagapinna vahel. Seda kuumutatakse temperatuuril 150°C, et polümeriseerida EVA ja ühendatakse moodul kokku [2].

Klaaskate- moodustab päikesepaneeli näo, kaitstes kõiki selle komponente ilmastiku ning mehaaniliste mõjude eest.

Kleebitav tihend - tagab vajaliku elektriisolatsiooni ning kaitseb ka füüsikaliste mõjude eest.

Ühenduskarp - päikesepaneelide ühenduspistiku peamine funktsioon on läbi lasta paneeli toodetud energiat. Tagasivoolu diodid kaitsevad päikesepaneeli kasvanud pingest ning nõrka punkti (hot spot) efekti eest [1].

Valdav osa päikesepaneeli koostematerjalist on räni: amorfne (a-Si) või kristalliline (c-Si). Sellest tulenevalt eristatakse ka erinevat liiki päikesepaneele: mono- ja polükristallilised (kallimad, efektiivsemad) ning amorfse kilega päikesepaneele (odavamad, vähemefektiivsed). Räni tüübist sõltub reeglina ka päikesepaneeli hind ning efektiivsus [3].

Päikesepaneeli efektiivsus iseloomustab, mitu protsenti suudab päikesepaneel päikeseenergiat ümber muundada elektrienergiaks. Monokristallidest päikesepaneelide efektiivsus on 11-17%, polükristalsete päikesepaneelide efektiivsus aga 11-15%. Monokristalliliste päikesepaneelide tootmine on kulukam, sest kasutatakse suurte tahvlitena toodetud räni (lõigatakse päikesepaneelide suuruseks). Polükristallilised päikesepaneelid on odavamad, sest kasutatakse omavahel ühendatud väiksemaid elemente. Kõige enam on levinud mono- ja polükristallpaneelid, mille tootlikkus Eestis on ligilähedane [4].

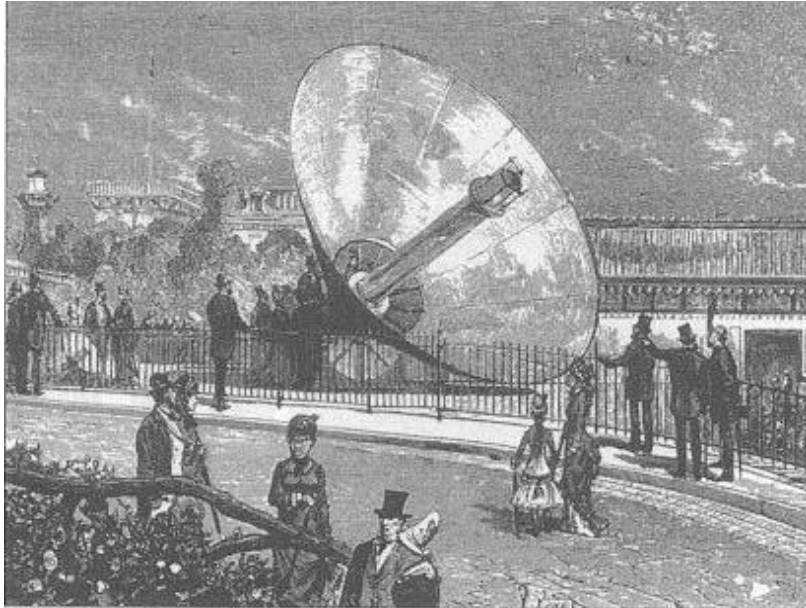
1.1.1. Ajalugu

Inimesed on juba pikka aega päikeseenergiat kasutanud. Kuid varem ei teadnud me, kuidas päikeseenergiat koguda ja akumuliseerida selle kasutamiseks tulevikus. Tänapäeval sai inimkondlõpuks realiseerida oma unistusi: päikesepaneelide efektiivne kasutamine avas võimaluse majaomanikele säästa raha ja keskkonna eest hoolitseda. Kuid millal see kõik siiski alguse sai?

Fotoelektrilise efekti avastas juba 1839. aastal prantsuse füüsik Alexandre Edmond Becquerel. 44 aasta pärast suutis Charles Fritti ehitada esimese mooduli päikeseenergia kasutamiseks ja selle aluseks oli väga õhuke kuldse kihiga kaetud seleen. Teadlane leidis, et elementide

kombinatsioon annab võimaluse, ehkki minimaalselt (umbes 1%), teisendades päikeseenergia elektrienergiaks.

1860-ndatel prantsuse matemaatik August Mouchet pakkus välja idee, kuidas kasutada päikeseenergiat aurumasinade jaoks. Järgmisel kahel aastakümnel ehitas ta ja tema abiline Abel Pifre esimese päikeseenergia jõuallikaga mootorid ja nad kasutasid neid mitmesuguste rakenduste jaoks.



Joonis 1.1.1.1 Abel Piere ja Augustin Mouchot päikeseenergia trükimasin [56]

Aastaks 1954 oli leitud, et teatud ränipõhised pooljuhid on väga tundlikud päikesekiirguse suhtes, ning algasid moodsate, juba ligi 6-protsendise efektiivsusega päikesepatareide katsetused. 1955 aastal tõi Hoffman Electronic turule paneeli, mille efektiivsus oli 2% ja turuhinnaks kujunes 25 dollarit/paneel või 1 W hinnaks 1,785 dollarit.

Fotoelementide tegemise tehnoloogia paranes ning juba 1958. aastal kui USA-s saadeti Maa orbiidile satelliidid, mille varustusse kuulusid osaliselt ka päikesepaneelid, millest satelliit osaliselt saab energiat.

1977. aastaks oli maailmas kokku installeeritud 500 kW päikesepaneele.

Aastal 1981 sai valmis Mojave kõrbes Daggettis (California, USA) torn tüüpi päikeseelektrijaam Solar One väljundvõimsusega 10 MW. Selles jaamas oli 1818 heliostaati kogupindalaga 72 500 m² ja see oli käigus aastani 1986.

Aastal 1985 saavutati Austraalias ränist tehtud päikeseelementidel 20% efektiivsus ning 1994. aastal jõuti USA-s 30% tühiseni.

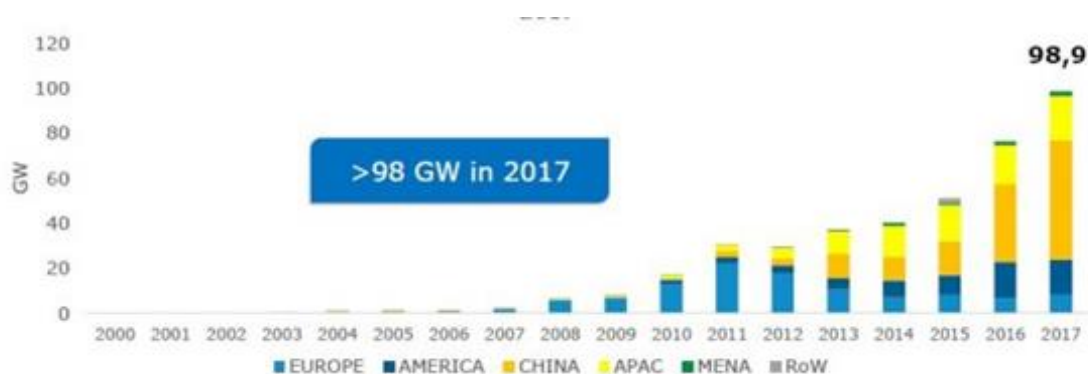
2000. aastal maailmas installeeritud päikeseenergia võimsus ületab 1 GW ja aastal 2012 oli juba üle 100 GW [6,7].

Täna on väga raske leida sektorit, kus ei kasutata päikesepaneele: kosmosejaamadest ja võimsamatest elektrijaamadest käekellade ja mänguasjadeni. Tänavavalgustus, päikesepaneelid kodudes, paneelidega varustatud talud, autod, jalgrattad, paadid ja päikeseenergiat kasutavad lennukid - see ei ole fantaasia, pigem juba meie reaalsus.

1.1.2. Olukord maailmas ja Eestis

Kõige tormilisemalt on viimasel ajal arenenud päikeseenergia tootmine ning sellele energiatootmise viisile prognoositakse kõige suuremat kasvu ka edaspidi. Solar Power Europe andmetel ületas 2017. aastal maailmas lisandunud päikeseelektri tootmisvõimsus 98,9 GW mis on 29,3 % rohkem kui aastal 2016.

Kui 2005. aastal oli päikesepaneelide paigaldatud koguvõimsus maailmas vaid 5,1 GW, siis 2017. aastal oli see juba 387,3 GW ja prognoositakse, et 2018 aasta jooksul lisatakse rohkem kui 100 GW. Suurimad päikeseenergiasse investeerijad on Hiina ja USA, kes on ühtlasi ka suurimad energia tarbijad maailmas. Kiiresti kasvab päikeseenergia toodang ka Saksamaal ja Jaapanis [8].



Joonis 1.1.2.1. Ülemaailmse iga-aastase päikesepaneelide installeeritud võimsuse areng 2000-2017 [8]

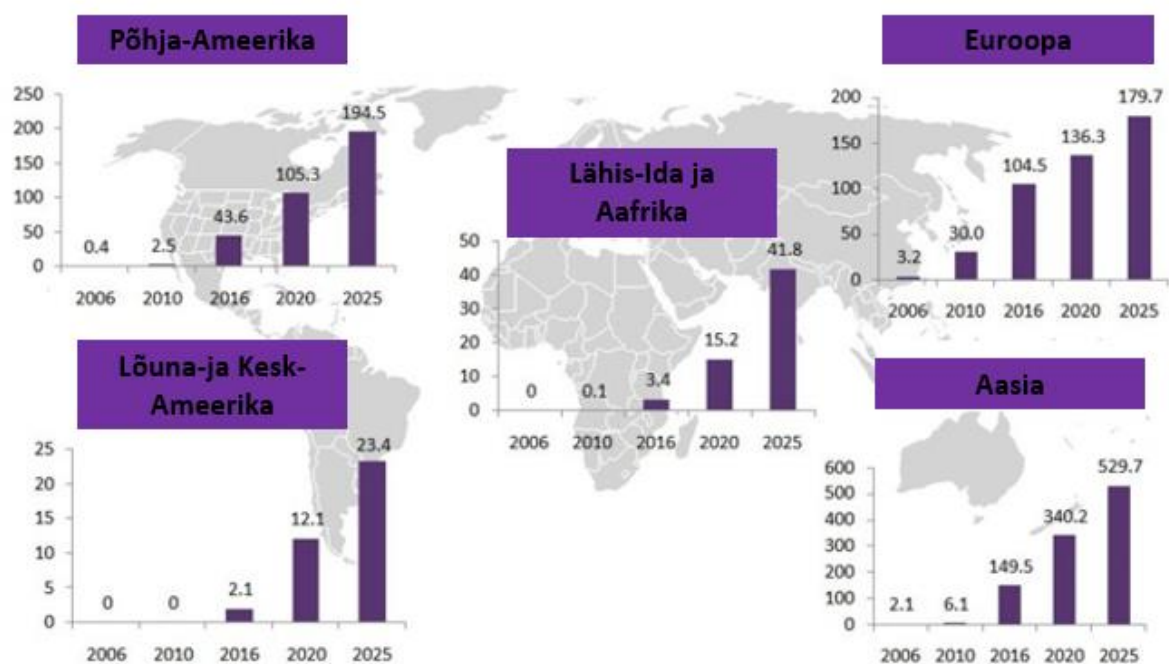
Päikeseenergiast on suunanäitajaks Aasia, eeskätt Hiina.

EnergyTrend'i viimase aruande kohaselt lisas Hiina 2017. aastal 52,83 GW, mis on suurim arv üle kogu maailma.

USA sai 12GWga teise koha. Siiski vähenes installeeritud võimsus 2016. Aasta võrreldes üle 15 GW, mis näitas langust ligikaudu 20%.

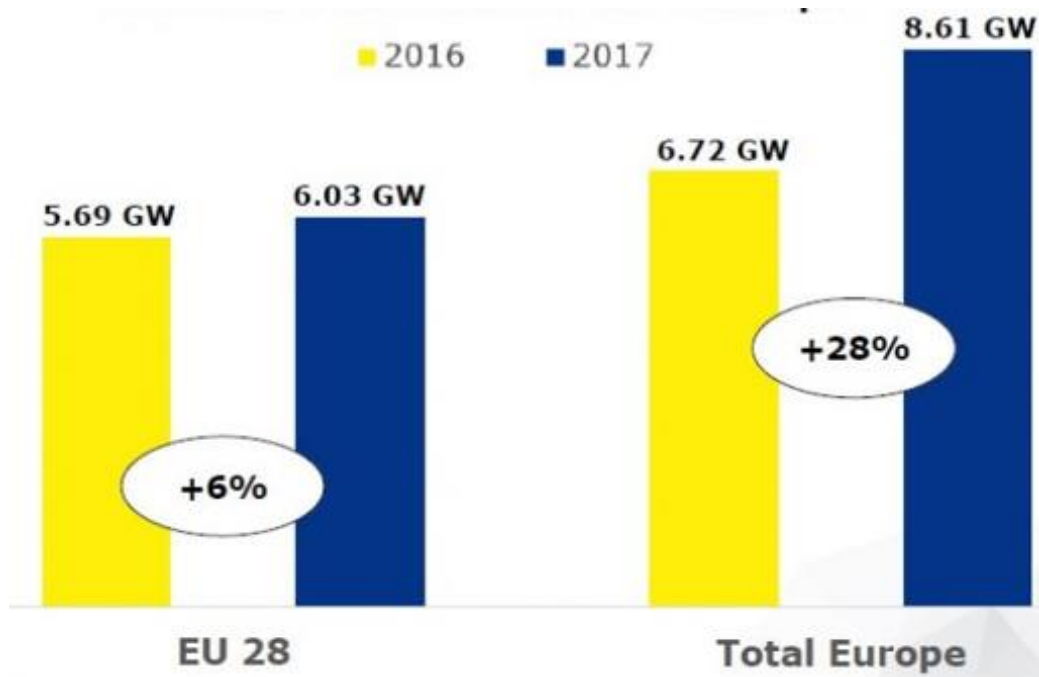
Jaapan lisas ainult 6,09 GW ja on kaotanud kolmanda koha Indiale kes registreeris 9,26 GW.

2017.-2025. aasta prognoosiperioodil eeldatakse, et kogu maailma PV võimsus suureneb 387,3 GW-lt 969 GW-ni. Allpool toodud pildil on näha, et esimesel kohal on Aasia riigid oma 529,7 GW-ga mis on rohkem kui 50% maailma võimsusest [33].



Joonis 1.1.2.2. Maailma PV võimsus 2017.-2025. aasta prognoosiperioodil [33]

SolarPower Europe hiljuti teatas, et Euroopa riikides paigaldatakse 2017. aastal vähemalt 8,61 GW jagu päikeseenergiat, mis on 28% suurem kui 2016. aastal paigaldatud võimsus.

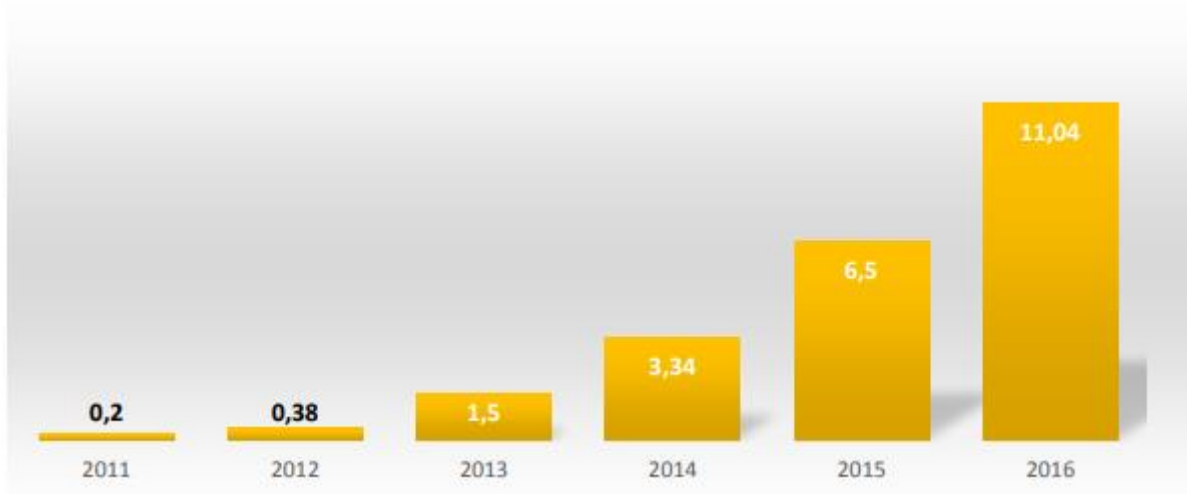


Joonis 1.1.2.3. Euroopas installeeritud kumulatiivne PV-süsteemide võimsus 2016-2017 [8]

Päikeseenergia kasutamine Eestis

Eestis on iga aastaga rohkem näha päikesepaneelid majade ja ettevõtete katustel, päikeseenergia kasutamine muutub siin populaarsemaks. Eestis olid esimesed päikesepaneelid paigaldatud aastal 1994 aga puudub info, palju paneelid oli kokku ja kus nad olid paigaldatud. Teada on, et peaaegu 20 aastat tagasi olid kõik paneelid töökorras ja nende tootlus oli vähenenud 6% võrra. Faktidele tuginedes annavad paneelitootjad garantiid, et 30 aasta jooksul säilib 80% nende tootlusest.

Kui aga rääkida praegusest olukorrast siis Eestis 2016. aasta lõpus oli kokku 809 päikeseenergia väiketootjat, kes müüvad võrku elektrienergiat ja saavad taastuvenergia toetust. Sellele numbrile saab lisada ka neid inimesi, kes on paigaldanud PV-paneelid, kuid ei ole võrguoperaatorit teatanud. Aasta 2016 oli rekord aasta, sest kokku Eestis oli lisatud 3,7 MW võimsust, mis on rohkem kui aastatel 2011-2014 ja 16% rohkem kui 2015. aastal. AS Elering ja Imatra AS andmetel on Eestis elektrivõrku ühendatud 11 MW PV paneeli [11].



Graafik 1.1.2.4. Eestis installeeritud kumulatiivne PV-süsteemide võimsus 2011-2016 [11]

Võib vaadata Saksamaa poole, kes on päikesepaneelidele paigaldatud võimsusega üks liidritest Euroopas, ning nendega võrreldes on Eestis päikeseenergiat küll vähem, kuid seda kompenseerib keskmisest madalam õhutemperatuur, mis omakorda tõstab päikesepaneelide efektiivsust.

Vaatame kui palju teoreetiliselt võiks toota 1kW võimsusega päikeseelektrijaam näiteks Pärnus ja võrdleme saadud tulemust Saksamaa linnaga. Aga enne kontrollime kui palju päikest on Eestis võrreldes Saksamaaga. Eelmisel aastal Eestis päikesepaistelisi tunde oli 1759,0 (norm 1765,7 tundi), Münchenis aga 1862 tundi, mis on umbes 4 päeva rohkem.

Tabel 1.1.2.1. 1kW võimsusega päikeseelektrijaama toodang Eestis (vasakul) ja Saksamaal (paremal) [46]

Month	Ed	Em	Hd	Hm	Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.72	22.5	0.82	25.6	Jan	1.31	40.8	1.56	48.5
Feb	1.29	36.2	1.50	41.9	Feb	2.12	59.4	2.55	71.4
Mar	2.85	88.5	3.44	106	Mar	3.21	99.7	4.04	125
Apr	4.07	122	5.10	153	Apr	3.79	114	4.91	147
May	4.43	137	5.82	180	May	3.71	115	4.90	152
Jun	4.36	131	5.86	176	Jun	3.72	112	5.01	150
Jul	4.03	125	5.54	172	Jul	3.79	118	5.15	160
Aug	3.68	114	4.97	154	Aug	3.61	112	4.87	151
Sep	2.76	82.7	3.60	108	Sep	3.04	91.3	3.99	120
Oct	1.60	49.5	1.98	61.5	Oct	2.37	73.5	3.01	93.4
Nov	0.68	20.2	0.81	24.2	Nov	1.57	47.0	1.92	57.6
Dec	0.42	13.1	0.49	15.2	Dec	1.23	38.2	1.47	45.7
Year	2.58	78.5	3.34	101	Year	2.79	85.0	3.62	110
Total for year		942		1220	Total for year		1020		1320

Kus:

Ed: Keskmise päeva tootlikkus (kWh)

Em: Keskmise kuu tootlikkus (kWh)

Hd: Antud süsteemi moodulite poolt saadud keskmise päevase globaalse kiirguse summa ruutmeetri kohta (kWh/m²)

Hm: Antud süsteemi moodulite kaudu saadud globaalse kiirguse keskmine summa ruutmeetri kohta (kWh/m²)

Tabelitest võib näha, et Pärnusse paigutatud süsteem toodab aasta jooksul 942 kWh, mis on natuke vähem kui Münchenis 1020 kWh, aga need on ainult teoreetilised numbrid ja see ei tähenda, et paneelide paigaldamisel jääb võimsus samaks.

Ühesõnaga võib öelda, et arvestades kõiki tingimusi, on Eesti hea koht päikesepaneelide paigaldamiseks ja kasutamiseks.

Hiljuti otsustas valitsus, et 23. aprillist 2018 saab küsida KredExist toetust päikesepaneelide paigaldamiseks. Toetuse määr on kuni 30 protsenti toetatavate tegevuste kulude kogusummast ja kuni 30 000 eurot taotleja kohta. Toetust saab taotleda päikesepaneeli projekteerimise, päikesepaneeli soetamise ja päikesepaneeli paigaldamise kulude katteks. See on väga hea motivatsioon nendele, kes tahavad paigutada päikesepaneelid, aga raha selleks ei piisa [13].

1.1.3. Plussid ja miinused

Päikeseenergia kui ka muudel energiaallikatel on oma miinused ja plussid. Inimesed väidavad, et päikeseenergia on üks puhtamaid energiaallikaid ja see on nii, aga kahjuks ainult siis kui päikesepaneel töötab juba katusel. Kuid päikeseenergia kasutamisel on palju positiivseid momente, tänu millele iga aastaga suureneb nõudlus päikesepaneelidele. Allpool on välja toodud põhilised eelised ja puudused.

Eelised:

Taastuv energiaallikas

Kõigi päikesepaneelide eeliste hulgas on kõige olulisem see, et päikeseenergia on tõeliselt taastuv energiaallikas. Seda saab kasutada kõikides maailma piirkondades ja see on saadaval iga päev. Erinevalt mõnest teisest energiaallikast ei saa me päikeseenergiast kunagi otsa. Päikeseenergia on juurdepääsetav nii kaua, kuni meil on päike, seega on päikesevalgus meile kättesaadav veel vähemalt 5 miljardi aastat.

Saab raha säästa

Mõnede jaoks peamine põhjus miks päikesepaneele kasutada, on kindlasti raha säästmine. Kuna päikeseelektrijaam genereerib elektrit energiavajaduste rahuldamiseks, vähenevad sellega elektriarved. Kui palju säästab, sõltub süsteemi suurusest ja kui palju elektrienergiat kasutatakse kohapeal. Pealegi kui toodab süsteem rohkem elektrit kui kasutatakse, siis ülejääki müüakse tagasi võrku ja selle eest makstakse (võttes arvesse, et päikesepaneelide süsteem on ühendatud võrku). Säästud võivad veelgi kasvada, kui ülejääki müüa tagasi võrku päeval ja osta elektrit võrgust öhtul, kui hind on madalam. Samal ajal tõuseb ka kodu väärtus. See teeb maja atraktiivsemaks ning annab parema turupositsiooni teiste samaväärsete seas. Päikeseenergia kasuks räägib ka see, et paljudel madala sissetulekuga tööstusharudes tegutsevatel ettevõtetel on elektrienergia maksumus suhteliselt suur, mis mõjutab ettevõtte puhastulu, mistõttu isegi väike tariifide langus toob kaasa ettevõtte kasumlikkuse märkimisväärse kasvu [14].

Madalad hoolduskulud

Päikeseenergia süsteemid üldiselt ei vaja palju hooldust. On vaja ainult hoida neid suhteliselt puhtana, nii et nende puhastamine võtab vähe aega, ainult paar korda aastas. Kahtluse korral võib alati pöörduda spetsialiseeritud puhastusettevõtete poole, kes pakuvad teenust umbes 25-35 euro eest. Kõige usaldusväärsemad päikesepaneelide tootjad annavad 20-25 aastase garantii, kuna puuduvad liikuvad osad, pole kulumist. Inverter on tavaliselt ainuke osa, mida tuleb muuta 5-10 aasta pärast, sest see töötab pidevalt, et muuta päikeseenergia elektrienergiaks. Kaablid vajavad ka hooldust, et päikeseenergia süsteem töötaks maksimaalse efektiivsusega. Niisiis, pärast päikeseenergia süsteemi esialgse maksumuse katmist võib oodata väheseid kulutusi hooldus- ja remonditöödele [19].

Tehnoloogiaarendus

Tehnoloogia päikesepaneelide tööstuses areneb pidevalt. Arenemine kvantfüüsikas ja nanotehnoloogias võib potentsiaalselt suurendada päikesepaneelide efektiivsust ja võib oodata, et tulevikus päikeseenergia süsteemide efektiivsus kahekordistub [14].

Puudused:

Ei ole 100% usaldusväärne.

See tähendab, et kui päike ei paista ei toimu siis ka energia genereerimist. Päikesepaneel toodab energiat peamiselt päeval ja suvekuudel. Mõned inimesed on nüüdseks investeerinud aku süsteemidesse, mis annab võimaluse akumulierida energiat, mida kasutatakse kui päikest on puudu, kuid aku varustamine võib suurendada päikesepaneeli paigaldamise üldkulusid. Erinevalt teistest taastuvatest energiaallikatest, mida saab ka öösel kasutada, osutuvad päikesepaneelid kasutuks, mis tähendab, et inimene sõltub kohalikust elektrivõrgust, nt öösel telerit vaadata, või võib osta akud, et säilitada üleliigset elektrit, mida saab hiljem kasutada [21].

Kõrged algkapitalikulud.

Kuigi päikesepaneelide paigaldamine toob suurt kasu pikemas perspektiivis, võivad esialgsed kulud olla suured. Kulud parima kvaliteediga paneelide jaoks võivad praegu olla suuremad kui 1000 eurot ja mõnedele peredele võib olla vaja rohkem kui ühte. See teeb päikesepaneelide algkulu kalliks. Aga kui inimene on valmis investeerima kapitali oma tulevikku, siis tema jaoks see pole suur probleem.

Ei ole nii puhas nagu nad räägivad.

Võrreldes teiste energiaallikatega, on päikeseenergia üks ökoloogiliselt puhas energia liikidest. Kuid vältida päikese täieliku kahjuliku mõju inimestele ja keskkonnale on praktiliselt võimatu, kui võta arvesse kogu protsessi nõutavate materjalide hankimisest elektri tootmiseni. Sellega seoses on kõige ohtlikum kaadmium (Cd). Kaadmiumiauru pikaajaline põletamine võib põhjustada kopsu või kopsubronhide haigusi ja isegi surma. Pidev kokkupuude väikeste kaadmiumi annustega põhjustab selle akumulierumist neerudes. Samas jälgitakse ka kopsuhaigusi, skeleti luumassi deformatsioon [17,18].

1.2. Tulevikuvision

Kui rääkida tulevikust, mis on seotud päikesepaneelide võimsusega, siis võib kindlalt öelda, et paigaldatud paneelide arv ja nende võimsus, kasvavad aasta-aastalt. Näiteks kui 2017. aastal oli paigaldatud peaaegu 100 GW, siis 2018. aastal oodatakse 107 GW ja 2020. aastal umbes 132 GW.



Joonis 1.2.1. Päikeseenergia paigutatud võimsuse kasv

Kui me räägime päikeseenergia arendamisest, siin on siis mitmeid võimalusi:

Läbipaistev õhuke päikesepaneel.



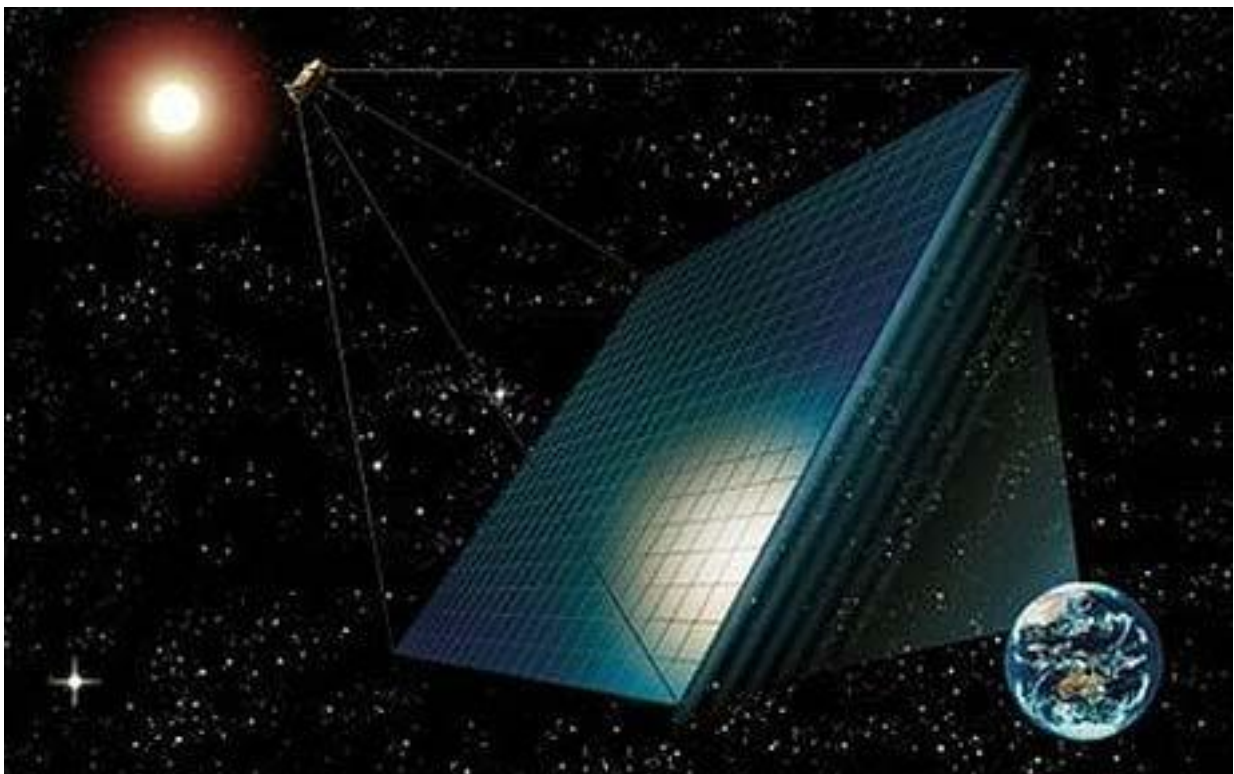
Joonis 1.2.2. Läbipaistev õhuke päikesepaneel [57]

Läbipaistev õhuke päikesepaneel millega saab katta aknaid, mis nagu tavalised päikesepaneelid võtavad energiat päikest ja muudavad selle elektrienergiaks, samas näevad need paneelid nagu

aknad, aidates hoonete omanikul saada elektrivõrgust osaliselt sõltumatu. Erinevad organisatsioonid kasutavad orgaanilist fotogalvaanilist tehnoloogiat, et arendada elektrit tootvaid läbipaistvaid aknaid ja muuta ärihooneid, tornid ja kõrghooneid vertikaalseteks päikeseenergiaallikateks. Päikeseaknad saavad muuta iga akna elektrienergia allikaks, sillutades teed jätkusuutlikuks tulevikuks [36].

Päike kosmosest.

Jaapani kosmoseagentuur (JAXA) arvab, et päikesele lähemale jõudmine on parim viis tõhususe juhtimiseks ja võimsuse kogumiseks. Meeskonna projekt üritab saata päikesepaneeli peaaegu orbiidile, kogutud võimsust edastatakse mikrolainete kaudu. JAXA teadlaste sõnul on ainsad viisid juhtmevabaks jõudmiseks väga pikkade vahemaade kas laserite või mikrolainete abil. Laserid on ebapraktilised, sest neil tekivad samad probleemid, mida päikeseenergia teeb Maal: nad ei tööta pilvede kaudu. Kuid mikrolained töötavad isegi siis, kui ilm on halb, nii et need on mida JAXA plaanib kasutada võimsuse edastamiseks [39].

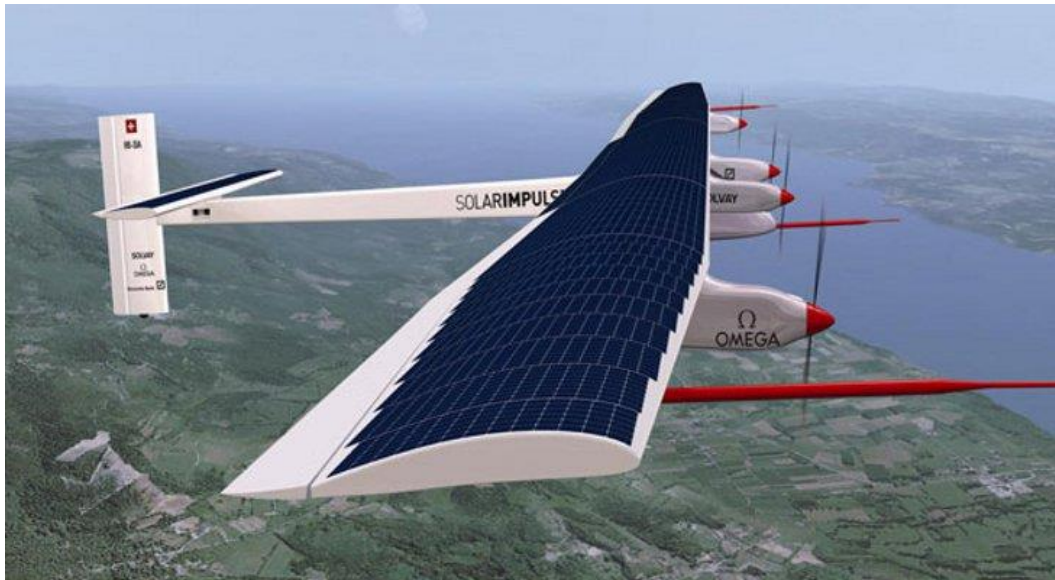


Joonis 1.2.3. Päikeseenergia kasutamine kosmoses [39]

Päikeseenergia transport

Päikeseenergia transport on jõudnud kaugele alates 2013. aastast, mil Austraalia tutvustas esimest päikeseenergiaal töötavat bussi. Lisaks on lennundustööstuses toimunud revolutsiooniline muutus uute prototüüpidega nagu Solar Impulse 2: see oli esimene

päikeseenergial töötav lennuk. Lennukil on rohkem kui 17 tuhat päikesepaneeli. Mõned riigid kasutavad tõenäoliselt päikeseenergia võimsust, viies sisse arvukad päikeseenergia lennuliiniprojektid, päikeseenergiaga töötavad bussipeatused, päikesepaistelised paadid ja muud sõidukid, mis tagavad transpordi ajal puhta ja fossiilsete kütusteta tuleviku [42].



Joonis 1.2.4. Solar Impulse 2 on esimene päikeseenergial töötav lennuk [42]

Päikesepaisteline mood

Kui maailm liigub jätkusuutliku tuleviku suunas, töötavad teadlased paindlike päikesepaneelide sisestamiseks kangasse, võimaldades igal inimesel kasutada taastuvat päikeseenergiat. Tuntud Hollandi moedisainer Pauline van Dongen on loonud terve kolleksioon särkide, parkade ja kõrgekvaliteetsetest moodsatest kulumistest, mis võivad toota kuni ühte vatt elektrit - piisab telefonide, MP3-mängijate ja muude käte- hoides vidinaid laadimiseks. Mitmed teised ettevõtted tutvustavad päikeseenergiaga päikeseprille, ehteid, kellasid ja seljakotte [36].



Joonis 1.2.5. Päikesepaneelidega seljakott [39]

1.3. Tehnilised näitajad

Päikesepaneeli spetsifikatsioonid saab leida tootejuhendist. Vaatame neid SolarWorld Plus SW 245 poly paneeli näitel. Päikesepaneeli põhilised tehnilised omadused on järgmised:



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 245
Maximum power	P_{max}	245 Wp
Open circuit voltage	V_{OC}	37.7 V
Maximum power point voltage	V_{MPP}	30.8 V
Short circuit current	I_{SC}	8.25 A
Maximum power point current	I_{MPP}	7.96 A

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

Joonis 1.3.1. Päikesepaneeli spetsifikatsioonid [22]

SolarWorld Plus SW 245 poly - tavaliselt juba PV paneelist on teada, maksimaalne võimsus ja mis liiki päikesepatarei element on kasutusel. Näitena toodud nimetuses on tegemist firma SolarWorld 245W võimsusega polükristall päikesepaneeliga.

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5) - paneeli testimisel on kasutatud standardtingimusi, kus pinnale langeb päikesekiirgust (spekter AM1,5) 1000W/m² ja päikesepatarei elemendi temperatuur on 25°C.

Maximum power Pmax 245 W - PV paneeli maksimaalne võimsus. See on kriteeriumiks päikesepaneeli tehnilistes andmetes ning näitab U_{mpp} ja I_{mpp} suhet ($P_{max} = U_{mpp} \times I_{mpp}$).

Power tolerance -0 / +5 % - paneeli võimsuse tolerants, mis näitab lubatud kõikumist tehnilistelt.

Maximum power point voltage U_{mpp} 30,8 V - pinge maksimaalse võimsuse puhul.

Maximum power point current I_{mpp} 7,96 A - vool maksimaalse võimsuse puhul.

Open circuit voltage U_{oc} 37,7 V - avatud ahela pinge.

Short circuit current I_{sc} 8,25 A - lühisahela vool.

Maximum system voltage SC II 1000 V - süsteemi maksimaalne pinge paneelide jadaühenduse puhul.

Module efficiency 14,61% - efektiivsus [22].

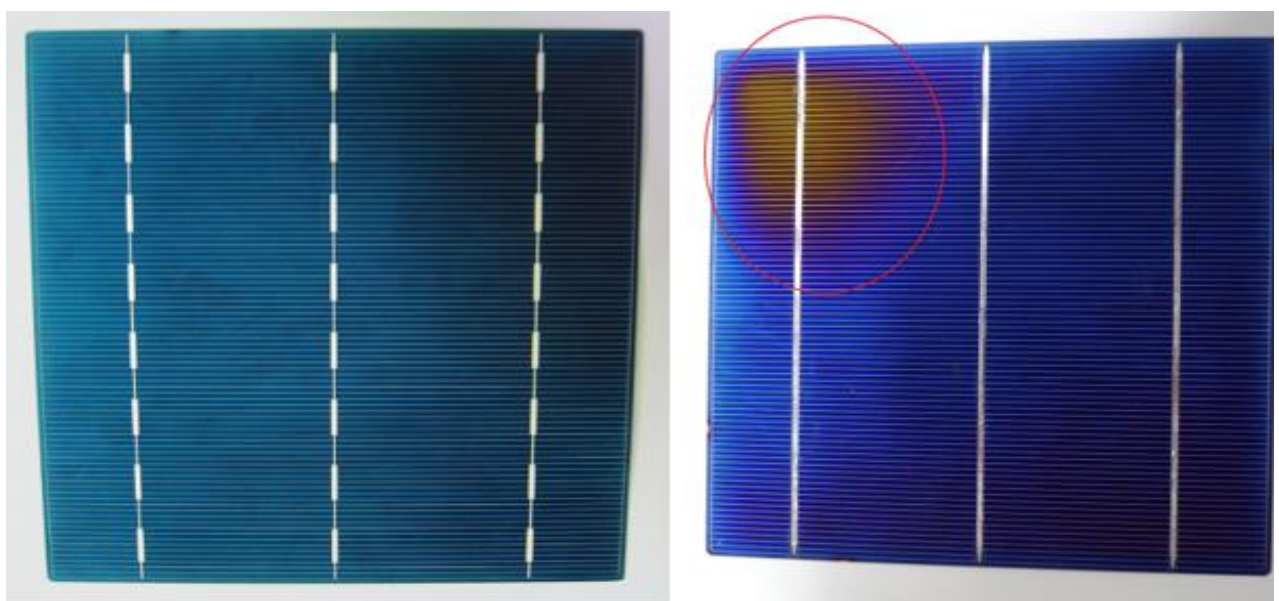
Päikesepaneelide kvaliteedi võib jagada nelja kvaliteediklassi järgi.

Esimene kategooria on Grad A. Need päikesepaneelid on kõrgeima kvaliteediga - ilma mikrokihita, pole kiipi. Välise oleku järgi on need paneelid värvi ja struktuuriga täiesti identsed. Selles kategoorias kõige väiksem potentsiaalist indutseeritud vananemine ja kõige suurem efektiivsus [23].

Teine kategooria — Grad B. B-klassi paneelide peal on nähtavad väikesed defektid. Elektriomadused on säilinud.

Järgmised nähtavad vead on tavalised:

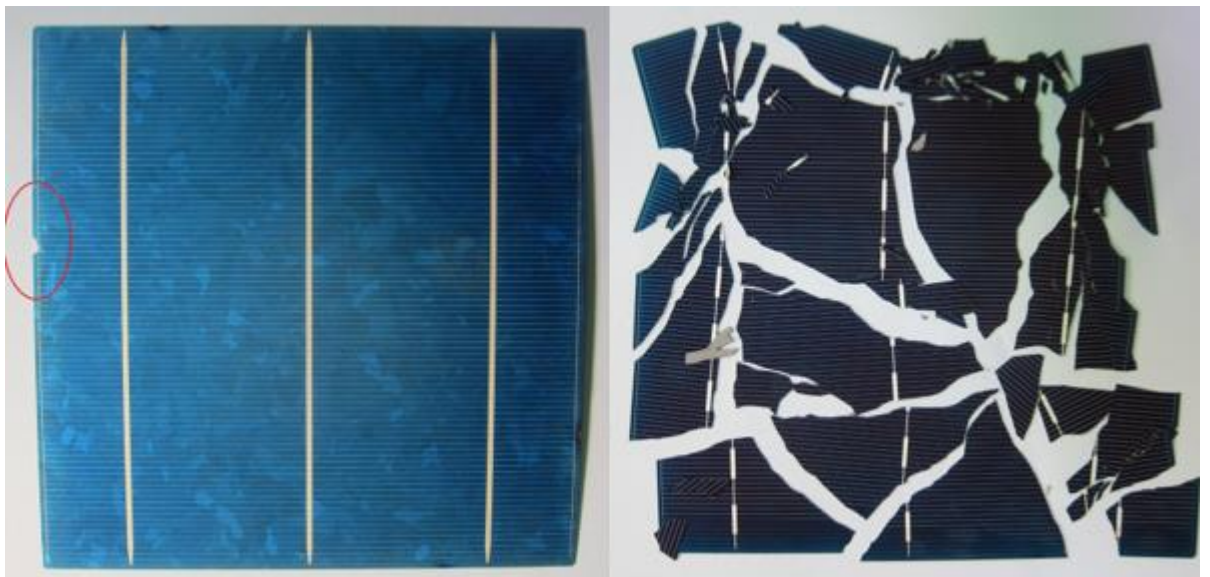
- kergelt kõver 2,0 mm - 2,5 mm
- Värvide hälve
- Esiosa osa puudub, puuduv ala $\leq W: 0,5 \text{ mm} \times L: 5 \text{ mm}$
- Kliistri lekke, ühele alale: 0,3 mm - $\leq 2,0 \text{ mm}^2$
- kriimustus, pikkus 15-50 mm
- veemärgid, $L < 15 \text{ mm}$, $W < 2 \text{ mm}$



Joonis 1.3.2 Kategooria GRAD A (vasakul) ja kategooria GRAD B (paremal) [23]

Kolmas kategooria on Grad C. Erinevus eelmisest kategooriast on kiibide ja pragude olemasolu, heterogeenne värvus, kuid madal hind. Maja toiteallikaks ei tohiks selliseid päikesepaneeli kasutada vähese efektiivsuse, kiire vananemise ja lühikese eluea tõttu.

Neljas kategooria - Grad D on kõige madalaima kvaliteediga. Nende paneelide struktuur on heterogeenne nähtavate defektidega. Fotoelementide väike suurus nõuab täiendavat jootmist, mis veelgi halvendab parameetreid. Sellised elemendid on vähe usaldusväärsed. Neid ei soovitata paigaldamiseks kasutada isegi madala hinnaga [23].



Joonis 1.3.3 Kategooria GRAD C (vasakul) ja kategooria GRAD D (paremal) [23]

1.4. Tüübid

Klassifitseeritakse kõik päikeseplatteid päikeseelemendi kristallide räni aatomite järgi: monokristalliline, polükristalliline ja amorfne.

Monokristalliline päikesepaneel

Monokristallsetes päikesepaneelides kasutatakse kristallilist räni, mis on toodetud suurte tahvlitena. Hiljem lõigatakse need päikesepaneeli suurusteks ning valmib üks suur element.

Hea võimalus mono- ja polükristalliliste päikesepaneelide eraldamiseks on see, et polükristallilised päikeseplatteid kujutavad endast täisnurka ilma ümarate servadega.



Joonis 1.4.1. Monokristalliline päikesepaneel [57]

Eelised:

Monokristallilised päikesepaneelid on kõige tõhusamad, kuna need on valmistatud kõrgeima kvaliteediga ränist. Monokristalliliste päikesepaneelide efektiivsuse määrad on tavaliselt 15-20%.

Monokristallilised räni päikesepaneelid on väiksed ruumikasutajad võrreldes teist tüüpi paneelidega. Monokristallilised päikesepaneelid toodavad kuni neli korda rohkem elektrit ja on nagu õhukesed päikesepaneelid.

Eluiga monokristallilistel päikesepaneelidel on kõige pikem. Enamik päikesepaneelide tootjaid annavad nende monokristallilistele päikesepaneelidele 25-aastase garantii.

Miinused:

Temperatuuriga langeb kristallise räni elemendi efektiivsus väga kiiresti, 0,4-0,5% ühe kraadi kohta.

Keerukas tootmisprotsess, millest tulenevalt on tootmiskulud üsna kõrged [57].

Polükristalliline päikesepaneel

1981. aastal toodi turule esimesed polükristallilise räni baasil olevad päikesepaneelid, mida tuntakse ka kui polüsilikooni (p-Si) ja multikristallilist räni (mc-Si). Võrreldes monokristalliliste päikesepaneelidega ei vaja polükristallilised päikesepaneelid Czochralski

protsessi (Czochralski protsess- monokristallide kasvatamise meetod, mis seisneb pöörleva läitekeha väga aeglaselt väljatõmbamises tiiglis olevast sulatisest. Saadakse ühtlase struktuuriga monokristallid).



Joonis 1.4.2. Polükristalliline päikesepaneel [57]

Eelised:

- Polükristallilise räni valmistamise protsess on lihtsam ja odavam. Räni jäätmete kogus on monokristallilisega võrreldes väiksem.
- Kuumakindlus polükristallilistel päikesepaneelidel on üsna madal. See tähendab tehniliselt, et need toimivad kõrgel temperatuuril pisut halvemaks kui monokristallilised päikesepatareid. Kuumus võib mõjutada päikesepaneelide toimivust ja lühendada nende eluea pikkust. Kuid see mõju on väike ja enamik majaomanikke ei pea seda arvesse võtma.

Puudused:

- Polükristallil põhinevate päikesepaneelide efektiivsus on tavaliselt 13-16%. Madalama ränidioksiidi tõttu pole polükristallilised päikesepaneelid sama efektiivsed kui monokristallilised päikesepaneelid.
- Suurem ruumikasutus. Peab üldiselt katma suurema pinna, mis toodab sama elektrit nagu oleksite monokristallilise räni päikesepaneeliga [57].

Amorfsed päikesepaneelid

Amorfsed päikesepaneelid paremini tuntud kui õhukese kilega fotoelemendid. See on kõige hilisem tüüp, väga õhukesed ja painduvad, andes kerge kaalu ja tehes need lihtsalt käsitletavaks. Õhukese kilega tehnoloogia on kõige kiiresti arenev. Nüüd on selliseid paneele kolm põlvkonda. Esimesed õhukesekujuliste paneelide proovid olid efektiivsusega kuni 5% ja nende eluiga oli 10 aastat. Teise põlvkonna päikesepaneelide efektiivsus jõudis juba 8%-ni. Tänapäevased amorfsed paneelid, mille tootlikus on ikkagi madalam kui mono- ja polükristallilistel paneelidel, omavad efektiivsust 12% [58].



Joonis 1.4.3. Amorfne päikesepaneel [58]

1.5. Paigutamise viisid

Paigalduseviis on samuti erinev. Iga omanik saab endale sobiva võimaluse valida. Kui katusel ei ole ruumi ja maja lähedal paiknev maa-ala on suur, ei ole paneelide paigaldamisel maapinnal probleeme. Analüüsime kolme põhitüüpi.

Päikesepaneelide paigaldusliikide tüübid on järgmised:

Maapealne automaatselt päikese suunda jälgiv süsteem. Selline lahendus põhineb tugeval suurel postvundamendil, mis tagab kogu süsteemi stabiilsuse ka suurte tormide korral. Paneelid kinnituvad ühise raamistikuga otse postile. Lisaks on võimalik paneelide raamistikku vastavalt

päikeseoludele automaatselt pöörata. Hommikuti vaatab raamistik paneelidega ida suunas ning õhtuks jõuab koos päikesega vastavalt pöörata end lääne suunda (päikese loojumise suunda). Samuti talvel muutub paneelide raamistiku nurk maa suhtes peaaegu vertikaalseks. Sellise lahenduse puhul tõuseb süsteemi kogu aastane tootlikus ligikaudu 35%. Süsteemi miinuseks on väga tugeva vundamendi rajamise vajadus [24].

Maapealne eraldiseisev kinnitusviis. Kui ei ole võimalik paigaldada paneele katusele, võib neid paigaldada ka eraldi postvundamentidel asetsevale alusraamistikule. Sellise lahenduse puhul on võimalik ka paneelide nurka jooksvalt muuta. Näiteks suvel võib olla paneelide nurgaks 20° ja talvel 70° . Kuna talvel on lumelt peegelduv hajuskiirgus suurem otsekiirgusest, siis on suurim tootlikus talvel Eestis ca 70° juures.



Joonis 1.5.1. Maapealne eraldiseisev kinnitusviis [24]

Levinuim paigaldamise viis maja või hoone katustele. Selleks paigaldatakse katuse sarikate külge tugev alumiiniumist alusraamistik, mille peale kinnitatakse omakorda paneelid. Alumiiniumist raamiga paneelid koos alusraamistikuga moodustavad ühtse vastupidava tandemi..

Katusekate peaks olema piisavalt heas korras ja veetihe, sest peale paneelide paigaldust on tunduvalt raskem teha parandustöid või on see sootuks võimatu. Seepärast peab vaatama kriitiliselt üle olemasolevad katusekonstruktsioonid ja katusekate ning uuendama need vajadusel [24].



Joonis 1.5.2. Katuse peale kinnitusviis [24]

1.6. Päikeseelektrijaama tüübid

Päikeseenergia muutmiseks elektrienergiaks on päikeseelektrijaamad paljude aastate jooksul paljudes maailma riikides kasutusel. Need on erineva kujundusega tehnilised struktuurid, mis töötavad erinevatel põhimõtetel, sõltuvalt elektrijaama tüübist. Inimesed tihti arvavad, et päikeseelektrijaamad, mis kujutavad endast päikesepaneelidega kaetud suurt ala, on ainukesed maailmas, aga pole see üllatav, sest seda tüüpi elektrijaam, mida nimetatakse fotoelektriliseks, on tänapäeval väga populaarne, kuid see ei ole ainus päikeseelektrijaama tüüp. Allpool on välja toodud mõned sellised jaamad.

Energiatornid ehk päikesetornid

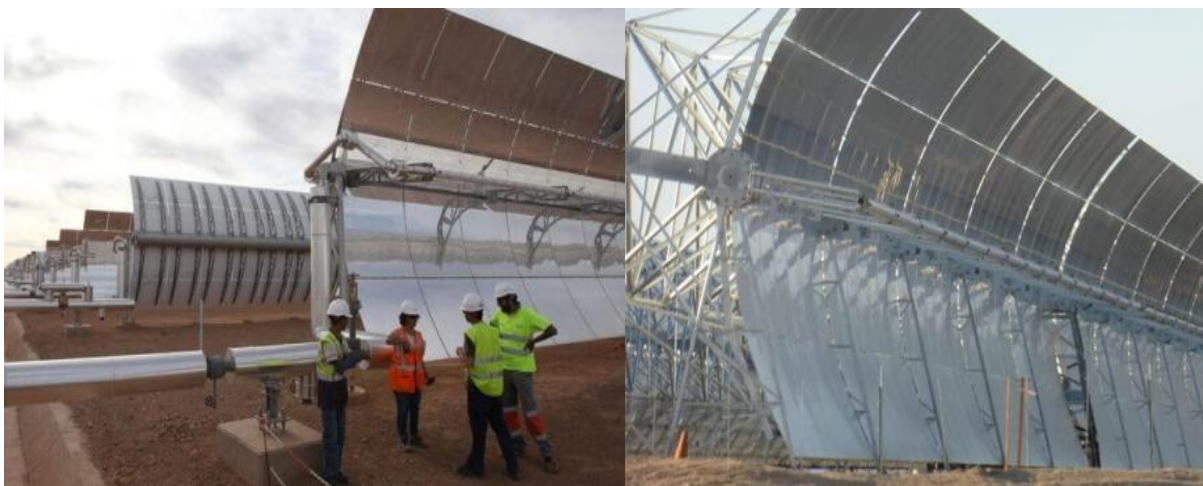
Energiatornid ehk päikesetornid, mis on heliostaatilised elektrijaamad, milles valgus suunatakse torni ümbritsevatelt peeglitelt torni otsas olevale soojuskollektorile. Heliostaatilises tornis saavutatud palju kõrgem temperatuur võimaldab soojust efektiivsemalt elektriks muundada või vajaduse korral hilisemaks kasutuseks salvestada võrreldes parabolsete peeglite süsteemiga. Peegel, mille pindala võib küündida üle 100 m², on üles-alla ja paremale-vasakule pööratav nii, et temalt peegeldunud päikesekiirus on kogu aeg suunatud torni tipus olevale vastuvõtjale. Esimene torntüüpi päikeseelektrijaam (võimsusega 64 kW), milles heliostaatide asemel kasutati 2500 m² suurust parabolpeeglit, lülitati pidulikult talitlusse 25. jaanuaril 1977 Odeillos (Prantsusmaa Püreneedes) [47]. Tänapäeval üks suurimatest asub USA-s. Ivanpah' päikeseenergiaal töötavas elektrijaamas koondavad 173 000 heliostaati valguse kolmele 140

meetrilises tornides paiknevale veeboilerile, kus tekkiva auru jõul toodetakse elektrienergiat. Elektriijaama kogu võimsus on 392 MW ja ta pakub Californias elektrienergiat rohkem kui 140 000 majapidamisele [48].



Joonis 1.6.1. Ivanpah päikeseelektriijaam [48]

Paraboolsilinderpinnal põhinevate rennpeeglitega päikeseelektriijaamad, mille rennpeeglite fookuses paiknevad suure neeldumispinnaga terastorud on täidetud ca 300-400 °C kuumeneva vedela (enamasti sünteetiline õli) soojuskandjaga. Paraboolse ristlõikega pikad rennitaolised peeglid on kinnitatud põhjast lõunasse kulgevale horisontaalsele kandeteljele. Sellisele peeglile langev kiirgus koondub sirgjoonelisse fookusesse, mis kulgeb piki renni, kui renn on suunatud otse päikesele. Renni reguleerib ajam, mis pöörab renni tema horisontaalse kandetelje ümber samasuguse nurkkiirusega nagu päike liigub taevavõlvil. Öösiti toimub muidugi nende tagasipööramine suunda, kust hommikul päike tõuseb, ja päevane töötükkel algab taas [49].



Joonis 1.6.2. Paraboolsilinderpinnal põhinevate rennpeeglitega päikeseelektrijaam [49]

Fotoelementistes elektrijaamades muundatakse päikesekiirgus otseselt alalisvoolu-
 elektrienergiaks ventiilfotoelementide abil. Selleks moodustatakse fotoelementidest lamedad,
 tavaliselt mõne ruutmeetri suurused paneelid, neid ühendatakse sobiva pinge saamiseks
 jadamisi. Moodulijadadest moodustatakse rööpühendamise teel sektsioonid, mis omakorda
 ühendatakse vastavalt soovitavale võimsusele rööbiti. Sektsioonid või nende rühmad
 varustatakse vahelditega, mis lülitatakse toidetavasse elektrivõrku. Ühe fotoelektrilise paneeli
 võimsus on tavaliselt 50...1000 W, moodulite arv võib aga varieeruda. Maailma esimene
 katseline fotoelektriline päikeseelektrijaam oli ehitatud aastal 1977 Massachusettsi
 tehnikaülikoolis [50].



Joonis 1.6.3. Fotoelektriline päikeseelektrijaam [50]

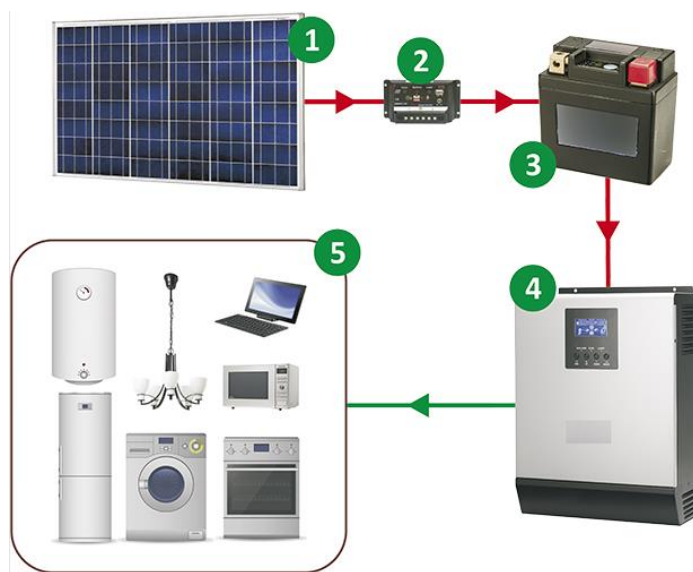
Pole üllatav, et tänapäeval just Hiinas asub seda tüüpi üks suurim elektrijaam, mis võib näha
 allpool pildil. Installeeritud võimsus on 1547 MW. Päikeseelektrijaam katab 1200 km² mis
 on umbes 3,2% Hiina kogu pindalast [51].



Joonis 1.6.4. Tengger Desert Solar Park [51]

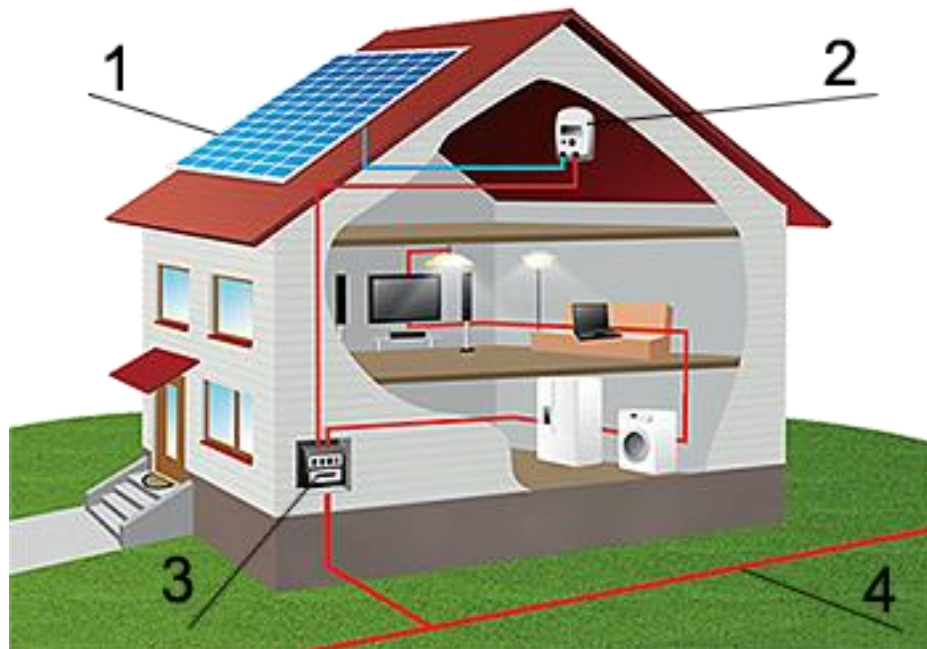
1.7. Ühendamine

Võrguühenduseta ehk off-grid-süsteemis salvestatakse päikesest toodetud elekter esmalt akudesse ning sealt saab alalispinget otse tarbida või inverteri abil tavaliseks vahelduvaks muundada. Selliseid süsteemid on kõige levinumad. Juba väikese ja lihtsa süsteemi abil saate te ilma elektrita suvemajas mõned LED-valgustid tööle panna või mobiili laadida [52].



Joonis 1.7.1. Võrguühenduseta ehk off-grid-süsteem 1. Päikesepaneel; 2. Aku laadimise kontrolleri; 3. Aku; 4. Inverter; 5. Tarbija. [29]

Elektrivõrku ühendatud ehk on-grid-süsteemis toodavad päikesepaneelid inverteri abil elektrienergiat otse võrku. Neid kasutatakse võrgust elektritarbimise vähendamiseks. Toodetud elektrienergiat saab kasutada kohapeal ja tänu mikrotootja võrguga liitumise lihtsusele on võimalik tarbimisest ülejäänud elektrienergia võrguettevõttele maha müüa. Ilma mikrotootja lepinguta ei ole Eestis lubatud päikesepaneeli üldisesse elektrivõrku lülitada. Generaatori elektrienergia ülejääk müüakse võrgus vastavalt rohelisele tariifile [37].



Joonis 1.7.2. Võrguühenduseta ehk on-grid-süsteem 1. Päikesepaneel; 2. Iverter; 3. Voolumõõdja; 4. Elektriliin [59]

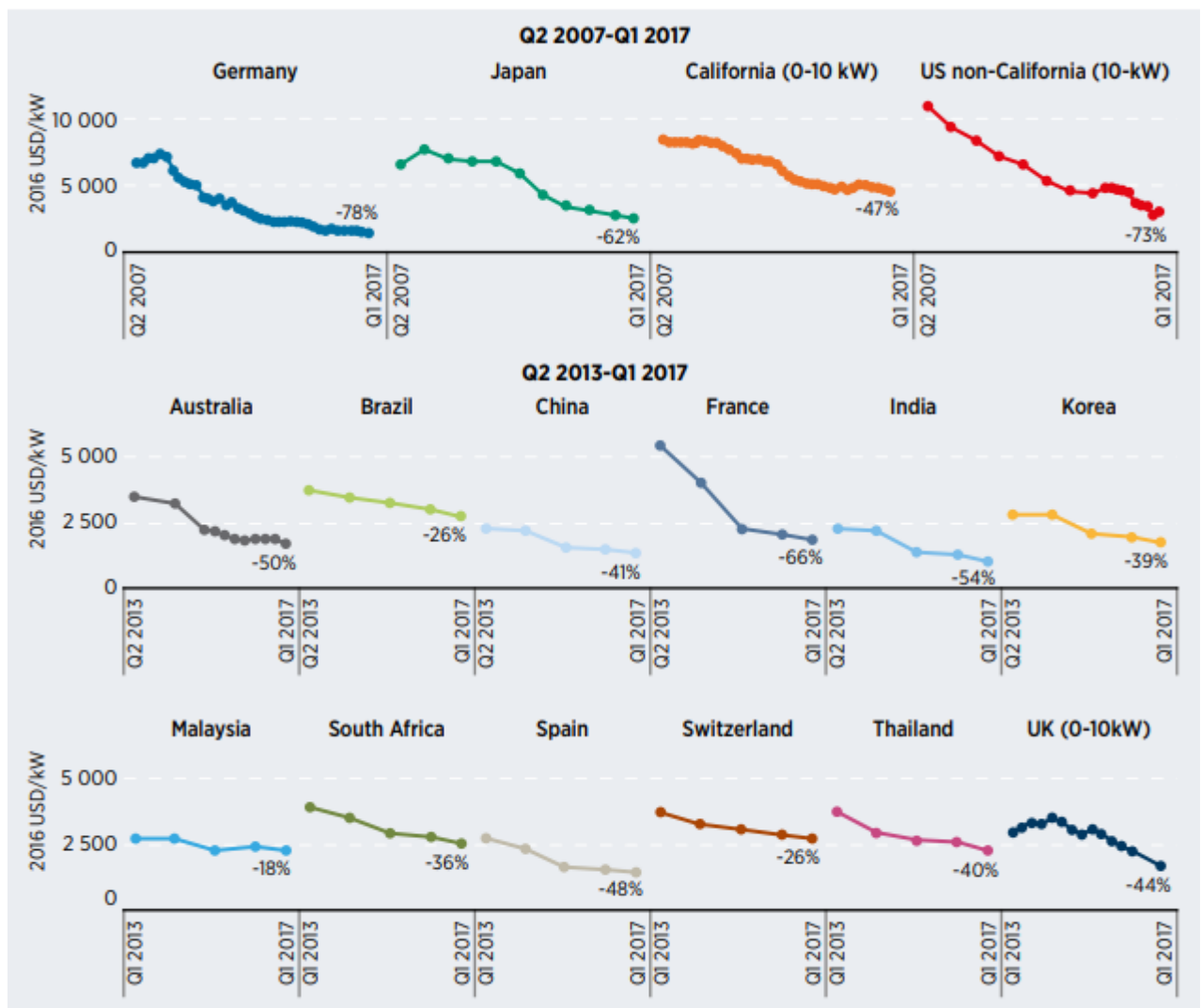
Päikesepaneel annab võrguinvertorile genereeritud energiat, et muuta alalisvool vahelduvvooluks ja seejärel edastada elektrit tarbijale ja võrku. Võrgupäikeseadmeid saab kasutada ainsa elektrienergia allikana, mis sarnaneb autonoomsetest elektrijaamadest hübriidmuunduri kasutamisel. Selline hübriidsüsteem tagab mitte ainult autonoomia, vaid ka müügi võrgule vastavalt rohelisele tariifile.

1.8. Majanduslikud aspektid

Päikeseenergia (PV) sektor on viimase kümne aasta jooksul märkimisväärselt kasvanud kogu maailmas, peegeldades PV-i tunnustamist puhta ja jätkusuutliku energiaallikana. Projektiinvesteeringud on olnud ja on endiselt peamine rahaline tegur, mis võimaldab PV-seadmete jätkusuutlikku kasvu. Kulude vähendamise määr on olnud täiesti muljetavaldav. Päikesepaneelid on rohkem kui 80% odavamad kui 2009. aastal. Päikeseenergia PV-i

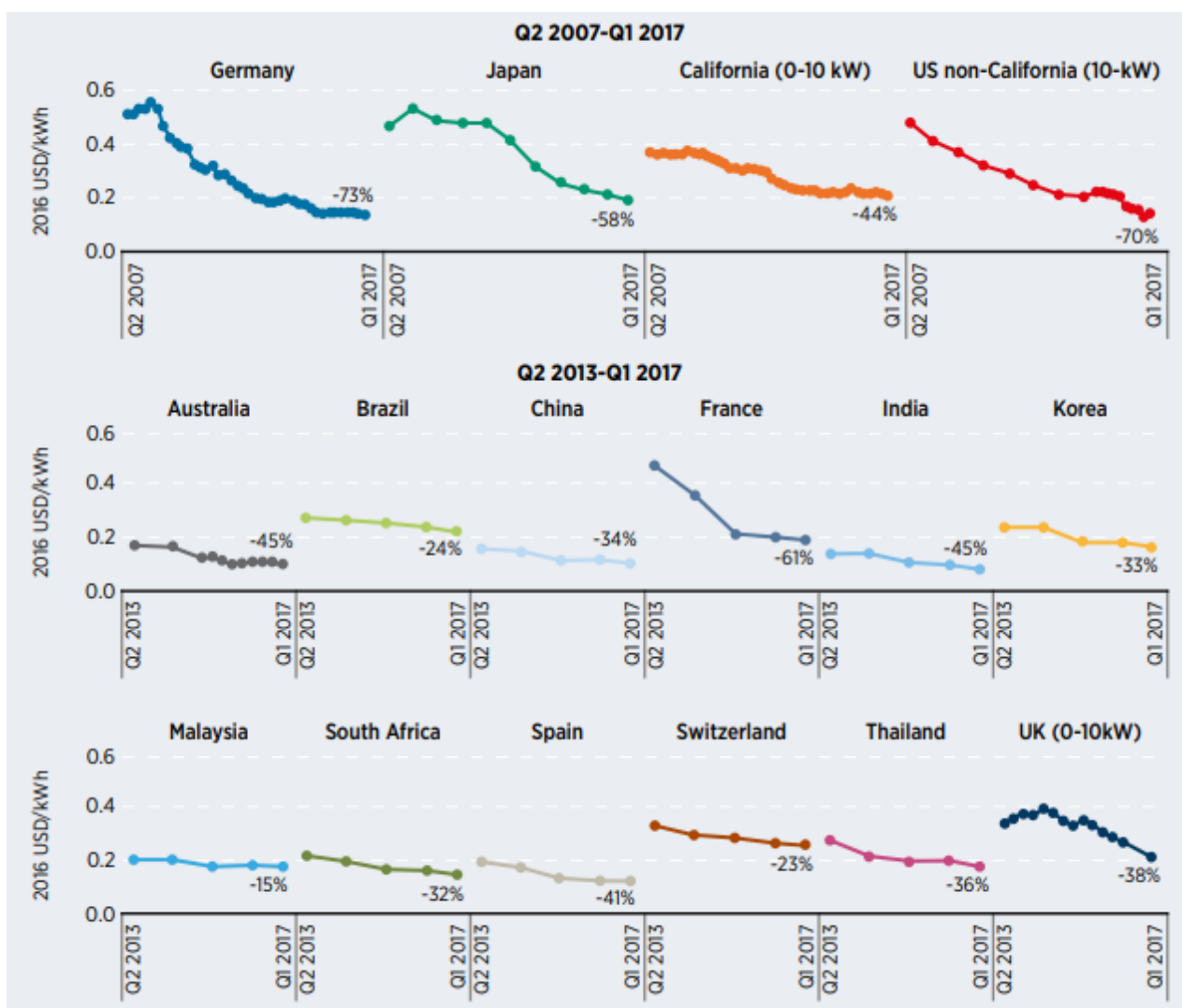
elektrienergia maksumus langes peaaegu kolm neljandikku 2010-2017 ja jätkab langust. Selliseid kulude vähendamisi juhib pidev tehnoloogiline täiustamine, sealhulgas päikesepaneelide efektiivsuse suurenemine.

Alates 2010. aastast on paljudes riikides järsult vähenenud elamuehituse päikese süsteemide kogu installeeritud kulud. Joonisel on kujutatud pikkade ajalooliste andmetega kodumaiste päikeseenergia kogu süsteemikulud vähenesid vahemikus USD 6 700 ja USD 11 100 / kW 2007. aasta II kvartalis kuni 1 050 ja 4 550 USD / kW vahel 2017. aasta esimeses kvartalis (vähenemine 47-78%). Alates 2013. aastast, kui elamuehituse päikeseenergia turg laieneb saab palju rohkem erinevaid tüüpe paneeli valida. California on muutunud kõige kallimaks kodumaiseks päikeseenergia turuks, mille kohta IRENA-l on andmed, mille kogumaksumus on 4 550 USD / kW, mis on 2017. aasta 1. kvartalis enam kui kolm korda suurem kui Indiast ja kaks korda kui Saksamaal [40].



Joonis 1.8.1. Kodumaiste päikeseenergia kogu süsteemikulud [40]

Samuti on elamute süsteemide tasakaalustatud elektrienergia maksumus vähenenud väga kiiresti. Näiteks, vähenes Saksamaa elamute PV-süsteemide tasakaalustatud elektrienergia maksumus 2007. aasta II kvartalist kuni 2017. aasta esimese kvartalini 73% tasemel 0,55 USD kuni 0,15 USD / kWh (langus 2010. aasta I kvartalist kuni 2017. aastaks oli 58% 7).



Joonis 1.8.2. Tasakaalustatud elektrienergia maksumus [40]

Indiast, Hiinast, Austraaliast ja Hispaaniast pärinevad andmed näitavad, et nendes riikides, kus on paremad kiirituskindlad tingimused ja kus paigaldatud kulud on muutunud üha konkurentsivõimelisemaks, on madal tasakaalustatud elektrienergia maksumus kui eespool nimetatud Saksamaa näide, isegi kui paigaldatud kulud on mõnikord suuremad. Nende odavate turgude puhul oli tasakaalustatud elektrienergia maksumus vahemikus 0,15 ja 0,20 USD / kWh vahel 2013. aasta II kvartalis, langes 2017. aasta esimese kvartaliga 0,08-0,12 USD / kWh [40].

2. Tarbija

2.1. Üldiseloomustus

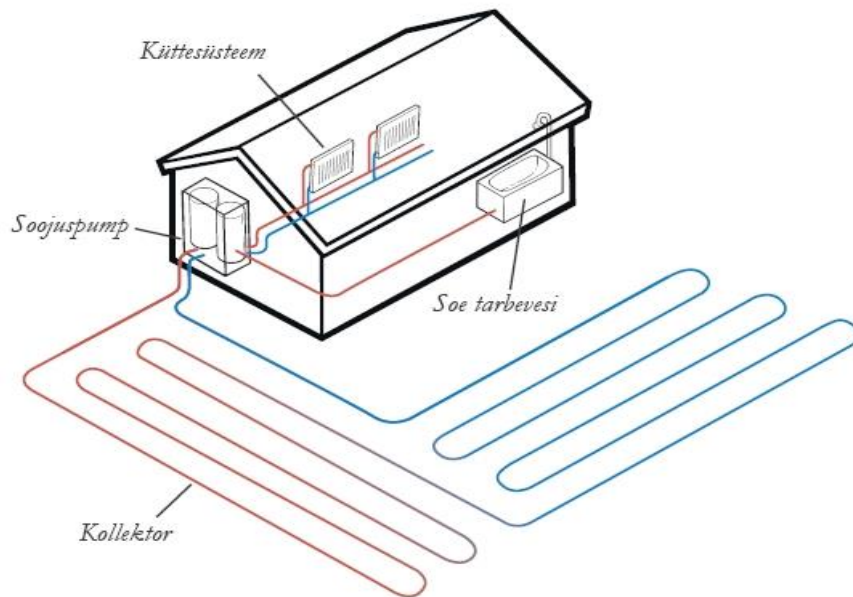
Uuritav hoone on aastal 2006 ehitatud eramaja, mille kogu pindala on 350 m². Maja asub Suurupis, mere lähedal. Maja juurde on ka ehitatud garaaž mille katust saab kasutada ka päikesepaneelide jaoks. Katuse materjalina on kasutatud kivi. Katus kuhu peale paigutatakse paneelid on suunatud lõunasse.



Joonis 2.1.1. Uuritav maja

Algusest peale oli maja planeeritud maaküttega, mis mõnikord säästab maja soojusenergia säilitamise kulusid. Maasoojuspump, rahvakeeli maaküte, rakendab maapinda salvestunud päikeseenergiat. Maaküte töö põhimõtte sarnaneb õhukonditsioneeride põhimõttega. Peamine element on soojuspump, mis on ligikaudu pesumasina suurus ja mis kuulub kahte kontuurisse. Esimene sisemine kontuur on meie silmale tuttav koduküttesüsteem, mis koosneb samadest torudest ja radiaatoritest nagu tavaliselt. Teine kontuur (välis) on soojusvaheti, mis asub maa all või vees. Kontuuri sees võib ringlusesse võtta nii tavaline vesi kui ka spetsiaalne antifriisiga vedelik. Välise kontuuri korral võtab soojusvaheti (vesi) välistemperatuuri ja siseneb seejärel soojuspumba, mida saab seadistada nii ruumi soojendamiseks kui ka konditsioneerimiseks.

Jahutamisel pumbas akumulereerunud soojus suunatakse välisele kontuurile ja kuumutamisel sisemisele kontuurile [60].



Joonis 2.1.2. Maasoojuspump ehk maaküte skeem [60]

Kasutusel on soojuspump Fighter 1120 8kW. Maasoojuspump kasutab osaliselt küll elektrienergiat, kuid iga kulutatud 1.66 kWh kohta toodab ta keskmiselt 8.2 kWh soojusenergiat tagasi tingimustel kui pump on kasutatud põrandküttega ja sisselasketemperatuur on 0 kraadi juures ja väljalasketemperatuur on 35 kraadi juures. Tingimustel kui soojuspump on kasutatud radiaatorküttega ja väljalasketemperatuur on 50 kraadi juures siis iga kulutatud 1.93 kWh kohta toodab ta keskmiselt 6.97 kWh [32].



Joonis 2.1.3. Soojuspump Fighter 1120 8kW

Lisaks sellele igas toas on paigutatud temperatuuri andurid.

Järgmises osas proovin näidata sellise kütmise kasu, kasutades näitena väiksema pindalaga maja, kuid kasutades elektrilist boilerit.

2.2. Energia tarbimine

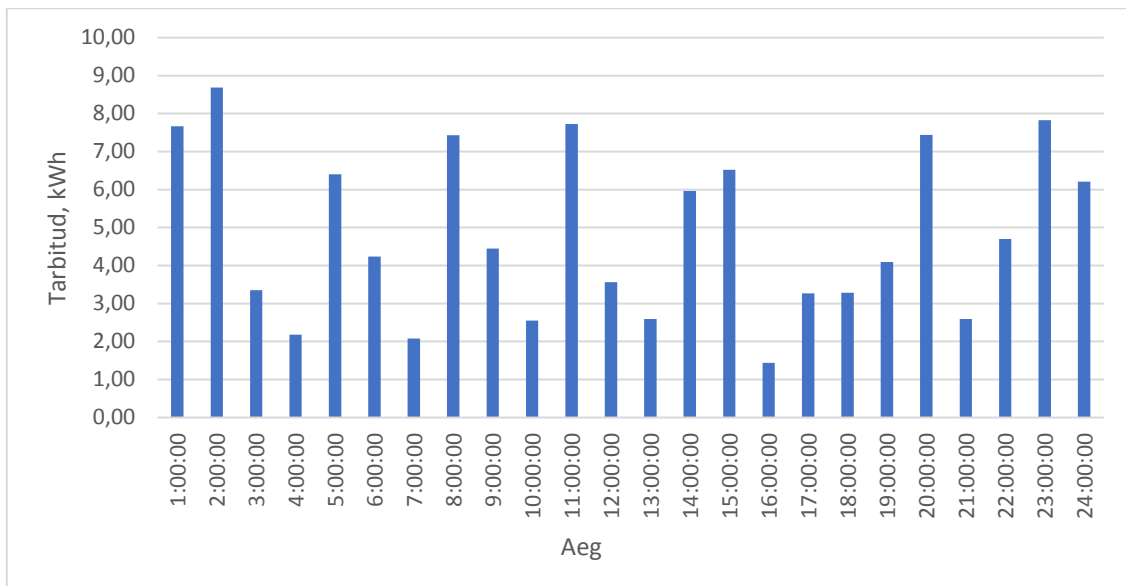
Elektrienergia tarnijaks on Elektrum Eesti OÜ (Latvenergo). Kõik andmed elektritarbimise kohta on võetud klienditeenindusse sisse logides, kust saab leida elektritarbimine kuu kaupa. Uuritav ajavahemik on 1. aprill 2017 kuni 31. märts 2018. Alljärgnev tabel näitab erinevust elektrienergia kasutamisel kahes erinevas majas. Üks maja kasutab maakütet, teist soojendatakse elektriboileriga. On näha, et elektriboileriga maja tarbib aasta jooksul energiat rohkem, vahe on 3409,52 kWh, arvestades asjaolu, et selle maja pindala on peaaegu kaks korda väiksem. See tabel on näide sellest, kuidas maaküte annab võimaluse elektrit säästa.

Tabel 2.2.1 Elektrienergia tarbimise erinevus majas maaküttega ja majas elektriboileriga

Aasta	Kuu	Maaküttega tarbimine, kWh	Elektriboileriga tarbimine, kWh
2017	Aprill	2355,55	1998,17
	Mai	1537,44	1501,31
	Juuni	915,37	1117,56
	Juuli	780,92	1052,23
	August	619,87	897,02
	September	979,49	1107,77
	Oktoober	1513,31	2033,59
	November	1789,08	2287,53
	Detsember	2409,59	3697,68
2018	Jaanuar	2590,35	3377,13
	Veebruar	3335,76	3054,43
	Märts	2598,30	2710,11
	Kokku	21425,01	24834,53

Samuti võib märkida, et rohkem elektrit tarbitakse talvel. Näiteks juuni ja detsembri vaheline erinevus on umbes 1500 kWh. Üldiselt maja kulutab ühe aasta jooksul 21425 kWh

Allpool on toodud joonis ühe konkreetse päeva kohta. See näitab, et elektrit kasutatakse nii päeval kui öösel. Sellises tarbimises on pluss, et suhteliselt palju elektrit kulutatakse öösel, kuna öösel on elektrienergia hind madalam, aga päeval saab kasutada elektrit saadud päikesepaneelidest.

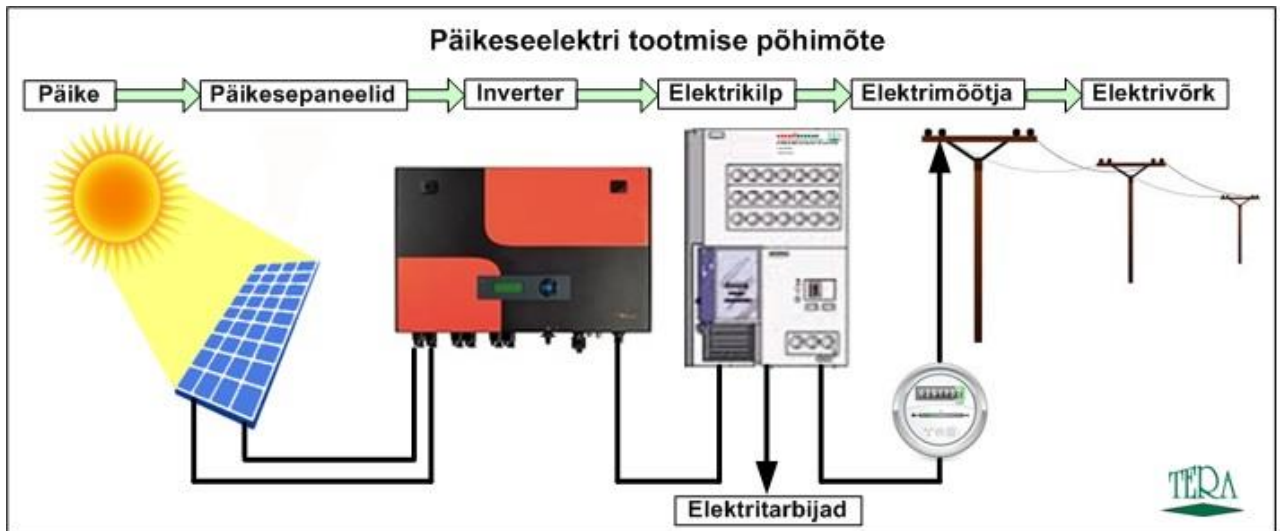


Joonis 2.2.1 Elektri tarbimine ühe päeva jooksul

2.3. Tehnilised aspektid

Päikesepaneelid on ühendatud inverteriga, mis muudab alalispinge 220 V vahelduvpingeks. Inverter on ühendatud kontrolleriiga, mis täidab jaotamise rolli: see on ühendatud päikesepaneelide inverteriga, akumulaatoriga (kui seda kasutatakse) ja linna elektrikaabliga. Ja just kontrolleri annab maja 220V kasutamiseks. Üldiselt ühendame kõik varuosad kontrolleriiga ja ta ise vaatab kust elektrit võtta, kas päikesepaneelidest, akudest või võrgust.

Selle töö loogika on järgmine: kui päikest on piisavalt, siis kontrolleri kasutab elektrienergiat päikesepaneelidest. Kui päike ei paista või seda ei ole piisavalt, saab siis akudest elektrienergiat võtta, kui need on tühjad või neid üldse ei kasuta – võtab võrgust. Kui päikest saadud energiat on rohkem kui mida maja vajab, suunab kontrolleri elektrit akude laadimiseks. Kui need on täis, saadab see ülemäärast elektrit tagasi võrku. Meie puhul ei kasuta me akusid ja energiat, mida me ei kulutanud, saadetakse otse võrku. Niimoodi näeb välja meie ühendus skeem.



Joonis 2.3.1. Päikeseelektri tootmise põhimõte skeem [61]

Edasi on vaja kindlaks määrata päikeseelektrijaama võimsus ja päikesepaneelide arv. Võimsus sõltub paneelide arvust, mida rohkem paneele paigaldame seda võimsam on meie jaam. Paneelide arv sõltub vastavalt katuse pindala, mõnikord tahab rohkem paneele paigaldada, aga ruumi ei ole.

Kuna meil on katuse materjalina kasutatud kivi siis paneelide paigaldamine näeb välja nagu see on allpool toodud pildil näidatud.



Joonis 2.3.2. Päikesepaneelide paigutamine kivi katuse peale [63]

2.4. Päikeseenergia potentsiaal

Päikeseenergia kasutamise võimaluste kindlaksmääramiseks selles piirkonnas võib kasutada tavalist päikesepaneelide tootlikkuse veebikalkulaatorit, mida mõned ettevõtted kasutavad päikesepaneelide paigaldamiseks. Selleks valime koha, kuhu teoreetiliselt paigaldame paneele, meie juhul see on Suurupi. Lahtris nimega “Radiation database” valime Eestis toimib Classic PVGIS mis määrab andmebaasi mida arvutustes kasutatakse. Kuna me paigaldame polükristallilised päikesepaneelid, siis edasi lahtris “PV technology” valime Crystalline silicon. Seejärel valime installeeritud süsteemi võimsust, näiteks on see 1 kW. Nüüd valime süsteemi kadude protsent mis tuleneb inverterite tehniliste andmete ja Eestis praktikas mõõdetud tulemuste põhjal. Kuna hakkame päikesepaneeli katuse peale paigaldama siis valime building integrated ja kaldenurk 42 kraadi mis on kõige optimaalsem nurk Eestis. Kõik see on näha allpool toodud piltidel [64].

The screenshot displays the PVGIS web calculator interface. On the left, a map shows the location of Suurupi in Estonia. The right-hand panel, titled "Performance of Grid-connected PV", contains the following configuration options:

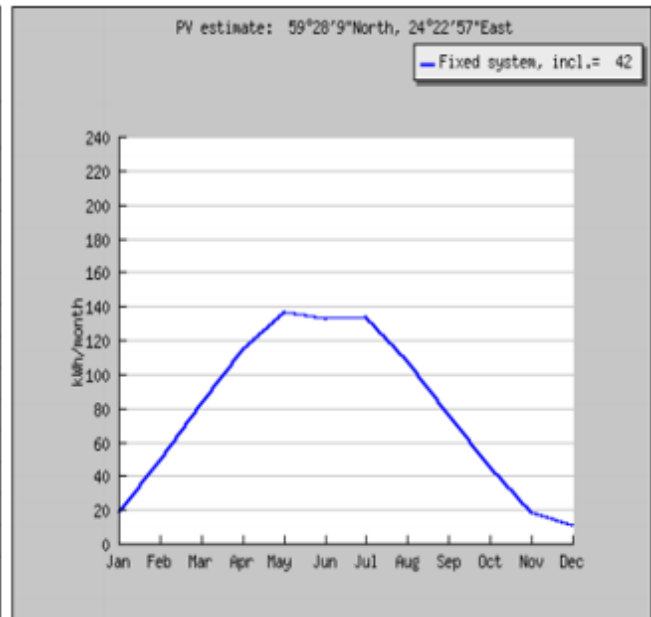
- Radiation database: Classic PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 1 kWp
- Estimated system losses [0;100]: 5 %
- Fixed mounting options:**
 - Mounting position: Building integrated
 - Slope [0;90]: 42 °
 - Azimuth [-180;180]: 0 °
- Tracking options:**
 - Vertical axis: Slope [0;90]: 0 °
 - Inclined axis: Slope [0;90]: 0 °
 - 2-axis tracking:
- Horizon file: Choose File (No file chosen)
- Output options:**
 - Show graphs:
 - Show horizon:
 - Web page:
 - Text file:
 - PDF:

A "Calculate" button is located at the bottom of the settings panel.

Joonis 2.4.1. Päikesepaneelide tootlikkuse veebikalkulaator PVGIS [64]

Lõpuks vajutame nuppu “Calculate” lõpliku tulemuse arvutamiseks.

Fixed system: inclination=42 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.58	18.0	0.61	18.9
Feb	1.74	48.8	1.92	53.8
Mar	2.66	82.4	3.08	95.4
Apr	3.82	115	4.65	140
May	4.41	137	5.63	175
Jun	4.43	133	5.76	173
Jul	4.31	133	5.71	177
Aug	3.48	108	4.50	139
Sep	2.51	75.4	3.11	93.3
Oct	1.47	45.5	1.71	53.1
Nov	0.61	18.3	0.68	20.5
Dec	0.33	10.4	0.36	11.3
Year	2.53	77.0	3.15	95.8
Total for year		924		1150



Joonis 2.4.2. Saadud tulemus tingimusega, et päikeseelektrijaama võimus on 1 kW [64]

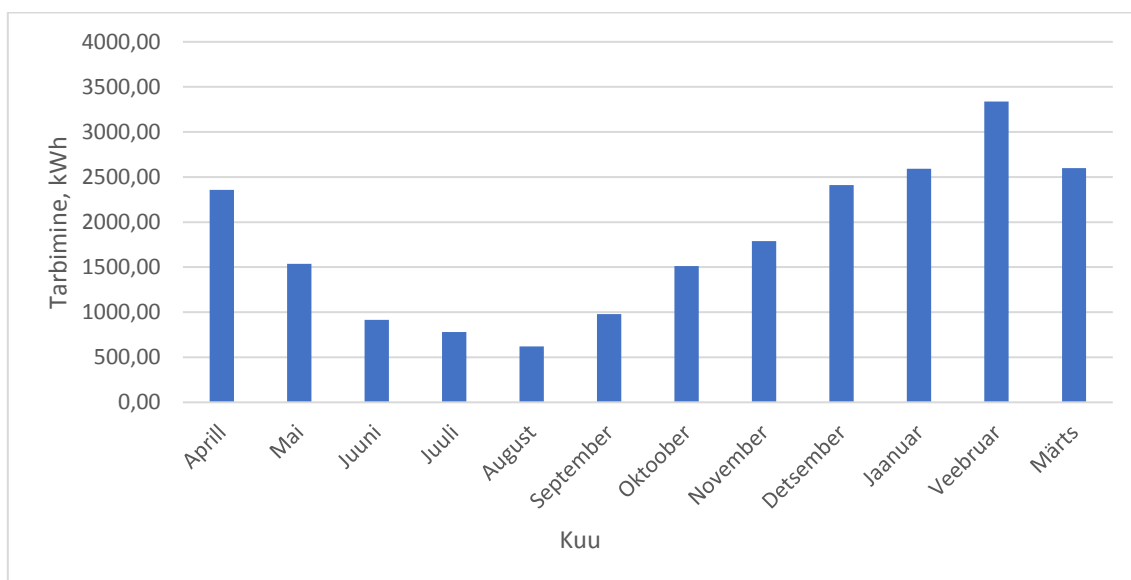
Süsteemi kogukaod on 19,3%. Keskmise päeva tootlikkus (Ed) antud kohas on 2,53 kWh ja keskmine kuu tootlikkus (Em) on 77 kWh, loomulikult suvel on tootlikkus suurem kui talvel. Aastane toodang on 924 kWh. Kuid need on ainult teoreetilised numbrid, tegelikult võivad need väga erinevad olla.

3. Otstarbekuse hinnang

Nüüd arvutan, kui palju paneele me saame meie maja katuse peale paigaldada ja kuidas see aitab meil säästa elektrit ja sellega raha.

3.1. Tehnilised arvutused

Sobiva võimsuse leidmiseks peab vaatama kui palju elektrit me päevas kulutame ja valida süsteem, mis katab selle vajaduse. Loomulikult on talvel elektritarbimine palju suurem, kuid samas päikesepaneelid peaaegu ei töötagi. Keskendume ajavahemikule aprillist septembrini, kuna päikest on suvepäevadel ikkagi rohkem. Allpool on välja toodud elektritarbimise graafik perioodil 1. aprill 2017 kuni 31. märts 2018. Graafikust lähtuvalt on näha, et kokku aprillist septembrini kulutati umbes 6209,14 kWh. Selle aja jooksul on keskmine energiatarbimine 39-41 kWh päevas, arvutatakse see arv jagades summat mis kulutati selle perioodi jooksul 30,5-ga (päevade arv kuus, mõnedel kuudel on 31 päeva). See meetod ei ole väga täpne, kuid sellest piisab, et hinnata kui palju elektrienergiat peab päikesepaneel päeva jooksul välja andma.



Joonis 3.1.1. Tarbimine aasta jooksul

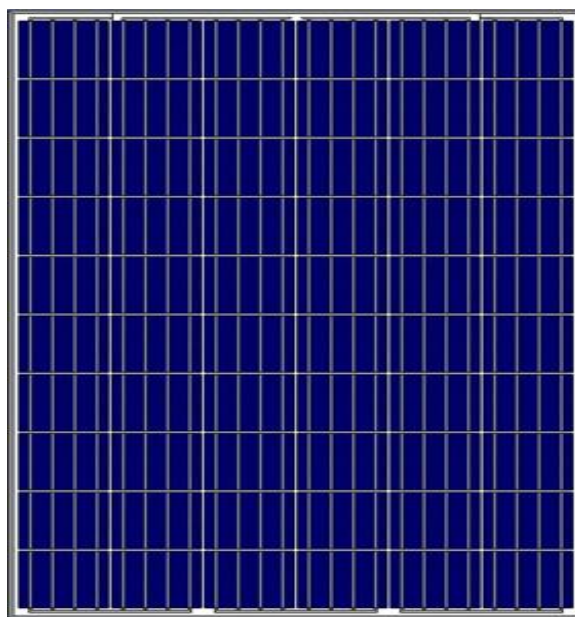
Tabelist, mis on saadud kasutades sama päikesepaneelide tootlikkuse veebikalkulaatorit, võib leida, et kui me tahame igapäevaselt suvel toota vähemalt 39 kWh peab meie päikeseelektrijaam olema võimsusega 11 kW.

Tabel 3.1.1 Erineva võimsusega päikeseelektrijaamade päevane tootlikkus

	Võimsus 9 kW	Võimsus 10 kW	Võimsus 11 kW
Kuu	Päevane tootlikkus, kWh	Päevane tootlikkus, kWh	Päevane tootlikkus, kWh
Jaauuar	5,2	5,7	6,4
Veebruar	15,6	17,3	19,3
Märts	23,9	26,6	29,7
Aprill	34,4	39,2	42,9
Mai	39,7	44,1	48,9
Juuni	39,9	44,3	49,2
Juuli	39,7	43,0	47,8
August	31,3	34,7	39,1
September	22,6	25,1	28,4
Oktoober	13,2	14,7	16,6
November	5,5	6,1	6,8
Detsember	3,0	3,3	3,6
Aasta keskmine	23,8	26,3	28,8

Kuid võib märkida, et mais, juunis ja juulis 39 kWh tootmiseks oleks piisav päikeseelektrijaam võimsusega 9 kW ja kui lisada veel 1 kW siis juba aprillis see jaam toodab natuke rohkem kui 39 kWh päevas.

Paigaldamiseks oli valinud paneelid AmeriSolar AS-6P30 270W Poly . Nende paneelide efektiivsus on 15,37% ja tootja lubab, et pärast kümneaastast kasutamist vähendatakse paneelide tootlikkus maksimaalselt 10% ja veel 10% pärast 30 aastat [53].



Joonis 3.1.2. AmeriSolar AS-6P30 270W Poly päikesepaneel [53]

Järelikult selleks, et 11 kW võimsusega jaama saada peab paigaldama $11000/270=41$, kus 11000 on jaama võimsus, 270 ühe paneeli võimsus ja 41 on paneelide arv.

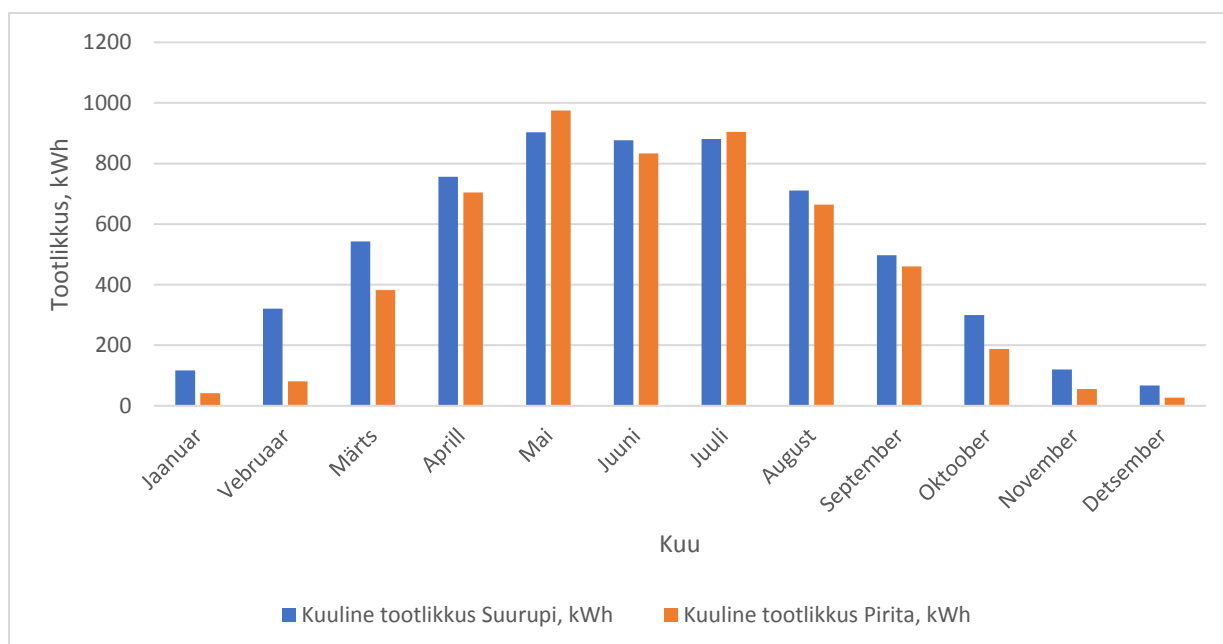
Tulenevalt asjaolust, et selline arv paneele hõivab suurt ala maja ja garaaži katusel saab paigaldada kokku ainult 25 paneeli, mis annab meile maksimaalse võimsuse 6,75 kW.

Sama PVGis kalkulaatori abil saab leida, kui palju selline jaam ühe aasta jooksul elektrienergiat toodab. Allpool on toodud tootlikkuse tabel, kus on näha, et suve- ja talvekuude vahel on väga suur erinevus, nii näiteks juunis päikeseelektrijaam toodab 877 kWh aga jaanuaris ainult 117 kWh. Aasta jooksul toodab ta kokku 6090 kWh, aga need on ainult teoreetilised numbrid mis on võetud online kalkulaatorist.

Tabel 3.1.3 6,75 kW päikeseelektrijaama päevane tootlikkus

Kuu	Päevane tootlikkus, kWh	Kuuline tootlikkus, kWh
Jaanuar	3,7	117
Veebruar	11,5	321
Märts	17,5	543
Aprill	25,2	756
Mai	29,1	903
Juuni	29,2	877
Juuli	28,4	881
August	22,9	711
September	16,6	497
Oktoober	9,7	300
November	4,0	120
Detsember	2,2	67
Aasta keskmine	16,7	508

Eestis, Pirital, ühe maja katusele on paigaldatud päikeseelektrijaam, mille võimsus on 6,5 kW. Võimsuse erinevus meie päikeseelektrijaamaga on 0,25 kW. Joonisel näeme, kui palju reaalselt paigaldatud päikeseelektrijaama tootlikkus erineb meie teoreetilisest elektrijaamast. Võrdluseks võtame 2017. aasta jooksul saadud tootlikkuse andmed [20].



Joonis 3.1.3 Päikeseelektrijaama kuuline tootlikkus Suurupis ja Pirital

Peamine tootlikkuse erinevus langeb perioodile oktoobrist aprillini, see tähendab, et 6 kuud päikeseelektrijaam tegelikult toodab vähem energiat. Aastal 2017 päikeseelektrijaam Pirital on tootnud kokku 5313 kWh mis on umbes 700 kWh vähem kui meie katusele paigaldatud jaam. Erinevus on tegelikult suur, sellisest kogusest piisab näiteks, et katta elektrivajadus augusti jooksul. Need tulemused näitavad, et väga raske on eeldada, kui palju tegelikult energiat hakkab päikeseelektrijaam tootma, kuna peamine tegur on ilm. Kasutades PVGIS sellist tulemust saab saavutada, kui lahtris „süsteemi kaod“ panna 16%. Lähtudes sellest, proovime oma süsteemi jaoks kasutada sama protsenti.

Järgmine küsimus on inverteri valik. Päikeseinverterite peamine omadus on nimivõimsuse parameeter. Võrguinverter on mõeldud päikesepaneelidest saadud päikeseenergia vahelduvvooluks sagedusega 50 Hz ja 220 V pingega teisendamiseks. Võrgu fotoelektriline inverter genereerib elektrit ainult päeva jooksul, kuna see ei võimalda akude ühendamist. Inverter on ühendatud olemasoleva 220-voldise võrguga paralleelselt. Päikesepaneelidest saadud energiat kasutatakse kõigepealt, kui aga seda ei piisa, kasutatakse elektrit tavapärasest võrgust.

Tuleb meeles pidada:

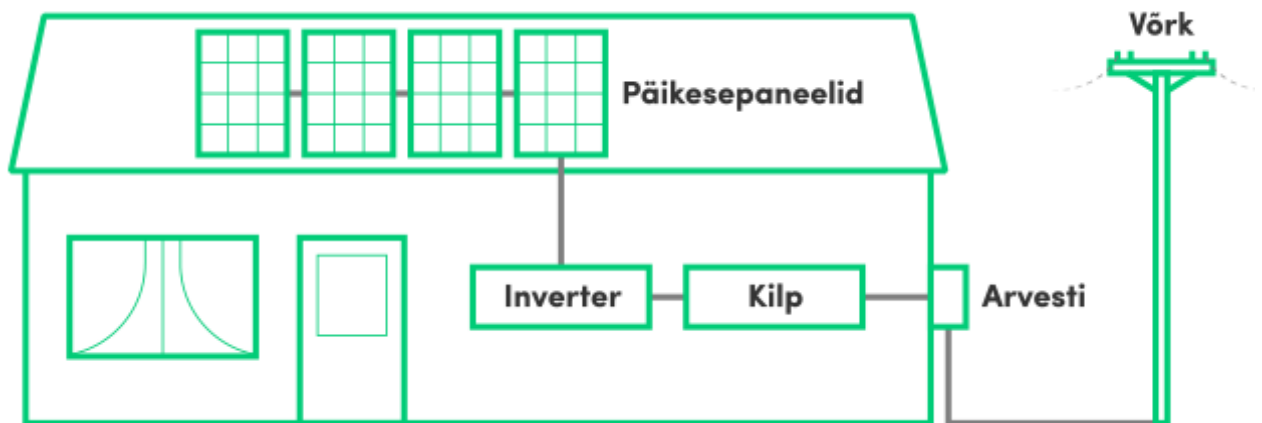
Kui päikesepaneelidest tuleb rohkem energiat, mida inverter saab võtta, kaob energia, kuna inverter piirab vastuvõtva võimsust. Tavaliselt päikesepaneelid toodavad oma nimivõimsusest vähem elektrit, kuna tegelikud tingimused erinevad nendest, millisel PV moodulite

nimivõimsus oli leitud, sest tavaliselt on vähem päikese kiirgust, õues on pilvine ilm ja mõjub ka moodulite saastumine.

Arvutamisel arvestame, et päikesepaneelid toodavad peamiselt umbes 80% oma nimivõimsusest. Selle põhjal võib inverteri nimivõimsus olla väiksem kui ühendatud päikesepaneelide nimivõimsus. Paljud inverteri tootjad näitavad, et päikesepaneelide nominaalvõimsus ei tohiks ületada 125% muunduri algsest nimivõimsusest. See tähendab, et kui inverteri nimivõimsus on 10 kW, siis päikesepaneelide koguvõimsus ei tohi ületada $10 \times 1,25 = 12,5 \text{ kW}$.

Võttes arvesse, et meie süsteemi võimsus on 6,75 kW, oli valitud inverter KACO BLUEPLANET 6.5 TL3 nimivõimsusega 6,5 kW. Selle inverteri maksimaalne efektiivsus on 98,3 % ja öine tarbimine vähem kui 1,5 W.

Allolev pilt näitab, kuidas meie süsteem välja näeb.



Joonis 3.1.4. Päikeseelektrijaama tootmise skeem [39]

3.2. Majanduslikud arvutused

Päikeseelektrijaama maksumust arvestatakse tavaliselt suhtena – mitu eurot (€) kulub ühe vati (W) tootmisvõimsuse paigaldamiseks ehk €/W. Selle kujunemist mõjutavad järgmised faktorid:

- Päikeseelektrijaama suurus (mida rohkem kW, seda väiksem €/W);
- Paigaldise asukoht (maapind, fassaad, lame- või viilkatus);
- Katusele paigaldades katuse materjal (kivi, plekk, bituumen jt);

Süsteem on valitud, nüüd peab vaatama, kui palju see kõik maksab.

3.2.1. Baasvariant

Üks päikesepaneel AmeriSolar AS-6P30 270W Poly maksab 120 EUR, see tähendab, et kokku päikesepaneelide eest tuleb maksma $120 \times 25 = 3000$ EUR.

Inverter mida kasutame maksab 1545 EUR.

Mõned ettevõtted pakuvad oma teenuseid päikesepaneelide paigaldamiseks, maksumus on ligikaudu 1400 EUR. See hind sisaldab kinnitused kivikatusele, kaablid, elektritarvikud, elektrikilp, transport, paigaldus (paneelikinnituste, paneelide, inverteri ja kaablite paigaldus), häälestus, mehhanismide rent .

Samuti tegelevad nad ka mikrotootja liitumistaotluse ettevalmistamisega, teevad elektripaigaldise vastavusakti mõõdistused ja kooskõlastamise Elektrileviga. Sellise teenuse eest tuleb tasuda umbes EUR 500.

Seega saadakse kogusumma umbes 6500 EUR.

On alati oht, et midagi läheb valesti. Meie puhul peamiseks probleemiks võib olla pikk tasuvusaeg, mis võib isegi ületada seadmete eluiga või taastuvenergiatoetuse vähenemine. Praegu kehtivat toetussüsteemi muudetakse ja on kahtlust arvata, et toetust vähendatakse tulevikus veelgi.

Riskid ja võimalused päikesepaneelide paigaldamiseks võivad olla järgmised:

Tabel 3.2.1.1 Päikeseenergia riskid ja võimalused

Riskid:	Võimalused:
Elektrienergia hinnatõus.	Tihe konkurents
Probleemid laenu maksmisega (kui seda osutub vajalikuks)	Suurendada alternatiivsete energiaallikate kasutamise osakaalu
Pikk tasuvusaeg	Arendada innovatiivset tehnoloogiat
Taastuvenergia toetuse vähenemine	Säästa raha
Seadmete vigastus (hooldus)	CO2 emissiooni vähendamine

3.2.2. Tasuvusanalüüs

Proovime kaaluda nelja võimalust.

Esimene: Süsteemi maksumus 6500 EUR, aastane tootlikkus 6230 kWh (teoreetiline PVGisist).

Teine: Süsteemi maksumus 4550 EUR (30% kogusummast maksab Kredex) ja aastane tootlikkus 5580 kWh (Eestis olemasolevate päikeseelektrijaamade andmete alusel).

Kolmas: Süsteemi maksumus 6500 EUR ja aastane tootlikkus 5580 kWh (Eestis olemasolevate päikeseelektrijaamade andmete alusel).

Neljas: Sellisel juhul on kogu süsteemi hind 4550 EUR ja toodab jaam aastas umbes 6230 kWh

Järgmised andmed on samad kõigile variandile:

Järgmised andmed on samad mõlemale variandile:

Ööpäeva elektri hind on 0,051 EUR/kWh.

Võrgutasu on 0,0346 EUR/kWh.

Taastuvenergia tasu on 0,0124 EUR/kWh.

Eeldatav elektri hinnatõus on 3% aastas ja eeldatav võrgutasu hinnatõus on ka 3% aastas.

Elektriaktsiis on 0,0054 EUR/kWh.

Toodetud elektrimüügi hind on 0,039 EUR/kWh. Toodetud elektrimüügi hind sõltub sellest, kui palju igal tunnil elektrit võrku müüakse ning milline on sellel tunnil kehtiv börsihind. Hulgituru tunnihindu saab vaadata Nord Pooli lehel. Peab meeles pidama, et elektri hulgihind ei sisalda käibemaksu.

Igale variandi arvutustel on võetud arvesse, et kohapeal tarbitakse 60% päikeseelektrijaamast toodetud energiat ja ülejäänud 40% müüakse võrku.

Variant number 1.

Sellisel juhul on kogu süsteemi hind 6500 EUR ja toodab jaam aastas umbes 6230 kWh.

Tabel 3.2.2.1 Tasuvusaeg Variant 1

Aasta	Elektri hind eur/kWh Hinnatõusu %	Võrgutasu eur/kWh Hinnatõusu %	Taastuvenergia-tasu	Aktsiis	Elektri ostuhind kokku €/kWh	Tarbitud taastuvenergia-tulev kokkuvõid	Toodetud elektri müügihind	Taastuvenergia toetus	Tootmise eest saadav tulu €/kWh	Müüdnud taastuvenergia-tulev saadav tulu	Kokkuvõid ja tulu kokku	Tasuvus	Aastad
2018	0,0510	0,0346	0,0124	0,0054	0,103 €		0,0390 €	0,0537 €	0,093 €				
2019	0,0525	0,0356	0,0124	0,0054	0,106 €	396 €	0,0405 €	0,0537 €	0,094 €	235 €	631 €	631 €	1
2020	0,0541	0,0367	0,0124	0,0054	0,109 €	406 €	0,0421 €	0,0537 €	0,096 €	239 €	645 €	1 275 €	2
2021	0,0557	0,0378	0,0124	0,0054	0,111 €	416 €	0,0437 €	0,0537 €	0,097 €	243 €	659 €	1 934 €	3
2022	0,0574	0,0389	0,0124	0,0054	0,114 €	427 €	0,0454 €	0,0537 €	0,099 €	247 €	674 €	2 608 €	4
2023	0,0591	0,0401	0,0124	0,0054	0,117 €	437 €	0,0472 €	0,0537 €	0,101 €	251 €	689 €	3 297 €	5
2024	0,0609	0,0413	0,0124	0,0054	0,120 €	448 €	0,0491 €	0,0537 €	0,103 €	256 €	705 €	4 001 €	6
2025	0,0627	0,0426	0,0124	0,0054	0,123 €	460 €	0,0510 €	0,0537 €	0,105 €	261 €	721 €	4 722 €	7
2026	0,0646	0,0438	0,0124	0,0054	0,126 €	472 €	0,0530 €	0,0537 €	0,107 €	266 €	738 €	5 459 €	8
2027	0,0665	0,0451	0,0124	0,0054	0,129 €	484 €	0,0550 €	0,0537 €	0,109 €	271 €	755 €	6 214 €	9
2028	0,0685	0,0465	0,0124	0,0054	0,133 €	496 €	0,0572 €	0,0537 €	0,111 €	276 €	773 €	6 987 €	10
2029	0,0706	0,0479	0,0124	0,0054	0,136 €	509 €	0,0594 €	0,0537 €	0,113 €	282 €	791 €	7 778 €	11
2030	0,0727	0,0493	0,0124	0,0054	0,140 €	523 €	0,0617 €	0,0537 €	0,115 €	288 €	810 €	8 588 €	12
2031	0,0749	0,0508	0,0124	0,0054	0,143 €	536 €	0,0641 €		0,064 €	160 €	696 €	9 284 €	13
2032	0,0771	0,0523	0,0124	0,0054	0,147 €	550 €	0,0666 €		0,067 €	166 €	716 €	10 001 €	14
2033	0,0795	0,0539	0,0124	0,0054	0,151 €	565 €	0,0692 €		0,069 €	173 €	737 €	10 738 €	15
2034	0,0818	0,0555	0,0124	0,0054	0,155 €	580 €	0,0719 €		0,072 €	179 €	759 €	11 497 €	16
2035	0,0843	0,0572	0,0124	0,0054	0,159 €	595 €	0,0747 €		0,075 €	186 €	781 €	12 279 €	17
2036	0,0868	0,0589	0,0124	0,0054	0,163 €	611 €	0,0777 €		0,078 €	194 €	805 €	13 084 €	18
2037	0,0894	0,0607	0,0124	0,0054	0,168 €	627 €	0,0807 €		0,081 €	201 €	829 €	13 912 €	19
2038	0,0921	0,0625	0,0124	0,0054	0,172 €	644 €	0,0838 €		0,084 €	209 €	853 €	14 765 €	20
2039	0,0949	0,0644	0,0124	0,0054	0,177 €	662 €	0,0871 €		0,087 €	217 €	879 €	15 644 €	21
2040	0,0977	0,0663	0,0124	0,0054	0,182 €	679 €	0,0905 €		0,090 €	226 €	905 €	16 549 €	22
2041	0,1007	0,0683	0,0124	0,0054	0,187 €	698 €	0,0940 €		0,094 €	234 €	932 €	17 481 €	23
2042	0,1037	0,0703	0,0124	0,0054	0,192 €	717 €	0,0977 €		0,098 €	243 €	960 €	18 441 €	24
2043	0,1068	0,0724	0,0124	0,0054	0,197 €	736 €	0,1015 €		0,101 €	253 €	989 €	19 431 €	25

Selle päikeseelektrijaama maksumuse ja toodetud energia kogusega tasub kogu süsteem 9 aasta pärast. Juba esimesel aastal saame kasu 235 eurost elektrienergia müügist ja võrgust elektritarbimise vähendamise tõttu säästame peaaegu 400 eurot aastas. Esimesel aastal prognoositud kokkuvõid on ligikaudu 630 eurot.

Lõppkokkuvõttes säästame 25 aasta jooksul peaaegu 19 500 eurot.

Variant.2

Sellisel juhul on kogu süsteemi hind 4550 EUR ja toodab jaam aastas umbes 5580 kWh.

Tabel 3.2.2.2 Tasuvusaeg Variant 2

Aasta	Elektri hind eur/kWh Hinnatõusu %	Võrgutasu eur/kWh Hinnatõusu %	Taastuv-energia-tasu	Aktsiis	Elektri ostuhind kokku €/kWh	Tarbitud taastuv-energiast tulev kokkuhoid	Toodetud elektri müüghind	Taastuv-energia toetus	Tootmise eest saadav tulu €/kWh	Müüdnud taastuv-energiast saadav tulu	Kokkuhoid ja tulu kokku	Tasuvus	Aastad
2018	0,0510	0,0346	0,0124	0,0054	0,103 €		0,0390 €	0,0537 €	0,093 €				
2019	0,0525	0,0356	0,0124	0,0054	0,106 €	355 €	0,0405 €	0,0537 €	0,094 €	210 €	565 €	565 €	1
2020	0,0541	0,0367	0,0124	0,0054	0,109 €	364 €	0,0421 €	0,0537 €	0,096 €	214 €	577 €	1 142 €	2
2021	0,0557	0,0378	0,0124	0,0054	0,111 €	373 €	0,0437 €	0,0537 €	0,097 €	217 €	590 €	1 732 €	3
2022	0,0574	0,0389	0,0124	0,0054	0,114 €	382 €	0,0454 €	0,0537 €	0,099 €	221 €	603 €	2 336 €	4
2023	0,0591	0,0401	0,0124	0,0054	0,117 €	392 €	0,0472 €	0,0537 €	0,101 €	225 €	617 €	2 953 €	5
2024	0,0609	0,0413	0,0124	0,0054	0,120 €	402 €	0,0491 €	0,0537 €	0,103 €	229 €	631 €	3 584 €	6
2025	0,0627	0,0426	0,0124	0,0054	0,123 €	412 €	0,0510 €	0,0537 €	0,105 €	234 €	646 €	4 229 €	7
2026	0,0646	0,0438	0,0124	0,0054	0,126 €	423 €	0,0530 €	0,0537 €	0,107 €	238 €	661 €	4 890 €	8
2027	0,0665	0,0451	0,0124	0,0054	0,129 €	433 €	0,0550 €	0,0537 €	0,109 €	243 €	676 €	5 566 €	9
2028	0,0685	0,0465	0,0124	0,0054	0,133 €	445 €	0,0572 €	0,0537 €	0,111 €	247 €	692 €	6 258 €	10
2029	0,0706	0,0479	0,0124	0,0054	0,136 €	456 €	0,0594 €	0,0537 €	0,113 €	252 €	709 €	6 967 €	11
2030	0,0727	0,0493	0,0124	0,0054	0,140 €	468 €	0,0617 €	0,0537 €	0,115 €	258 €	726 €	7 692 €	12
2031	0,0749	0,0508	0,0124	0,0054	0,143 €	480 €	0,0641 €		0,064 €	143 €	623 €	8 316 €	13
2032	0,0771	0,0523	0,0124	0,0054	0,147 €	493 €	0,0666 €		0,067 €	149 €	642 €	8 957 €	14
2033	0,0795	0,0539	0,0124	0,0054	0,151 €	506 €	0,0692 €		0,069 €	155 €	660 €	9 618 €	15
2034	0,0818	0,0555	0,0124	0,0054	0,155 €	519 €	0,0719 €		0,072 €	161 €	680 €	10 298 €	16
2035	0,0843	0,0572	0,0124	0,0054	0,159 €	533 €	0,0747 €		0,075 €	167 €	700 €	10 998 €	17
2036	0,0868	0,0589	0,0124	0,0054	0,163 €	547 €	0,0777 €		0,078 €	173 €	721 €	11 718 €	18
2037	0,0894	0,0607	0,0124	0,0054	0,168 €	562 €	0,0807 €		0,081 €	180 €	742 €	12 461 €	19
2038	0,0921	0,0625	0,0124	0,0054	0,172 €	577 €	0,0838 €		0,084 €	187 €	764 €	13 225 €	20
2039	0,0949	0,0644	0,0124	0,0054	0,177 €	593 €	0,0871 €		0,087 €	194 €	787 €	14 012 €	21
2040	0,0977	0,0663	0,0124	0,0054	0,182 €	609 €	0,0905 €		0,090 €	202 €	811 €	14 822 €	22
2041	0,1007	0,0683	0,0124	0,0054	0,187 €	625 €	0,0940 €		0,094 €	210 €	835 €	15 657 €	23
2042	0,1037	0,0703	0,0124	0,0054	0,192 €	642 €	0,0977 €		0,098 €	218 €	850 €	16 517 €	24
2043	0,1068	0,0724	0,0124	0,0054	0,197 €	660 €	0,1015 €		0,101 €	227 €	886 €	17 403 €	25

Juhtum kui meie eest makstakse 30 protsenti kogusummast ja jaamade toodang on lähedane tõelisele, annab see tulemuse, et kogu süsteem tasub ära 7 aastaga, see on väga hea tulemus.

Kui võrrelda eelmise variandi tulemusega, siis 25 aastaga säästab see süsteem 2000 eurot vähem ehk 17 400 eurot.

Variant 3.

Sellisel juhul on kogu süsteemi hind 6500 EUR ja toodab jaam aastas umbes 5580 kWh.

Tabel 3.2.2.3 Tasuvusaeg Variant 3

Aasta	Elektri hind eur/kWh Hinnatõusu %	Võrgutasu eur/kWh Hinnatõusu %	Taastuv-energia-tasu	Aktsiis	Elektri ostuhind kokku €/kWh	Tarbitud taastuv-energiast tulev kokkuhoid	Toodetud elektri müüghind	Taastuv-energia toetus	Tootmise eest saadav tulu €/kWh	Müüdnud taastuv-energiast saadav tulu	Kokkuhoid ja tulu kokku	Tasuvus	Aastad
2018	0,0510	0,0346	0,0124	0,0054	0,103 €		0,0390 €	0,0537 €	0,093 €				
2019	0,0525	0,0356	0,0124	0,0054	0,106 €	355 €	0,0405 €	0,0537 €	0,094 €	210 €	565 €	565 €	1
2020	0,0541	0,0367	0,0124	0,0054	0,109 €	364 €	0,0421 €	0,0537 €	0,096 €	214 €	577 €	1 142 €	2
2021	0,0557	0,0378	0,0124	0,0054	0,111 €	373 €	0,0437 €	0,0537 €	0,097 €	217 €	590 €	1 732 €	3
2022	0,0574	0,0389	0,0124	0,0054	0,114 €	382 €	0,0454 €	0,0537 €	0,099 €	221 €	603 €	2 336 €	4
2023	0,0591	0,0401	0,0124	0,0054	0,117 €	392 €	0,0472 €	0,0537 €	0,101 €	225 €	617 €	2 953 €	5
2024	0,0609	0,0413	0,0124	0,0054	0,120 €	402 €	0,0491 €	0,0537 €	0,103 €	229 €	631 €	3 584 €	6
2025	0,0627	0,0426	0,0124	0,0054	0,123 €	412 €	0,0510 €	0,0537 €	0,105 €	234 €	646 €	4 229 €	7
2026	0,0646	0,0438	0,0124	0,0054	0,126 €	423 €	0,0530 €	0,0537 €	0,107 €	238 €	661 €	4 890 €	8
2027	0,0665	0,0451	0,0124	0,0054	0,129 €	433 €	0,0550 €	0,0537 €	0,109 €	243 €	676 €	5 566 €	9
2028	0,0685	0,0465	0,0124	0,0054	0,133 €	445 €	0,0572 €	0,0537 €	0,111 €	247 €	692 €	6 258 €	10
2029	0,0706	0,0479	0,0124	0,0054	0,136 €	456 €	0,0594 €	0,0537 €	0,113 €	252 €	709 €	6 967 €	11
2030	0,0727	0,0493	0,0124	0,0054	0,140 €	468 €	0,0617 €	0,0537 €	0,115 €	258 €	726 €	7 692 €	12
2031	0,0749	0,0508	0,0124	0,0054	0,143 €	480 €	0,0641 €		0,064 €	143 €	623 €	8 316 €	13
2032	0,0771	0,0523	0,0124	0,0054	0,147 €	493 €	0,0666 €		0,067 €	149 €	642 €	8 957 €	14
2033	0,0795	0,0539	0,0124	0,0054	0,151 €	506 €	0,0692 €		0,069 €	155 €	660 €	9 618 €	15
2034	0,0818	0,0555	0,0124	0,0054	0,155 €	519 €	0,0719 €		0,072 €	161 €	680 €	10 298 €	16
2035	0,0843	0,0572	0,0124	0,0054	0,159 €	533 €	0,0747 €		0,075 €	167 €	700 €	10 998 €	17
2036	0,0868	0,0589	0,0124	0,0054	0,163 €	547 €	0,0777 €		0,078 €	173 €	721 €	11 718 €	18
2037	0,0894	0,0607	0,0124	0,0054	0,168 €	562 €	0,0807 €		0,081 €	180 €	742 €	12 461 €	19
2038	0,0921	0,0625	0,0124	0,0054	0,172 €	577 €	0,0838 €		0,084 €	187 €	764 €	13 225 €	20
2039	0,0949	0,0644	0,0124	0,0054	0,177 €	593 €	0,0871 €		0,087 €	194 €	787 €	14 012 €	21
2040	0,0977	0,0663	0,0124	0,0054	0,182 €	609 €	0,0905 €		0,090 €	202 €	811 €	14 822 €	22
2041	0,1007	0,0683	0,0124	0,0054	0,187 €	625 €	0,0940 €		0,094 €	210 €	835 €	15 657 €	23
2042	0,1037	0,0703	0,0124	0,0054	0,192 €	642 €	0,0977 €		0,098 €	218 €	860 €	16 517 €	24
2043	0,1068	0,0724	0,0124	0,0054	0,197 €	660 €	0,1015 €		0,101 €	227 €	886 €	17 403 €	25

Selles versioonis on sama toodetud energia kogus nagu eelmises variandis, kuid maksame terve summa ise. See on neljast sündmustest kõige reaalsema tulemuse lähedane. Esimesel aastal on meie säästnud 80 eurot vähem kui versioonis number üks. Nagu ka variandis 2, summa, mille me suudame säästa on 17 400 tuhat eurot. Sellise päikeselektrijaama tasuvusaeg on 10 aastat.

Variant 4.

Sellisel juhul on kogu süsteemi hind 4550 EUR ja toodab jaam aastas umbes 6230 kWh

Tabel 3.2.2.4 Tasuvusaeg Variant 4

Aasta	Elektri hind eur/kWh Hinnatõusu %	Võrgutasu eur/kWh Hinnatõusu %	Taastuv-energia-tasu	Aktsiis	Elektri ostuhind kokku €/kWh	Tarbitud taastuv-energiast tulev kokkuhoid	Toodetud elektri müüghind	Taastuv-energia toetus	Tootmise eest saadav tulu €/kWh	Müüdnud taastuv-energiast saadav tulu	Kokkuhoid ja tulu kokku	Tasuvus	Aastad
2018	0,0510	0,0346	0,0124	0,0054	0,103 €		0,0390 €	0,0537 €	0,093 €				
2019	0,0525	0,0356	0,0124	0,0054	0,106 €	396 €	0,0405 €	0,0537 €	0,094 €	235 €	631 €	631 €	1
2020	0,0541	0,0367	0,0124	0,0054	0,109 €	406 €	0,0421 €	0,0537 €	0,096 €	239 €	645 €	1 275 €	2
2021	0,0557	0,0378	0,0124	0,0054	0,111 €	416 €	0,0437 €	0,0537 €	0,097 €	243 €	659 €	1 934 €	3
2022	0,0574	0,0389	0,0124	0,0054	0,114 €	427 €	0,0454 €	0,0537 €	0,099 €	247 €	674 €	2 608 €	4
2023	0,0591	0,0401	0,0124	0,0054	0,117 €	437 €	0,0472 €	0,0537 €	0,101 €	251 €	689 €	3 297 €	5
2024	0,0609	0,0413	0,0124	0,0054	0,120 €	448 €	0,0491 €	0,0537 €	0,103 €	256 €	705 €	4 001 €	6
2025	0,0627	0,0426	0,0124	0,0054	0,123 €	460 €	0,0510 €	0,0537 €	0,105 €	261 €	721 €	4 722 €	7
2026	0,0646	0,0438	0,0124	0,0054	0,126 €	472 €	0,0530 €	0,0537 €	0,107 €	266 €	738 €	5 459 €	8
2027	0,0665	0,0451	0,0124	0,0054	0,129 €	484 €	0,0550 €	0,0537 €	0,109 €	271 €	755 €	6 214 €	9
2028	0,0685	0,0465	0,0124	0,0054	0,133 €	496 €	0,0572 €	0,0537 €	0,111 €	276 €	773 €	6 987 €	10
2029	0,0706	0,0479	0,0124	0,0054	0,136 €	509 €	0,0594 €	0,0537 €	0,113 €	282 €	791 €	7 778 €	11
2030	0,0727	0,0493	0,0124	0,0054	0,140 €	523 €	0,0617 €	0,0537 €	0,115 €	288 €	810 €	8 588 €	12
2031	0,0749	0,0508	0,0124	0,0054	0,143 €	536 €	0,0641 €		0,064 €	160 €	696 €	9 284 €	13
2032	0,0771	0,0525	0,0124	0,0054	0,147 €	550 €	0,0666 €		0,067 €	166 €	716 €	10 001 €	14
2033	0,0795	0,0539	0,0124	0,0054	0,151 €	565 €	0,0692 €		0,069 €	173 €	737 €	10 738 €	15
2034	0,0818	0,0555	0,0124	0,0054	0,155 €	580 €	0,0719 €		0,072 €	179 €	759 €	11 497 €	16
2035	0,0843	0,0572	0,0124	0,0054	0,159 €	595 €	0,0747 €		0,075 €	186 €	781 €	12 279 €	17
2036	0,0868	0,0589	0,0124	0,0054	0,163 €	611 €	0,0777 €		0,078 €	194 €	805 €	13 084 €	18
2037	0,0894	0,0607	0,0124	0,0054	0,168 €	627 €	0,0807 €		0,081 €	201 €	829 €	13 912 €	19
2038	0,0921	0,0625	0,0124	0,0054	0,172 €	644 €	0,0838 €		0,084 €	209 €	853 €	14 765 €	20
2039	0,0949	0,0644	0,0124	0,0054	0,177 €	662 €	0,0871 €		0,087 €	217 €	879 €	15 644 €	21
2040	0,0977	0,0663	0,0124	0,0054	0,182 €	679 €	0,0905 €		0,090 €	226 €	905 €	16 549 €	22
2041	0,1007	0,0683	0,0124	0,0054	0,187 €	698 €	0,0940 €		0,094 €	234 €	932 €	17 481 €	23
2042	0,1037	0,0703	0,0124	0,0054	0,192 €	717 €	0,0977 €		0,098 €	243 €	960 €	18 441 €	24
2043	0,1068	0,0724	0,0124	0,0054	0,197 €	736 €	0,1015 €		0,101 €	253 €	989 €	19 431 €	25

See on viimane variant, kui meil on suurim toodang ja paigaldamise eest tuleb kõige vähem maksma. Selle pärast tasub see jaam kõige kiiremini ära, see võtab aega 6 aastat.

4. Tulemuste analüüs ja diskussioon

Allpoololevas tabelis näeme neli varianti maja katusel olevaid päikesepaneele tasuvust. Erinevus seisneb toodetud energia koguses ja süsteemi maksumuses.

Tabelist on näha, et kõige kiirem tasuvusaeg on süsteemil number 4, kuna see maksab vähem aga energiat toodab rohkem. Kuid see võimalus on ebatõenäoline, kuna meie riigis on ilmastikutingimused väga muutlikud ja on väga kaheldav, et igapäev on päikesepaisteline ilm. Aga kui see nii oleks, siis jõuab päikeseelektrijaam sellise tingimusega 6 aasta pärast enda ära tasuda ja keskmiselt säästaks umbes 780 eurot aastas.

Tabel 4.1. Tasuvusaja erinevus

Aasta	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
1	631 €	565 €	565 €	631 €
2	1 275 €	1 142 €	1 142 €	1 275 €
3	1 934 €	1 732 €	1 732 €	1 934 €
4	2 608 €	2 336 €	2 336 €	2 608 €
5	3 297 €	2 953 €	2 953 €	3 297 €
6	4 001 €	3 584 €	3 584 €	4 001 €
7	4 722 €	4 229 €	4 229 €	4 722 €
8	5 459 €	4 890 €	4 890 €	5 459 €
9	6 214 €	5 566 €	5 566 €	6 214 €
10	6 987 €	6 258 €	6 258 €	6 987 €
11	7 778 €	6 967 €	6 967 €	7 778 €
12	8 588 €	7 692 €	7 692 €	8 588 €
13	9 284 €	8 316 €	8 316 €	9 284 €
14	10 001 €	8 957 €	8 957 €	10 001 €
15	10 738 €	9 618 €	9 618 €	10 738 €
16	11 497 €	10 298 €	10 298 €	11 497 €
17	12 279 €	10 998 €	10 998 €	12 279 €
18	13 084 €	11 718 €	11 718 €	13 084 €
19	13 912 €	12 461 €	12 461 €	13 912 €
20	14 765 €	13 225 €	13 225 €	14 765 €
21	15 644 €	14 012 €	14 012 €	15 644 €
22	16 549 €	14 822 €	14 822 €	16 549 €
23	17 481 €	15 657 €	15 657 €	17 481 €
24	18 441 €	16 517 €	16 517 €	18 441 €
25	19 431 €	17 403 €	17 403 €	19 431 €

Kaalume ka varianti, kus me peame maksma terve summa ja aastane toodang on maksimaalselt realistlik. Sellisel juhul tasub meie süsteem 10 aasta jooksul ära, mis on tegelikult hea tulemus. Vastupidiselt eelmisele versioonile on aasta keskmine kokkuhoid 90 euro võrra väiksem ehk 690 eurot.

Ühesõnaga võime öelda, et sellise päikeseelektrijaama tasuvusaeg on 6-10 aastat, mis on iseenesest kasumlik projekt.

Sellest võib järeldada, et päikesepaneel tasub iseenesest igal juhul ära. Ainus küsimus on, kui kiiresti see juhtub, pikaajalise prognoosi koostamine on väga raske, sest keegi ei suuda täna täpselt välja selgitada, kuidas elektrienergia hinnad kasvavad ja milline ilm on järgmise kümme aasta jooksul.

Kaalume ka ideed, kuidas soojuspump võib töötada päikesepaneelide energiaga.

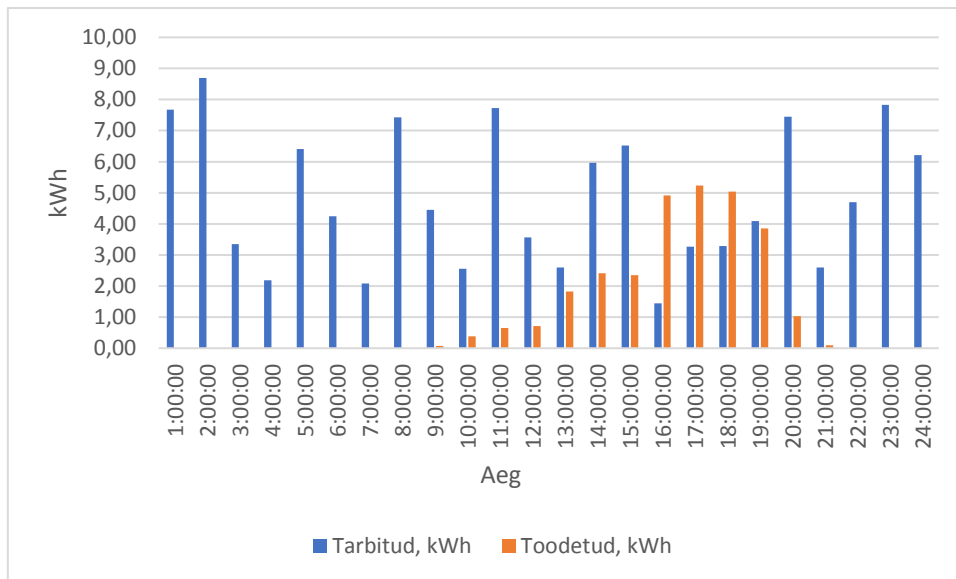
Tänapäeval kasutatakse soojuspumpasid mitmesugustes elamutes. Neid saab kasutada keskküttesüsteemides kodude kütmiseks ja jahutamiseks. Neid kasutatakse väikeste ruumide jaoks ja isegi basseinide soojendamiseks.

Kuna soojuspumbad on elektrilised, siis neile sobivad ideaalselt päikesepaneelid. Kui on paigaldatud soojuspumbad, saab kasutada päikeseenergiat, tänu millele on võimalik kütta ja jahutada majapidamist ning soojendada tarbevett. Küttesüsteemi, kus kasutatakse koos soojuspumpa ja päikeseenergiat, on väga tõhus süsinikuvaba mudel, mis ei sõltu fossiilkütustest. Suureks plussiks on see, et iga kulutatud 1 kWh kohta toodab soojuspump keskmiselt 3,5-4 kWh soojusenergiat tagasi (sõltub soojuspumba soojustegurist).

Paljud eksperdid usuvad, et elamute energia tulevik on fotogalvaanilistest kohtadest toodetud elektrienergia (PV päikeseenergia), kombineeritud soojuspumpade tehnoloogiaga ja päikesepaneelidega. See on kodumajapidamises kasutatav süsinikuvaba pikaajaline lahendus.

Kogu süsteem tundub väga tulutoov, sest pumba sisselülitamiseks ei ole vaja kasutada võrku vajaliku energia saab päikesepaneelidest.

Päikeseenergia ja soojuspumba kombinatsiooni suureks probleemiks on see, et päikesepaneelid toodavad suhteliselt väikest hulka elektrit just sellel hetkel, mil meie kütte- ja kuuma vee nõudlus on kõige suuremad. Ning perioodil, mil nõudlus on väiksem, toodab PV üleliigset energiat. Kahjuks ma ei saanud pumba energiatarbe kohta andmeid, seega saan teha järeldusi 18. aprillil kogutud andmete põhjal, mis on välja toodud allolevas graafikus.



Joonis 4.1. Tarbitud ja toodetud energia ühe päeva jooksul

Näeme, et meie päikeseelektrijaam hakkab tootma energiat juba kell 9.00 hommikul. Kuid 4 tunni jooksul toodab see ainult 1,8 kWh. Ajavahemikus 16.00-19.00 on energia tootmine suurem kui tarbimine. Selle kolme tunni jooksul energia ülejääk on 7,2 kWh. Nagu näeme, on tarbimine väga muutlik, kuid peamine tarbimine toimub öösel, kui välistemperatuur on madalam. Kuna mõõtmise tegemise päeval oli temperatuur 3 kraadi, võib järeldada, et just sellel ajal töötas pump. Sellest tulenevalt võib järeldada, et üleliigne päikesepaneelidest saadud energia läheb raisku, kuna see ei lähe koheselt soojuspumpa töösse.

Samas on võimalik süsteemi optimeerida. Näitena võib tuua olukorra, kus soojuspump kasutab päikesepaneelidest saadud energiat ja soojendab jahutusvedelikku. Selle tulemusena ruumis temperatuur tõuseb (näiteks 20lt kraadilt 23ni), mistõttu öösel ja järgmisel päeval ei ole vaja soojuspumpa sisse lülitada ja tänu sellele ei ole vaja võrgust elektrit võtta. Kuid see võimalus töötab harva, sest küttekuudel päikesepaneelid annavad väga vähe energiat. Selgub, et kõige ökonoomsem viis on kasutada soojuspumpa öösel, kui töötab öötariif.

Lõputöö kokkuvõte

Inimkond on õppinud päikeseenergiat kasutama mitte ainult looduslikes tingimustes, vaid ka mitmesuguste tööstusharude arengu huvides. Päikeseenergia kasutamisel on võimalik mitte ainult teed valgustada või fotosünteesi alustada, vaid ka majade soojendamiseks ja päikeseenergia muutmiseks elektrienergiaks. Nende suundade rakendamiseks on olemas päikesepaneelid, päikesekollektorid, mis aitavad Päikese energiat otsekohe ära kasutada.

Selle töö peamiseks eesmärgiks oli välja selgitada, kas on hea mõte paigaldada päikesepaneelid konkreetse maja katusele. Töö koosnes kolmest osast.

Esimeses osas oli räägitud rohkem päikesepaneelide ajaloost, päikesepaneelide tüüpidest ja sellest, millised riigid kasutavad rohkem päikeseenergiat. Samuti oli ka käsitletud selle energiasektori arengu teema, kõik kasutuse eelised ja puudused.

Teine osa oli uuritavast objektist. Oli näidatud kui palju elektrit selles majas kulutatakse, oli mainitud, et selles majas kasutatakse maakütet mis aitab säästa küttekulusid ja võrreldud oli majaga kus kasutatakse elektriboilerit.

Kolmas osa koosnes projektist, kõikidest tehnilistest ja majanduslikest näitajatest.

Töö oli rohkem teoreetiline, seega ei saa ma täiesti kindlalt öelda, et tasuvusaeg on täpselt see, mis selgus, aga oli tehtud kõik vajalik, et see projekt oleks võimalikult realistlik. Kogu süsteemi maksumuse arvutamisel ma ei võtnud arvesse hoolduskulusid päikesepaneelide töö ajal, kuid mulle öeldi, et see ei ületa 100 eurot aastas. Samuti ei võtnud ma arvesse paneelide efektiivsuse kaotust kogu töötamise perioodi jooksul, kuid tootja lubab, et see ei ületa rohkem kui 10%.

Algusest peale otsustati, et kodus akusid ei kasuta, kuna akusid suurendavad projekti maksumust väga suurel määral. Optimaalne konfiguratsioon, kui on olemas tehnilised tingimused linnavõrguga ühendamiseks, sisaldavad ainult kahte komponenti: päikesepaneeli ja inverterit. See on teoreetiliselt piisav, et luua päikeseelektrijaam ja elada päikeseenergiaga. Inverter ise suudab korraldada voolu linna võrku. Kuna akusid me ei pane siis kogu projekt on 40-50% odavam, vastavalt sellele suureneb projekti tasuvusaeg märkimisväärselt.

Töö lõpptulemus on piisavalt hea, võttes arvesse kõik neli varianti siis tulemusena saame, et päikeseelektrijaam tasub 7-10 aastaga ära.

Päikesepaneelid on mõeldud aastakümneteks. Efektiivsuse kaotamine vanusega on tühine, peab lihtsalt neid puhastama kord aastas. Ka kõigi seadmete garantii on kümme aastat.

Tulevikus tulevad tõhusamad päikeseelemendid või usaldusväärsemad patareid. Maja ülekandmiseks päikeseenergiale on olemas juba valmiskomplektid, mis võimaldavad sellist projekti palju odavamalt ja kiiremini rakendada.

Töö käigus õppisin palju uut keskkonnamõjudest ja päikesepaneelide paigaldamise eeliste kohta. Loodan, et minu töö aitab inimesi, kes kahtlevad, kindlaks teha, kas paigaldada päikesepaneeli või mitte.

Olen kindel, et olen oma lõputöö eesmärgiga hakkama saanud.

Lisad

L.1. Lõputöö kokkuvõte (eesti keeles)

L.2. Summaray of the thesis (inglise keeles)

Kasutatud kirjandus

- [1] Päikesepaneelide tootmine [Võrgumaterjal] <https://smartecon.ee/paikesepaneelide-tootmine/> Vaadatud 10.04.2018.a.
- [2] Päikesepaneelide ostujuhis [Võrgumaterjal] <http://www.taastuenergia.ee/paikese-ja-tuuleenergia-alased-infomaterjalid/paikesepaneelide-ostujuhis/> Vaadatud 11.05.2018.a.
- [3] Päikesepaneelid ja päikesekollektorid [Võrgumaterjal] <http://www.xn--pikesektev2a4y.ee/artiklid/paikesepaneel-paikesekollektor> Vaadatud 08.05.2018.a.
- [4] PV paneelide tutvustus [Võrgumaterjal] <http://www.soojapood.ee/et/p/pv-paneelide-tutvustus-> Vaadatud 09.04.2018.a.
- [5] Päikesepaneel [Võrgumaterjal] <https://energiatalgud.ee/index.php?title=P%C3%A4ikesepaneel> Vaadatud 09.04.2018.a.
- [6] Solar timeline [Võrgumaterjal] https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf Vaadatud 09.04.2018.a.
- [7] Long history solaar PV [Võrgumaterjal] <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/01/long-history-solar-pv/> Vaadatud 10.04.2018.a.
- [8] Euroopa päikeseenergia turg kasvab 2017. aastal 28% [Võrgumaterjal] http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Media/090218_press_release_European_Solar_Market_Grows_28_in_2017.pdf Vaadatud 10.04.2018.a.
- [9] 98.9 GW päikeseenergiat installeeritud aastal 2017 [Võrgumaterjal] <https://www.pv-tech.org/news/global-solar-market-hit-98.9-gw-in-2017-solarpower-europe> Vaadatud 10.04.2018.a.
- [10] Päikesepaneelid on meie tulevikuenergia [Võrgumaterjal] <https://www.aripaev.ee/veebiraamat/2016/04/07/paikesepaneelid-on-meie-tulevikuenergia> Vaadatud 07.04.2018.a.
- [11] TEK aastaraamat 2016 [Võrgumaterjal] http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2017/06/TEK_aastaraamat_2016_A4_5mmBleed_31.05.2017-1.pdf Vaadatud 18.04.2018.a.

- [12] Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine pvgis [Võrgumaterjal] <http://www.taastuenergia.ee/paikese-ja-tuuleenergia-alased-infomaterjalid/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine-pvgis> Vaadatud 17.04.2018.a.
- [13] Riik toetab ettevõtteid päikesepaneelide soetamisel 1,4 miljoniga [Võrgumaterjal] <http://www.pealinn.ee/tagid/koik/riik-toetab-ettevotteid-paikesepaneelide-soetamisel-14-miljoniga-n217907> Vaadatud 07.05.2018.a.
- [14] Päikesepaneelide eelised ja puudused [Võrgumaterjal] <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/5-advantages-and-5-disadvantages-of-solar-energy> Vaadatud 07.04.2018.a.
- [15] Päikesepaneelide puudused [Võrgumaterjal] https://www.conserve-energy-future.com/disadvantages_solarenergy.php Vaadatud 08.04.2018.a.
- [16] The Dirty Side of a “Green” Industry [Võrgumaterjal] <http://www.worldwatch.org/node/5650> Vaadatud 09.04.2018.a.
- [17] Солнечная, но не зеленая [Võrgumaterjal] <http://www.odnako.org/magazine/material/solnechnaya-no-ne-zelenaya/> Vaadatud 10.04.2018.a.
- [18] Эскендер Б., Надежда Ф., „Экологическая характеристика работы солнечных и ветровых электростанций“ MOTROL, 2013, Vol 15, No 5, 145-150 Vaadatud 11.04.2018.a.
- [19] Eelised päikeseenergia kasutamiseks kodus [Võrgumaterjal] <http://www.ackliima.eu/et/n/eelised-paikeseenergia-kasutamiseks-kodus> Vaadatud 11.04.2018.a.
- [20] Päikeseelektrijaam 6.5 kW Pirital [Võrgumaterjal] <https://www.suntronic.com/en/page/paikeseelektrijaam-5500w-pirital> Vaadatud 30.04.2018.a.
- [21] Solar Energy Pros and Cons [Võrgumaterjal] <https://www.conserve-energy-future.com/pros-and-cons-of-solar-energy.php> Vaadatud 11.04.2018.a.
- [22] PV paneelide tehnilised andmed [Võrgumaterjal] <http://www.soojapood.ee/et/p/pv-paneelide-tehnilised-andmed> Vaadatud 17.04.2018.a.
- [23] Solar cell grading (A, B, C, D) [Võrgumaterjal] <http://sinovoltaics.com/quality-control/grading-of-solar-cells-a-b-c-d/> Vaadatud 13.04.2018.a.
- [24] Päikesepaneelide paigaldamise konstruktsioonide müük [Võrgumaterjal] http://paikesepaneel.ee/Web/Paikesepaneelide_konstruktsioonide_muuk Vaadatud 17.04.2018.a.

- [25] Parimita Mohanty, K. Rahul Sharma, Mukesh Gujar, Mohan Kolhe, Aimie Nazmin Azmi PV System Design for Off-Grid Applications (2015) Vaadatud 18.04.2018.a.
- [26] Päikeselektrijaamad [Võrgumaterjal] <https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/28239/pikeseelektrijaamad.html> Vaadatud 19.04.2018.a.
- [27] Meldorf M., Kilder J. TTÜ Elektroenergeetika instituut. Elektrisüsteem. Õppematerjal 2008 Vaadatud 10.05.2018.a.
- [28] Longyangxia Dam Solar Park in China is now the biggest solar farm in the world [Võrgumaterjal] <https://www.alternative-energies.net/longyangxia-dam-solar-park-in-china-is-now-the-biggest-solar-farm-in-the-world/> Vaadatud 11.04.2018.a.
- [29] Switch solar bag [Võrgumaterjal] <https://www.voltaicsystems.com/switch> Vaadatud 21.04.2018.a.
- [30] СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ BMS SOLAR ДЛЯ ЗЕЛЕННОГО ТАРИФА [Võrgumaterjal] <https://bmssolar.net/ru/spravochnik/17-ses.html> Vaadatud 12.05.2018.a.
- [31] Financial Modelling of PV Risks [Võrgumaterjal] http://www.solarbankability.org/fileadmin/sites/www/files/documents/D4.2_Report_on_Financial_Modelling_of_PV_Risks_SB-Final_160930.pdf Vaadatud 20.04.2018.a.
- [32] 3 главные ошибки при переходе на солнечную энергию [Võrgumaterjal] <https://rb.ru/story/3-mistakes-that-companies-make-when-going-solar/> Vaadatud 25.04.2018.a.
- [33] Geothermal Climate Systems [Võrgumaterjal] <http://teplonasos.ua/images/stories/grunt/systema/About%20Nibe%20model.pdf> Vaadatud 12.04.2018.a.
- [34] Global PV capacity is expected to reach 969GW by 2025 [Võrgumaterjal] <https://www.power-technology.com/comment/global-pv-capacity-expected-reach-969gw-2025/> Vaadatud 25.04.2018.a.
- [35] Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, René A.C.M.M. van Swaaij, Miro Zeman Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems (2014) Vaadatud 23.04.2018.a.

- [36] Päikeseenergia [Võrgumaterjal] <http://energiapartner.ee/paikeseenergia/> Vaadatud 22.04.2018.a.
- [37] The future of solar energy [Võrgumaterjal] <https://www.conserve-energy-future.com/future-solar-energy.php> Vaadatud 12.04.2018.a.
- [38] 6 innovations that shaping future soalr energy [Võrgumaterjal] <https://blueandgreentomorrow.com/energy/6-innovations-that-shaping-future-solar-energy/> Vaadatud 28.04.2018.a.
- [39] On-Grid [Võrgumaterjal] <http://www.tipsolar.ee/4-on-grid.html> Vaadatud 18.04.2018.a.
- [40] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика (2008) Vaadatud 02.05.2018
- [41] Japan Demoes Wireless Power Transmission for Space-Based Solar Farms [Võrgumaterjal] <https://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/solar/japan-demoes-wireless-power-transmission-for-spacebased-solar-farms> Vaadatud 28.04.2018.a.
- [42] Renewable Power Generation Costs in 2017 [Võrgumaterjal] https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf Vaadatud 12.04.2018.a.
- [43] Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG, Understanding Renewable Energy Systems (2005) Vaadatud 18.04.2018
- [44] Solar Impulse 2 Passes ‘Point Of No Return’ in Audacious Attempt to Cross the Pacific [Võrgumaterjal] <http://bgr.com/2015/06/29/solar-impulse-2-flight-across-pacific/> Vaadatud 27.04.2018.a.
- [45] A.H.M.E Reinders, V.A.P. van Dijk, E. Wiemken, W.C. Turkenburg, Technical and economic analysis of grid-connected PV systems by means of simulation (1999) Vaadatud 01.05.2018.a.
- [46] Päikeseenergia [Võrgumaterjal] <http://energiapartner.ee/paikeseenergia/> Vaadatud 29.04.2018.a.
- [47] Sissejuhatus energiatehnikasse [Võrgumaterjal] [https://energiatalgud.ee/img_auth.php/1/14/Risthein%2C E. Sissejuhatus energiatehnikasse. %C3%95ppematerjal2007.pdf](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/1/14/Risthein%2C%20E.%20Sissejuhatus%20energiatehnikasse.%20%C3%95ppematerjal2007.pdf) Vaadatud 13.04.2018.a.
- [48] Take a Look at the World's Largest Solar Thermal Farm [Võrgumaterjal] <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/take-a-look-at-the-worlds-largest-solar-thermal-farm-91577483/> Vaadatud 21.04.2018.a.

- [49] Keskkonnatehnika [Võrgumaterjal] https://keskkonnatehnika.ee/wp-content/uploads/2017/09/KKT_2012_05.pdf Vaadatud 23.04.2018.a.
- [50] Geotermaalelektrijaamad [Võrgumaterjal] <http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV3300/Energiatehnika5-2.pdf> Vaadatud 21.04.2018.a.
- [51] Biggest solar power plants [Võrgumaterjal] <https://meee-services.com/biggest-solar-power-plants/> Vaadatud 21.04.2018.a.
- [52] Võrguühendused [Võrgumaterjal] <http://energogen.ee/paikeseenergia/vorguuhendused/> Vaadatud 23.04.2018.a.
- [53] Amerisolar [Võrgumaterjal] <https://www.weamerisolar.eu/wp-content/uploads/2017/03/AS-6P30-Module-Specification.pdf> Vaadatud 01.05.2018.a.
- [54] Päikeseenergia [Võrgumaterjal] <https://vara.e-koolikott.ee/taxonomy/term/4034> Vaadatud 12.04.2018.a.
- [55] What happens to solar panels when they no longer work [Võrgumaterjal] <https://solarpowerrocks.com/solar-politics/happens-solar-panels-no-longer-work/> Vaadatud 04.04.2018.a.
- [56] Augustin Mouchot [Võrgumaterjal] https://en.wikipedia.org/wiki/Augustin_Mouchot Vaadatud 01.04.2018.a.
- [57] Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film [Võrgumaterjal] <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/> Vaadatud 25.04.2018.a.
- [58] Panorama, kliimamuutus [Võrgumaterjal] http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/panorama/pdf/mag31/mag31_et.pdf Vaadatud 12.04.2018.a.
- [59] Turnkey realization [Võrgumaterjal] <http://www.solartec.eu/en/small-installation/products-and-services/turnkey-realization> Vaadatud 27.04.2018.a.
- [60] Maasoojuspump ehk maakütte [Võrgumaterjal] <http://www.kliimaseade.ee/abiks-alla/espl/maasoojuspump-ehk-maakute/> Vaadatud 01.05.2018.a.
- [61] Päikeseelektrilist lihtsalt [Võrgumaterjal] <http://www.meiekodu.ee/paikeselektrist-lihtsalt/> Vaadatud 12.04.2018.a.
- [62] Onyx solar provides PV glass to the azurmendi restaurant [Võrgumaterjal] <https://www.fca-magazine.com/features/greenhouse/1135-onyx-solar-provides-photovoltaic-glass-to-the-azurmendi-restaurant> Vaadatud 12.04.2018.a.

- [63] Tiled roof [Võrgumaterjal] <http://www.intersol.eu/de/english/pitched-roof/tiled-roof/>
Vaadatud 21.04.2018.a.
- [64] Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine PVGIS andmebaasi abil
[Võrgumaterjal] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> Vaadatud
10.04.2018.a.