



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Tartu kolledž

# **PÄIKESEPARGI RAJAMINE INVESTEERINGU EESMÄRGIL**

## **STARTING A SOLAR PARK FOR INVESTMENT PURPOSES**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Keith Allikvee

Üliõpilaskood:: 192487NAEM

Juhendaja: Jane Raamets, lektor

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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.

“24” mai 2021

Autor: Keith Allikvee

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“24” mai 2021

Juhendaja: Jane Raamets

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“24” mai 2021

Kaitsmiskomisjoni esimees: Annely Kuu

/ allkirjastatud digitaalselt /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Keith Allikvee (sünnikuupäev: 22. juuni 1997 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Päikesepargi rajamine investeringu eesmärgil,

mille juhendaja on Jane Raamets,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

"24" mai 2021

/ allkirjastatud digitaalselt /

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Keith Allikvee, 192487NAEM (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: NAEM06/18, Tööstusökoloogia (kood ja nimetus)  
Juhendaja: Lektor, Jane Raamets, 6204806 (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Päikesepargi rajamine investeringu eesmärgil  
(inglise keeles) Starting a solar park for investment purposes

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Erapäikesepargi rajamise protsessi kajastamine
2. Erapäikesepargi tootlikkuse ja kasumlikkuse analüüs
3. Erapäikesepargi, kui investeringu kõrvutamise samaväärsete investeringutega

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Eelinfo kogumine (hankeinfo, prognoositav tootlikkus jne.)	Jaanuar 2021
2.	Kirjanduse ülevaate koostamine	Veebruar 2021
3.	Materjal-metoodika, töö andmetega, tulemused, arutelu	Aprill 2021
4.	Töö lõppversiooni viimistlemine	Mai 2021

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "24" mai 2021. a

**Üliõpilane:** Keith Allikvee "24" mai 2021 / allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Jane Raamets "24" mai 2021 / allkirjastatud digitaalselt /

**Programmijuht:** Annely Kuu "24" mai 2021 / allkirjastatud digitaalselt /

# SISUKORD

JOONISTE LOETELU .....	6
TABELITE LOETELU .....	7
EESSÕNA .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	10
1.1 Päikeseenergiast ja selle kasutamisest üldiselt.....	11
1.1.1 Fotogalvaanilised päikesepaneelid.....	14
1.1.2 Elektromagnetilise kiirguse muundamine soojusenergiaks .....	15
1.1.3 Päikeseenergia rakendamine veesoojendussüsteemides .....	16
1.1.4 Sulasoolaga päikeseenergiajaamad .....	17
1.1.5 Võrguvälised ( <i>Off-grid</i> ) päikeseenergia süsteemid .....	18
1.2 Fotogalvaaniliste elementide kasutamine päikeseenergia tootmisel.....	20
1.2.1 Esimese generatsiooni PV tehnoloogiad .....	22
1.2.2 Teise generatsiooni PV tehnoloogiad.....	23
1.2.3 Kolmanda generatsiooni PV tehnoloogiad .....	24
1.2.4 Ülevaade PV süsteemide maksumusest.....	25
1.3 Päikeseenergia kasutamine globaalselt ja selle potentsiaal Eestis .....	27
2 MATERJAL JA METOODIKA.....	33
2.1 Ülevaade hangete korraldamisest ja alusandmetest.....	33
2.2 Ülevaade päikesepargi planeeringust.....	34
2.3 Tasuvusanalüüs ja tootlusandmete võrdlus .....	35
2.4 Ülevaade riskidest ja võrdlus teiste investeerimise võimalustega .....	36
3 TULEMUSED JA ARUTELU .....	37
3.1 Saadud pakkumiste ülevaade ja võrdlus .....	37
3.2 Ülevaade päikesepargist.....	40
3.3 Tasuvusanalüüs ja tootlusandmete võrdlus .....	41
3.3.1 Tasuvusanalüüs ilma taastuvenergia toetuseta .....	43
3.4 Ülevaade riskidest ja võrdlus teiste investeerimise võimalustega .....	44
JÄRELDUSED .....	48
KOKKUVÕTE .....	51
SUMMARY .....	53
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	54

## JOONISTE LOETELU

JOONIS 1.1 PÄIKESEENERGIA RAKENDUMISE JAOTUS .....	12
JOONIS 1.2 PÄIKESEENERGIA KASUTAMISE VÕIMALUSED .....	12
JOONIS 1.3 PÄIKESEENERGIA JÕUL LIIKUV AUTO .....	14
JOONIS 1.4 PV PÄIKESEPARK UNGARIS .....	15
JOONIS 1.5 VEESOOJENDUS-SÜSTEEM KODUKASUTUSES .....	16
JOONIS 1.6 SOLAR TWO ENERGIASALVESTUSTORN .....	18
JOONIS 1.7 <i>OFF-GRID</i> JA <i>ON-GRID</i> SÜSTEEMIDE VÕRDLUS .....	19
JOONIS 1.8 VASAKUL <i>FULL-CELL</i> JA PAREMAL <i>HALF-CELL</i> .....	23
JOONIS 1.9 KONTSENTEERITUD PÄIKESEENERGIASÜSTEEM .....	25
JOONIS 1.10 BHADLA SOLAR PARK, INDIA .....	28
JOONIS 1.11 PÄRNU PÄIKESEPARGID .....	29
JOONIS 1.12 RAADI LENNUVÄLJA ALADELE RAJATAV PÄIKESEPARK .....	30
JOONIS 1.13 MÄRJAMAA PÄIKESEPARK .....	31
JOONIS 1.14 SOLARFUND OÜ LAHENDUSE IDEE .....	32
JOONIS 2.1 PÄIKESEPARGI PAIKNEMISE PLAAN .....	34
JOONIS 3.1 UURIMUSE ALUSEKS OLEV PÄIKESEPARK VALMIMISJÄRGSILT .....	41
JOONIS 3.2 PROGNOOSITUD TOOTLUSANDMETE JA REAALSETE TOOTLUSANDMETE VÕRDLUS VAADELDAVAL PERIOODIL KUUDE LÖIKES .....	42

## TABELITE LOETELU

TABEL 3.1 50 kW VÕIMSUSEGA PÄIKESEPARGI HANKE TULEMUSED.....	37
TABEL 3.2 20 kW VÕIMSUSEGA PÄIKESEPARGI HANKE TULEMUSED.....	38
TABEL 3.3 20 kW VÕIMSUSEGA PÄIKESEPARGI HANKE TÄIENDATUD TULEMUSED .....	38
TABEL 3.4 VÄLJAVÕTE TASUVUSANALÜÜSI ARVUTUSTABELIST .....	41
TABEL 3.5 VÄLJAVÕTE TASUVUSANALÜÜSI ARVUTUSTABELIST ILMA TAASTUVENERGIA TOETUSETA ...	43
TABEL 3.6 VÄLJAVÕTE MINIMAALSE TOOTLUSMAHUGA TASUVUSANALÜÜSI ARVUTUSTABELIST .....	45
TABEL 3.7 PÄIKESEPARGI JA PANGAHOIUSTE AASTASEID TOOTLUSI VÕRDLEV TABEL .....	46
TABEL 3.8 PÄIKESEPARGI JA PENSIONIFONDIDE AASTASEID TOOTLUSI VÕRDLEV TABEL .....	46

## EESSÕNA

Käesoleva uurimuse raames antakse ülevaade isikliku päikesepargi rajamise protsessist taastuvenergia toetuse meetme raames ja selle projekti mõttekusest investeringu kontekstis. Uurimistöö eesmärgiks ongi koostada selle projekti tasuvusanalüüs, mille kaudu avaldub ka investeringu kasumlikkus; luua ülevaade sellise projekti teostamisest ja sellega kaasnevatest riskidest ning kõrvutada seda investeringut sarnaselt ligipääsetavate ja sarnastele kriteeriumitele vastavate teiste investeringutega. Kogutud andmete ja teostatud analüüside põhjal selgus, et prognoositavate tootlusmahtude täitmine on perspektiivis täiesti reaalne, projekti tasuvusaeg on mõistlik ja projektist saadav prognoositav tulu on ootuspärane. Võrdluses teiste sarnaste, ehk kriteeriumitele vastavate investeerimise võimalustega selgus, et investering erapäikeseparki on tasuvam ning loob pideva rahavoo kaudu võimaluse jooksvalt uutesse investeringutesse sisenemiseks. Kõigele eelnevale lisaks selgus ka tõsiasi, et Eleringi taastuvenergia toetuse meede on saadud tulemuste eelduseks. Toetusmeetme väliselt pikeneks projekti tasuvusaeg ebamõistlikule ajale ning projekti ei saaks investeringu mõistes kasumlikuks arvata.

Uurimuse teema on sõnastatud juhendaja Jane Raametsa soovitudest lähtuvalt. Lõputöö praktilises osas kasutatavad andmed pärinevad uurimuse aluseks oleva päikesepargiga seotud protsessidest ja andmeallikatest ning nende andmete kasutamiseks on loa andnud päikesepargi omanik. Andmete analüüsimise ja käsitlemise ning lõputööd üldisemalt puudutavate konsultatsioonidega abistas juhendaja Jane Raamets. Töö autor tänab siinkohal oma juhendajat edasiviivate nõuannete, abi ja panustatud aja eest ning päikesepargi omanikku andmetele ligipääsu võimaldamise eest!

Märksõnad: taastuvenergia, päikeseenergia, päikesepark, investering, magistritöö

## SISSEJUHATUS

Globaalsel tasandil on käesolevaks ajajärguks jõutud võrdlemisi üksmeelsele arusaamale, et seniste, fossiilkütustel baseeruvate energia tootmise meetoditega ei ole võimalik pikemas perspektiivis jätkata. Seetõttu on järjest enam asutud propageerima keskkonnasäästlikemaid lahendusi nii energia tootmise kui ka energia tarbijate valdkonnas. Üheks suuremaks ja kiiremini arenevaks keskkonnasäästlikkusele rõhuvaks tehnoloogiavaldkonnaks on kerkinud elektriautod ja nendega seonduv. Elektriautode massidesse suunamise kaudu üritatakse saavutada ja populariseerida rohelisemat maailmavaadet eelkõige seeläbi, et kaob otsene kokkupuude fossiilkütustega. Otsese kokkupuute kaotamine fossiilkütustega ei tähenda aga automaatselt, et elektriautod ei oleks üldse fossiilkütustest sõltuvad. Seda seepärast, et senini toodetakse suur osa elektriautode kütusest ehk elektrist just fossiilkütustest. Selle valupunkti järjest kasvav kajastamine globaalsel tasandil on pannud aluse ka keskkonnasõbralike roheenergia tootmise meetodite populariseerimisele. Seetõttu oli ka Eestis kuni 2021. aastani käimas Eleringi taastuenergia toetuse kampaania (Elering AS, 2020). Selle kampaania raames motiveeriti nii eraisikuid kui ettevõtteid rajama kuni 50 kW tootmisvõimsusega päikeseparke, et suurendada Eestis toodetava roheenergia mahtusid (*Ibid*). Kampaania motivatsioonielemendiks oli taastuenergia toetuse määr 0,0537 €/kWh ja seda makstakse 12 aasta jooksul alates päikesepargi nõuetekohasest registreerimisest (*Ibid*).

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks on kajastada ühe 20 kW tootmisvõimsusega erapäikesepargi rajamise protsessi Eleringi taastuenergia toetuse meetme raames ja anda ülevaade selle päikesepargi tehnilistest näitajatest. Samuti esitatakse käesolevas uurimuses selle päikesepargi tasuvusanalüüs, ülevaade päikeseparki investeerimise riskidest, võrdlus prognoositud tootlusandmete ja vaatlusaluse perioodi jooksul kogutud reaalsete tootlusandmete vahel ja võrdlus teiste sarnaste omadustega investeerimise võimalustega. Uurimuse ülesanded on sõnastatud järgnevalt:

- Koostada tasuvusanalüüs ja leida investeeringu tasuvusaeg,
- Koguda andmed prognoositavate tootlusmahtude ja reaalsete tootlusmahtude kohta ning kõrvutada neid andmeid,
- Luua ülevaade päikesepargi, kui investeeringu riskidest,
- Leida sarnaste omadustega investeerimise võimalusi ja võrrelda neid käesolevaga.

Uurimistöös kasutatavate meetodikate kirjeldused on toodud vastavate peatükkide ja etappide juures. Allikatele on viidatud APA süsteemi kasutades.

# 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Tänapäevases maailmas ollakse jõudnud staadiumisse, kus vaatamata erinevatele rohekampaaniatele ja jõupingutustele rohelisema energiatarbe suunas, on maailma energiavajadus endiselt järjest kasvamas ja sellega paralleelselt on fossiilkütuste ammendumise probleem muutumas üha olulisemaks (Štreimikiene, Mikalauskiene, & Atkociuniene, 2018). Rahuldamiseks energiavajadust ja piiramaks süsinikuheitmeid, on alustatud uute energiatarbimise juhtimise tehnoloogiate väljatöötamisega ja üleminekut tavapäraselt taastumatutelt ressurssidelt taastuvatele ressurssidele (*Ibid*). Seetõttu on hakatud üha enam tähelepanu pöörama puhtamate ja taastuvatest allikatest pärit alternatiivkütuste väljatöötamisele (*Ibid*). Taastuvatest allikatest pärinevaid alternatiivseid kütuseid tuntakse eelkõige neid koondava taastuenergia nimetuse all (Twidell & Weir, 2015). Enim kasutatavateks taastuenergia allikateks on päikesevalgus, tuul, maasoojus, loodete energia, aga ka muud looduslikud jõud, mis inimtegevuse mõjul ei vähene (*Ibid*).

Euroopa Liidu suuniste ja arengukavade põhjal on ka Eesti seadnud eesmärgiks suurendada taastuenergia tootmist ja tarbimist (Kivimaa & Sivonen, 2021). Roheenergia suunas liikumiseks on mitmeid erinevaid põhjuseid, kuid eelkõige aitab see vähendada keskkonnareostust, mis kaasneb seniste energiatootmise meetoditega (*Ibid*). Lisaks aitab laialdasem taastuenergia kasutamine suurendada tootmise ja tarbimise efektiivsust ning parandada üldist energiaalast julgeolekut (*Ibid*). Euroopa Liidu liikmesriikide üleselt on 2030. aastani kokkulepitud kliima- ja energiaraamistik (Štreimikiene, Mikalauskiene, & Atkociuniene, 2018). 2050. aastaks on seatud kasvuhoonegaaside vähendamise eesmärk, mille sihiks on aidata Euroopa Liidul saavutada taastuvate energiaallikate, energiatõhususe ja kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise eesmärgid (*Ibid*). 2014. aastal kinnitas Euroopa Komisjon liikmesriike siduva eesmärgi 2030. aastaks, mis koosneb kolmest alameesmärgist (*Ibid*). Esimese alameesmärgi raames tuleb kasvuhoonegaaside heitkoguseid võrreldes 1990. aasta tasemega vähendada vähemalt 40% (*Ibid*). Teise alameesmärgi raames tuleb 2030. aastaks saavutada olukord, kus kogu energia lõpptarbimisest pärineb 27% ulatuses taastuvatest energiaallikatest (*Ibid*). Kolmanda eesmärgina nähakse ette energiatõhususe parandamist vähemalt 27% võrra (*Ibid*).

2004. aastal küündis Eestis taastuvatest energiaallikatest toodetud elektritoodang vaid 0,3% kogu elektritoodangust (Furuoka, 2017). 2009. aastaks tõusis taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia osakaal 5,7% ja 2012. aastaks 11,9% peale (*Ibid*). Taastuenergia osakaalu pidevast kasvust hoolimata toodetakse tänini suurem

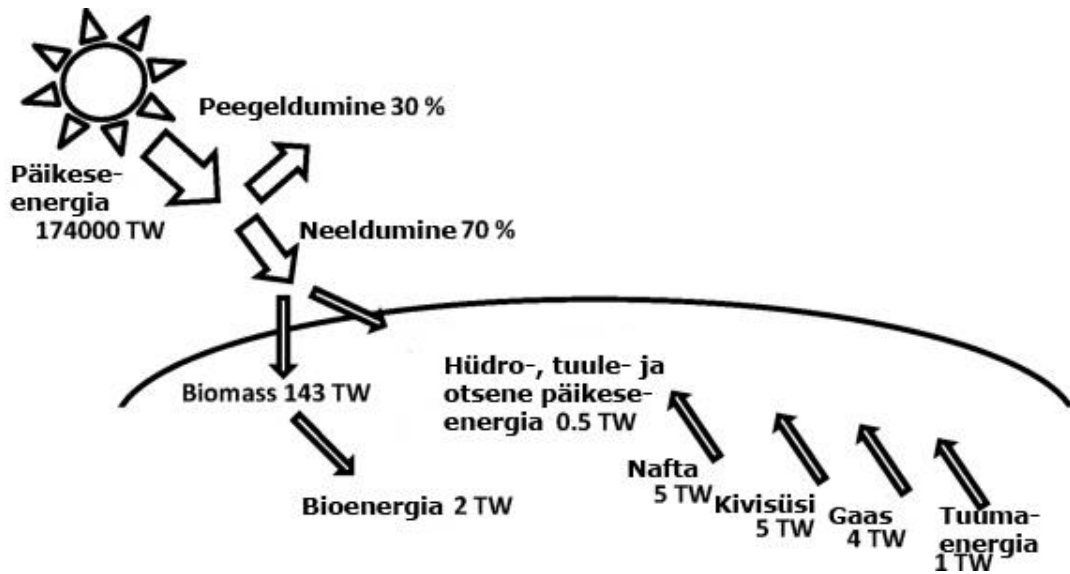
osa elektrienergiast Eestis endiselt põlevkivist (*Ibid*). Selles sektoris on suurimaks tegijaks Eesti Energia, kellele kuulub ka maailma suurim põlevkivielektrijaam, mis asub Narvas (*Ibid*). 2019. aasta lõpuks oli taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia osakaal Eestis tõusnud 31,9% (Statistikaamet, 2019).

Viimastel aastatel järjest enam kasutust leidvaks taastuenergia allikaks on tuuleenergia kõrval kujunenud päikeseenergia ja sellest erinevate meetodite kaudu elektrienergia tootmine (IEA, 2020). Päikeseenergia rakendamine taastuenergia kontekstis tähendab sisuliselt Päikeselt kiirguva valguse ja soojuste muundamist kasutatavateks energiatüüpideks (*Ibid*). Enimtuntud võimalused päikeseenergia rakendamiseks on elektrienergia tootmine kasutades fotogalvaanilisi tehnoloogiaid, soojusenergia muundamine elektrienergiaks ja päikeseenergia kasutamine soojus- või jahutusenergia saamiseks (*Ibid*). Praegusel ajajärgul on mainitust kõige populaarsem fotogalvaanilistel tehnoloogiatel (*ingl. k. photovoltaics – PV*) põhinev elektrienergia tootmine (*Ibid*).

## **1.1 Päikeseenergiast ja selle kasutamisest üldiselt**

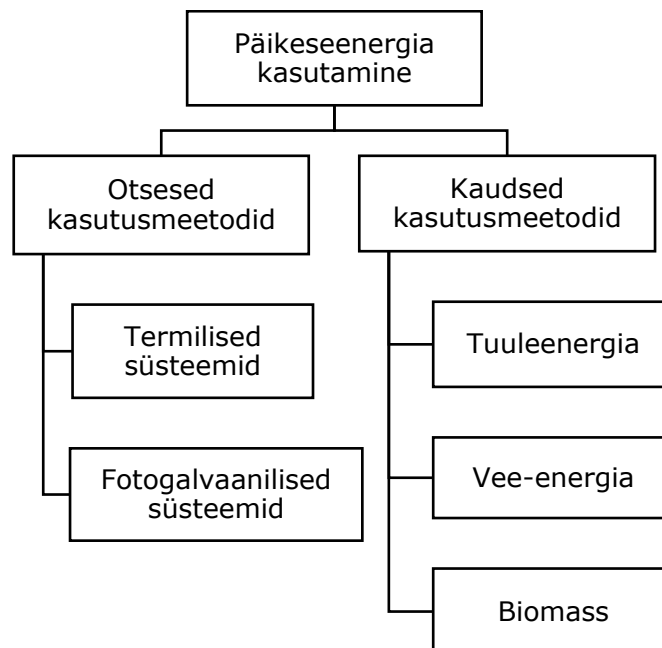
Päikeseenergia liigitub voolava energia kategooriasse, kuhu kuuluvad veel näiteks hüdro-, tuule- ja tõusu-mõõnavee energia (Campbell, Hanania, Jenden, & Donev, 2020). Käesoleval ajajärgul veel laialdaselt kasutusel olevad fossiilkütused, aga ka tuumaenergia kategoriseeruvad salvestatud energiaressursside alla (*Ibid*).

Iga-aastaselt jõuab Päikeselt Maale päikesekiirgust kogumahu ca. 174 000 TW (Thorin, 2014). Sellest mahust ligi 70% neeldub atmosfääris ja Maa pinnal, millest omakorda 23% on kaasatud aurustumisprotsessidesse ja ainult 4-6% talletub biomassis (*Ibid*). Sellegipoolest rakendub looduslikul biomassi tootmisel päikesekiirgust ca. 1 250 000 TWh mahus, kusjuures inim-algatuslikult kasutati 2010. aastal päikesekiirgust ainult 15 000 TWh mahus (joonis 1.1, järgmisel leheküljel) (*Ibid*).



Joonis 1.1 Päikeseenergia rakendumise jaotus (Thorin, 2014)

Inim-algatuslikult on päikeseenergiat võimalik salvestada ja kasutada mitmel erineval viisil ning neid meetodeid on võimalik kategoriseerida otsesteks- ja kaudseteks kasutusmeetoditeks (Saini, Powar, & Patil, 2018). Päikeseenergia otsesteks rakendamiseks on vaja kasutada termilistel või fotogalvaanilistel tehnoloogiatel põhinevaid süsteeme, et päikese kiirgust kasutatavaks energiaks muundada (*Ibid*). Kaudsete kasutusmeetodite puhul rakendub päikeseenergia näiteks biomassi, veeenergia, aga ka tuuleenergia kaudu (joonis 1.2) (*Ibid*).



Joonis 1.2 Päikeseenergia kasutamise võimalused (Autori joonis)

Päikeselt kiirgava energia tõhusamaks kasutamiseks ja kasutamismahtude suurendamiseks on viimase aastakümne jooksul päikeseenergia valdkonnas toimunud edasiviivad arengud (Wendt, 2020). Päikeseenergia rakendamise võimaluste valik on laienenud ja muutunud kättesaadavamaks (*Ibid*). Seetõttu on päikeseenergia kasutamine hoogustunud ka väiksemates mastaapides eraalgatuslike projektide näol (*Ibid*). Neli kõige levinumat võimalust just eraalgatuslikult päikeseenergiat salvestada ja rakendada on:

1. Fotogalvaaniliste (PV) päikesepaneelide kasutamine;
2. Elektromagnetilise kiirguse kasutamine soojusenergia saamiseks;
3. Päikeseenergiat kasutavad veesoojenduspaneelid ja
4. Vaakumtehnoloogial põhinevad veesoojenduspaneelid.

Lisaks on vastava kliima ja ilmastikutingimustega piirkondades levima hakanud ka soola sulatamise tehnoloogial põhinevad päikeseenergiajaamad, kuid seda tehnoloogiat on võimalik ja mõttekam rakendada pigem tööstuslikus skaalas (*Ibid*).

Mainitud levinumate päikeseenergia kasutusvaldkondade kõrval on üha enam levima hakanud ka päikeseenergia kasutamine igapäevase elu loomulike osade juures (Freedom Solar Power, 2018). Sellised kasutusvaldkonnad jäävad tihtipeale märkamatuks ja seetõttu ei tundu ka päikeseenergia alased saavutused ja arengud enam ka nii märkimisväärsed (*Ibid*). Suurte päikeseenergia tootmisjaamade kõrval jäävad igapäevaselt varju näiteks päikeseenergiat toimivad valgus- ja valgustuslahendused (*Ibid*). Inimesele veelgi lähedasemate ja käega katsutavamate töövahendite puhul väärib aga märkimist mikroskoopiliste PV elementide integreerimine (*Ibid*). Selliste märkamatu PV elementide abil saavad lisaenergiat näiteks käekellad, kalkulaatorid ja akupangad (*Ibid*). Märkamatuks jäävate tehnoloogiliste lahenduste kõrval on aga hakatud arendama ka vägagi silmapaistvaid tehnoloogiaid (*Ibid*). Üheks eriliseks tulevikupotentsiaaliga arendusprojektiks on päikeseenergia jõul liikuv auto (joonis 1.3, järgmisel leheküljel) (*Ibid*). Sellise auto pealispind koosnebki valdavalt PV elementidest ja päikeseenergiast toodetav elektrienergia suunatakse kas koheselt auto liikuma panemiseks või salvestatakse akupakis (*Ibid*).



Joonis 1.3 Päikeseenergia jõul liikuv auto (Freedom Solar Power, 2018)

### 1.1.1 Fotogalvaanilised päikesepaneelid

Fotogalvaanilisel (PV) tehnoloogial põhinevaid päikesepaneele hakati esmalt kasutama kosmoses ja kosmosetehnoloogiatega seondult (Chowdhury, Rahman, & Chowdhury, 2020). Nüüdseks on selle tehnoloogia kasutusvõimalused märgatavalt laienenud ja selliseid paneele on võimalik elektri tootmiseks kasutada peaaegu kõikjal ning erinevates mastaapides (*Ibid*). PV tehnoloogia on ühtlasi ka suurima potentsiaaliga ja üks küpsemaid tehnoloogiaid taastuvenergia tootmiseks (*Ibid*). Ülemaailmselt on päikeseenergia rakendamine taastuvenergia tootmisel mahupõhiselt kolmandal kohal, esimesel ja teisel kohal on vastavalt hüdro- ja tuuleenergia (*Ibid*). See tähendab, et PV tehnoloogia on tulevikku vaatavalt küllaltki paljulubaval positsioonil, saamaks üheks peamiseks globaalse energiavajaduse täitmiseks kasutatavatest meetoditest (*Ibid*). Lisaks aitab PV tehnoloogia kaasa ka süsinikuemissioonide vähendamisele – kui fossiilkütustega toodetud energia CO<sub>2</sub> emissioon jääb vahemikku 400 g – 1000 g CO<sub>2</sub> ekv/kWh, siis PV päikesepaneelide puhul jääb see arv nullilähedaseks (*Ibid*).

2019. aasta seisuga on hinnanguline globaalne PV süsteemide tootmisvõimsus ca. 580 GW (Majewski, Al-shammari, & Dudley, 2021). Selline tootmisvõimsuse maht jaguneb suures plaanis järgnevalt: 35,3% Hiinas, 19% Euroopa Liidus, 11,8% USA-s, 10,6% Jaapanis ja 6% Indias (*Ibid*). Sellise tootmisvõimsuse saavutamiseks on kasutusel hinnanguliselt kuni 2 miljardit standardmõõdus PV paneeli (*Ibid*).



Joonis 1.4 PV päikesepark Ungaris (IBC Solar, 2015)

### **1.1.2 Elektromagnetilise kiirguse muundamine soojusenergiaks**

Päikeselt kiirgub erinevat energiat erinevatel lainepikkustel, muuhulgas ka infrapunakiirgust (Wendt, 2020). Infrapunakiirgus võimaldab kanda soojusenergiat kehadele, mis suudavad seda vastu võtta (*Ibid*). Kehasid, mis suudavad sellist elektromagnetilist energiat vastu võtta nimetatakse „mustadeks kehadeks“, sest musta või tumedat värvi kehad võtavad sellist energiat kõige paremini vastu (*Ibid*). Elektromagnetilist kiirgust on passiivsetes soojusenergia tootmise süsteemides kasutatud juba pikka aega, tagasiulatuvalt kuni iidseesse Egiptusesse (*Ibid*). Tänapäeval leiab selline, pelgalt tumedate kehade vastuvõtlikkusele põhinev tehnoloogia kasutust valdavalt erakasutuses vee soojendamiseks ja ei ole sobilik tööstuslikul skaalal kasutamiseks (*Ibid*). Puhtakujulise päikeselt kiirguva soojusenergia kasutamiseks on aga hakatud kaasaegsete ehitiste rajamisel lähtuma ka just selle energia maksimaalse kasutuse võimekusest (Freedom Solar Power, 2018). Näiteks saab sellist muundamata soojusenergiat hoonetes kasutada, kui kasutada vastavaid soojust salvestavaid materjale ja arvestada soojusenergia püüdmisel akende asetsemisega (*Ibid*).

Eelnevale lisaks on tänaseks välja töötatud ka nutikad ventilatsioonisüsteemid, mille toimimise üheks aluseks on samuti tumedate kehade soojenemise funktsiooni kasutamine andurite juures, aga ka soojusenergiat arvestav, temperatuuril põhinev juhtimissüsteem (Solatube, 2020). Sellised ventilatsioonisüsteemid on täielikult isemajandavad ning reguleerivad hoone sisekliimat vastavalt vajadusele ja päikeselt kiirguva soojuse intensiivsusele (*Ibid*).

### 1.1.3 Päikeseenergia rakendamine veesoojendussüsteemides

Päikeseenergiat on vee soojendamiseks kasutatud juba aastakümneid ning üks esimesi kaasaegseid päikeseenergia kasutamise tehnoloogiaid oli samuti fookuseeritud vee soojendamisele ja vesiküttesüsteemidesse integreerimiseks (Zhang, Shen, Ni, & Wong, 2018). Sellised päikeseenergia kasutamise süsteemid on kasutust leidnud eelkõige era- ja kodukasutuses (joonis 1.5) (*Ibid*). Kodukasutuses rakendust leidvad päikeseküttesüsteemid koosnevad tavaliselt vee mahutist ja küttemoodulist ehk samuti rahvakeeli nimetatavast päikesepaneelist või -paneelidest (*Ibid*). Tööstuslikult arendatud süsteemidest inspireerituna on hakanud levima ka „tee see ise“ meetodil (ingl. K. *DIY – Do It Yourself*) valminud päikeseenergiat vee soojendamiseks kasutavad küttesüsteemid (*Ibid*). Nimelt on arengumaades hakatud käepärastest vahenditest ehitama just sarnastel tehnoloogiatel põhinevaid süsteeme (*Ibid*). Rahvusvahelise Taastuvenergia Agentuuri andmeil oli vee soojendamisel põhinevate päikeseküttesüsteemide kogutoodangu maht 2015. aastal 435 GW, mis ületas oluliselt tooleaegsete PV-süsteemide kogutoodangu mahu (227 GW) (*Ibid*).



Joonis 1.5 Veesoojendus-süsteem kodukasutuses (Ensia, 2020)

Vee soojendamisel põhinevaid päikeseküttesüsteeme nimetatakse ka päikeseenergia kollektoriteks (Settino, Sant, & Micallef, 2018). Tehnoloogiate põhjal saab sellised kollektorid jaotada kahte suuremasse rühma – kontsentreeritud ja mitte-kontsentreeritud süsteemid (*Ibid*). Kontsentreeritud süsteeme eristab peegelduva pinnaga moodul, mis suunab kogu sellele langeva päikesekiirguse ühele väiksemale pinnale, mis on omakorda ühendatud küttemooduliga (*Ibid*). Mitte-kontsentreeritud süsteemide puhul on köetav vesi suunatud vastavasse küttestorustikku või -moodulisse, mis on tervenisti päikesekiirgust vastuvõttev (*Ibid*). Populaarsemad ja enim kasutatavad kollektorid on varustatud tasapinnaliste plaat-küttemoodulite või eraldiseisvatest torudest koosnevate küttemoodulitega ning need lahendused liigituvad mitte-kontsentreeritud süsteemide kategooriasse (*Ibid*).

#### **1.1.4 Sulasoolaga päikeseenergiajaamad**

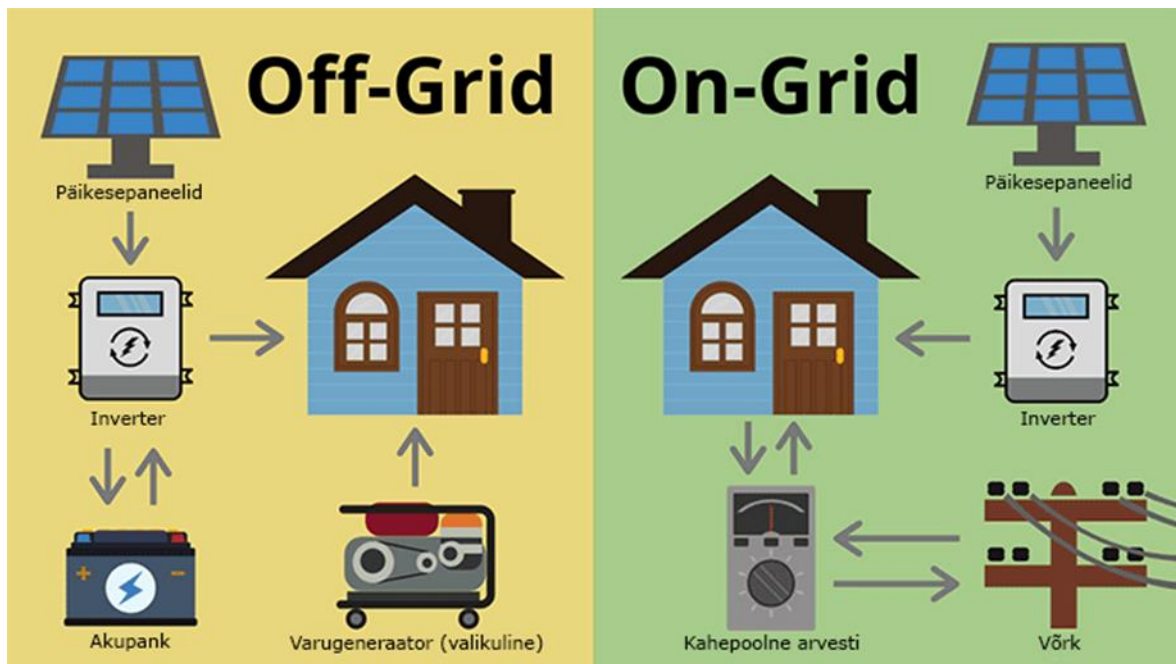
Sarnaselt vee soojendamise põhimõttel toimivatele päikeseenergia süsteemidele, toimib ka sulasoola kasutatav tehnoloogia (Yu, Fu, & Yang, 2020). Sulasoolaga süsteemides aga kasutataksegi soojusjuhi ja -salvestajana sulasoola (*Ibid*). Neid süsteeme võib liigitada ka kontsentreeritud süsteemide kategooriasse, sest sulasoola päikeseenergiajaamade üheks põhikomponendiks on energiasalvestustorn, millele seda ümbritsevad peegelpinnad päikesekiirgust suunavad (*Ibid*). Sellised päikeseenergiajaamad on mõeldud kasutamiseks eelkõige tööstuslikus skaalas, sest seadmete mõõtmed on suured ja töötemperatuur kõrge (*Ibid*). Näiteks Solar Two 10 MW test-energiajaama energiasalvestustorn (joonis 1.6, järgmisel leheküljel) on 76 m kõrge ja seda ümbritseb päikesekiirgust suunavatest peegelpindadest koosnev heliostaatide väli (*Ibid*). Päikesekiirgus suunatakse torni küljes olevale küttemoodulile, mis sisaldab endas eraldi mahuteid külma sulasoola (290°C) ja köetud sulasoola (576°C) jaoks (*Ibid*). Koondatud päikesekiirgus suunatakse külma sulasoola mahutile, et soojusenergiat salvestada (*Ibid*). Kui külm sulasool on saavutanud köetud sulasoola temperatuuri, juhitakse see soojust salvestavatesse moodulitesse ning kui sulasoola temperatuur on taas piisavalt langenud, juhitakse see tagasi protsessi algfaasi (*Ibid*).



Joonis 1.6 Solar Two energiasalvestustorn (Everett, 2011)

### **1.1.5 Võrguvälised (*Off-grid*) päikeseenergia süsteemid**

*Off-grid* ehk võrguväliste süsteemide all mõeldakse tavaliselt üldise- või riikliku elektrivõrgu väliseid süsteeme, mis suudavad toota piisavalt elektrienergiat, et end ise ära majandada (joonis 1.7, järgmisel leheküljel) (Mugisha, Ratemo, & Keza, 2021). Päikeseenergia süsteemide arenguga on võrguväliste süsteemide rajamise võimalused saanud uue mõõtme (*Ibid*). Sellest tulenevalt nähakse globaalsel tasandil võimalust võrguväliste päikeseenergiasüsteemide rajamisega luua elektriühendus ka piirkondades, kus seda praegusel ajajärgul veel ei ole (*Ibid*).



Joonis 1.7 Off-grid ja on-grid süsteemide võrdlus (Autori joonis)

Võrguväliste süsteemide rajamisel kasutatakse PV päikesepaneeele, et päikesekiirgus otse elektrienergiaks muundada (Akinsipe, Moya, & Kaparaju, 2021). Võrguvälist PV süsteemi eristab tavapärasest asjaolu, et jääk-elektri võrku müümise asemel salvestatakse see akudesse (*Ibid*). Nigeeria kontekstis läbiviidud uuring näitas, et ühepere-elamu päevase elektrienergia tarbe ehk  $\sim 8.6$  kWh täitmiseks on vaja luua  $\sim 17$  m<sup>2</sup> suurune päikesepark, mis suudaks toota 2.5 kW elektrienergiat tunnis (2.5 kW inverteri puhul) koos 440 Ah akuga (*Ibid*). Selle uurimuse puhul oli süsteemi komponentide valikul arvestatud ka kohaliku piirkonna majandusliku võimekusega (*Ibid*).

Suuremamõõtmeliste võrguväliste päikeseenergiajaamade puhul on elektrienergia salvestamiseks vaja tõhusamaid meetmeid (Bullich-Massagué, Cifuentes-García, & Glenny-Crende, 2020). Üldjoontes saab energiasalvestusmeetodid selles kontekstis jagada kolme rühma: mehaanilised-, elektrotehnilised- ja elektrokeemilised salvestid (*Ibid*). Mehaanilised salvestid jaotuvad omakorda kahte kategooriasse (*Ibid*). Aeglaste mehaaniliste salvestitena kasutatakse vee pumpamise ja suruõhu tehnoloogiatel põhinevaid süsteeme (*Ibid*). Vett pumpavates süsteemides pumbatakse toodetud elektrienergiat kasutades vett kõrgemal asuvasse reservuaari (*Ibid*). Hiljem vabastatakse vesi voolamaks alumisse reservuaari tagasi ja seejuures käivitab liikuv veemassiiv generaatori, mis toodab omakorda elektrienergiat (*Ibid*). Suruõhu süsteemid on töö põhimõttelt sarnased – toodetud elektrienergiaga pumbatakse õhku maa-alustesse suruõhumahutitesse ja hiljem avatakse ventiil, millest vabanev suruõhk

käivitab elektrit genereeriva turbiini (*Ibid*). Kiired mehaanilised salvestid kasutavad enamasti hooratta käitamise tehnoloogiat (*Ibid*). Toodetud elektrienergiaga pannakse hooratas pöörlema ja hiljem toimib sama süsteem vastupidiselt – hooratta pöörlemise inerts käivitab generaatori, mis hakkab uuesti elektrienergiat tootma (*Ibid*). Elektrotehniliste salvestitena teatakse super-, ultra-, aga ka kahekihilisi kondensaatoreid (*Ibid*). Sellised kondensaatorid toimivad energiasalvestitena sarnaselt traditsioonilistele ehk elektrokeemilistele akudele, kuid neid eristab tööpõhimõte (*Ibid*). Elektrotehnilistes salvestites püsib pinge elektrostaatilise väljana, kuid elektrokeemilistes salvestites toimuvad keemilised reaktsioonid (*Ibid*).

## **1.2 Fotogalvaaniliste elementide kasutamine päikeseenergia tootmisel**

Fotogalvaanilisi paneele ehk PV paneele nimetatakse rahvakeeli üldistavalt ka päikesepaneelideks, sest PV paneelid on enamlevinud päikesepaneelide vorm (GreenMatch, 2020). Algselt leidsid sellised paneelid kasutust valdavalt era- ja kodulahendustes, kuid tehnoloogiate arenedes on neid paneele hakatud kasutama ka suuremõõtmeliste ja ka eelnevalt kirjeldatud võrguväliste päikeseenergiajaamade põhikomponentidena (*Ibid*). PV paneelid koosnevad väikestest fotogalvaanilistest elementidest, mis on omavahel ühendatud (*Ibid*). PV elemendid on tehtud pooljuhtivatest materjalidest, enamasti silikoonist (*Ibid*). PV paneelid koosnevad mitmetest PV elementidest ja mida suurema ühendatud pinna need moodustavad, seda efektiivsem on süsteem (*Ibid*). Sellised paneelid toodavad elektrit ka varjulistes või pilvistes tingimustes, kuid mida tugevam on otsene päikesekiirgus, seda rohkem elektrit toodetakse (*Ibid*). PV paneelide keskmine eluiga küündib 25-30 aastani, kuid PV süsteemide inverterite eluiga piirdub enamasti 10-15 aastaga (*Ibid*).

PV elemente ja vastavaid paneele on erinevaid ning PV tehnoloogiate areng on olnud kiire (GreenMatch, 2020). Käesolevaks hetkeks on jõutud 3. generatsiooni tehnoloogiate juurde, millest osad on juba kasutatavad (*Ibid*). PV tehnoloogiad saab kategooriatesse jaotada järgnevalt:

1. generatsiooni paneelid on nõ. traditsioonilist tüüpi päikesepaneelid, mis on valmistatud kas monokristallilisest silikoonist või polüsilikoonist (*Ibid*). Sellised paneelid on kasutusel kõige laialdasemalt ja ka kõige igapäevasemates kasutusvaldkondades (*Ibid*). 1. generatsiooni paneele iseloomustavad kokkuvõtvalt hea tootmisvõimekus ja efektiivsus, pikk eluiga, sobivus

tööstuslikus skaalas kasutamiseks, aga ka kõrge hind (*Ibid*). Selle põlvkonna päikesepaneelid jagunevad järgnevalt:

- a. Monokristallilised (Mono-Si) päikesepaneelid
- b. Polükristallilised (Poly-Si) päikesepaneelid

2. generatsiooni paneelid põhinevad erinevat tüüpi õhukese filmkattega elementide tehnoloogial (*Ibid*). Sellisel tehnoloogial põhinevaid päikesepaneele, aga ka üksikuid elemente kasutatakse nii PV päikeseenergiajaamades kui ka erinevates integreeritud nõudvates üksustes (*Ibid*). Näiteks võimaldab sellise tehnoloogia kasutamine luua hoonetele katusepaneele, kuhu on PV element juba sisse integreeritud (*Ibid*). Selle põlvkonna päikesepaneele iseloomustavad kokkuvõtvalt võrdlemisi madalad tootmiskulud, lihtne tootmisprotsess ja paindlikud kasutusvõimalused, aga ka lühem eluiga ja garantiiperiood (*Ibid*). 2. generatsiooni paneelid jagunevad järgnevalt:

- a. Õhukesekattelised (Thin-Film TFSC) päikesepaneelid
- b. Amorfse kattega (A-Si) päikesepaneelid

3. generatsiooni paneelid kujutavad endast eelnevate generatsioonide tehnoloogiate parimate omaduste ja osade kombineerimist (*Ibid*). Lisaks on sellised lahendused ka oluliselt komplekssemad, ehk et lisaks klassikalistele PV paneelidest koosnevatele tootmisüksustele on efektiivsuse tõstmiseks lisatud näiteks päikesekiirgust suunavad elemendid ja teised tootmistõhusust tõstvad moodulid (*Ibid*). Nende lahenduste puhul on aga levikut takistavaks asjaoluks see, et need on alles uuringute ja arendustöö faasis ja seetõttu ei ole need erakasutusse jõudnud (*Ibid*). 3. generatsiooni päikeseenergia lahendusi iseloomustavad väga kõrge tootmisvõimekus ja efektiivsus, aga ka süsteemide keerukus ja kõrge maksumus (*Ibid*). Selle põlvkonna lahendused jagunevad järgnevalt:

- a. Biohübriid päikesepaneelid
- b. Kaadmiumtelluriid (CdTe) päikesepaneelid
- c. Kontsentreeritud PV (CVP, HCVP) päikesepaneelid

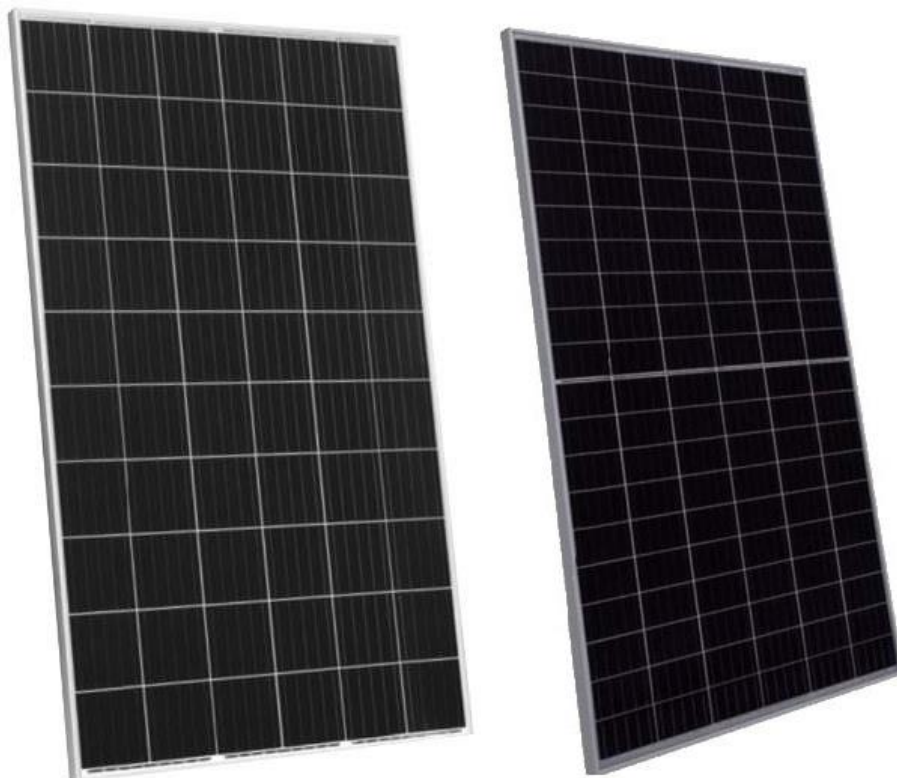
### 1.2.1 Esimese generatsiooni PV tehnoloogiad

Esimese generatsiooni PV paneelide puhul kasutatakse kahel erineval tehnoloogial põhinevaid elemente – monokristallilised- ja polükristallilised silikoonelemendid (Nogueira, Bedin, & Niedzialkoski, 2015). Monokristallilised elemendid on toodetud spetsiaalsetes ahjudes kuumutatud silindrikujulistest monokristallilise silikooni lattidest (*Ibid*). Lõplikud elemendid saadakse, kui lattidest lõigatakse ~300 µm paksused pelletid (*Ibid*). Selliste PV paneelide efektiivsusmäär päikesekiirgusest elektri tootmisel on ~15%, kuid suurimaks miinuseks on kõrged tootmiskulud (*Ibid*). Polükristallilised elemendid vormitakse silikoonikuubikutest, mis koosnevad mitmetest spetsiaalsetes vormides sulatatud silikooniportsjonitest (*Ibid*). Sellise tootmisviisi puhul ei ühine silikooniaatomid üheks- ehk monokristalliks (*Ibid*). Polükristalliliste PV paneelide efektiivsusmäär on ~13%, kuid nende tootmine on monokristalliliste paneelidega võrreldes odavam (*Ibid*). Põhilised tegurid, mis esimese generatsiooni PV paneelide efektiivsust mõjutavad, on päikesekiirguse tugevus ja elementide töötemperatuur (*Ibid*). Elementide sisese isolatsioonitaseme kasv põhjustab töötemperatuuri kasvu ja see omakorda põhjustab efektiivsuse langust (*Ibid*). Kokkuvõtvalt saab ka väita, et polükristalliliste paneelide kuluefektiivsus on parem, kui monokristallilistel paneelidel (*Ibid*).

Tänaseks on esimese generatsiooni tehnoloogiad end masstarbimise mastaabis õigustanud ja seetõttu on hakanud levima ka esimese generatsiooni tehnoloogiate edasiarendused (Aleo Solar, 2021). Üheks enamlevinud lisatehnoloogiaks esimese generatsiooni PV paneelide puhul on PERC (*Passivated Emitter and Rear Cell* või *Passivated Emitter and Rear Contact*) tehnoloogia (*Ibid*). Lihtsustatult tähendab PERC tehnoloogia seda, et klassikalise monokristallilise elemendi tagaküljele lisatakse nõ. peegelpind, mis suunab päikesekiirguse uuesti elementi läbima ja seeläbi on võimalik päikesekiirgust efektiivsemalt kasutada (*Ibid*). Täiendav eelis PERC tehnoloogia kasutamise juures on kokkuhoid tootmiskuludelt, sest PERC tehnoloogia võimaldab kasutada õhemaid silikoonelemente (*Ibid*).

Veelgi värskema uuendusena on lisandunud poolitatud elementide kasutamine (*Half-Cell technology*) (Powerark Solar, 2020). See tehnoloogia tähendab, et standardses moodsus päikesepaneelide puhul kasutatakse senise 60 või 72 elemendi asemel 120 või 144 elementi (joonis 1.8, järgmisel leheküljel) (*Ibid*). Sisuliselt on elementide tootmine algsel tehnoloogial põhinev, kuid elemente toodetakse poolitatud kujul ehk poole väiksemana (*Ibid*). Poolitatud elementide kasutamine võimaldab eelkõige vähendada elementide ülekuumenemist, mis omakorda vähendab mehhaaniliste rikete tekkimise võimalust (*Ibid*). Madalam töötemperatuur on eelduseks ka päikesekiirguse

efektiivsemaks kasutamiseks (*Ibid*). Lisahüveks poolitatud elementide puhul on ka asjaolu, et seeläbi on ühes paneelis rohkem päikesekiirgusele avatud elementide pinda, mis võimaldab samuti tootmisefektiivsust tõsta (*Ibid*).



Joonis 1.8 Vasakul *Full-cell* ja paremal *Half-cell* (Autori joonis)

### **1.2.2 Teise generatsiooni PV tehnoloogiad**

Teise generatsiooni PV paneelide arendamisel keskenduti pigem tootmiskulude vähendamisele ja nende puhul on samuti kasutuses kahte erinevat nimetust kandvad paneelitüübid – õhukesekattelised ja amorfse kattega paneelid (Taraba, Adamec, & Danko, 2019). Mõlemat teise generatsiooni paneelide tootmistehnoloogiat võib kirjeldada üheselt – moodulid kaetakse ühe või mitme õhukese fotogalvaanilise materjali kihiga ja kahe tehnoloogia erinevus seisneb katmismaterjali valikus (*Ibid*). Nagu eelnevalt mainitud, on teise generatsiooni paneelide puhul põhifookus tootmiskulude vähendamisel ja see kajastub ka seda tüüpi paneelide efektiivsuses (*Ibid*). Ideaaltingimustes vajavad teise generatsiooni tehnoloogiaid kasutavad paneelid võrreldes esimese generatsiooni paneelidega kaks korda rohkem tootmispinda (*Ibid*). Teisest küljest aga, kui katmismaterjalina kasutatakse amorfset silikooni, on võimalik saavutada stabiilsem ja keskkonnateguritest vähem mõjutatud tootmine (*Ibid*). Esimese generatsiooni paneelid on erinevate varjutuste suhtes tundlikumad ning kui teatav osa

paneelist on varjutatud, siis see paneel elektrit ei tooda (*Ibid*). Teise generatsiooni paneelid suudavad seevastu elektrit toota ka osalise varjutatuse korral, mistõttu võib selliste süsteemide aastane kogutoodang muutlike ilmastiku- ja keskkonnatingimustega piirkondades olla isegi suurem, kui esimese generatsiooni paneele kasutades (*Ibid*).

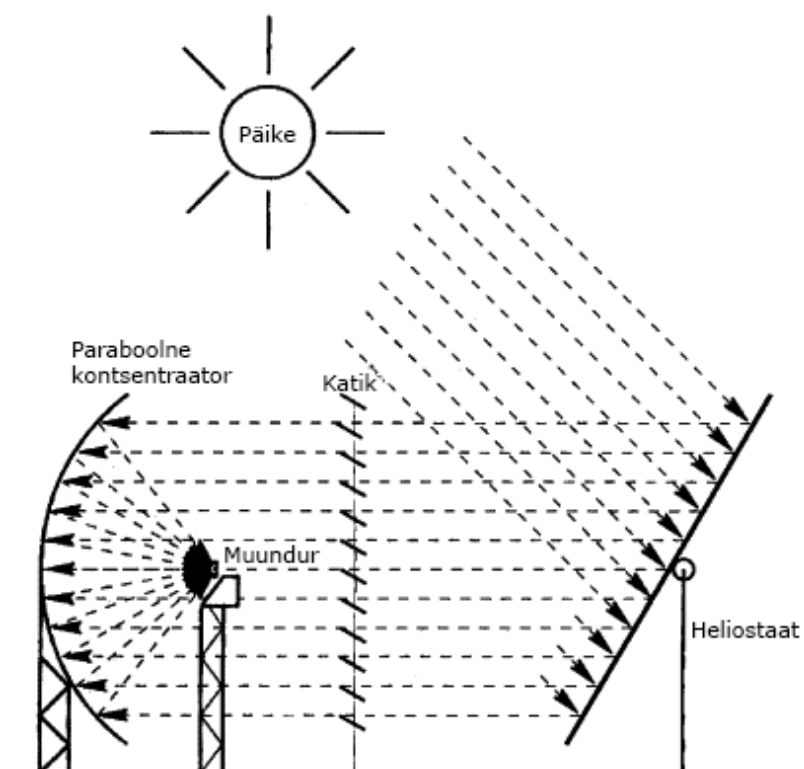
### **1.2.3 Kolmanda generatsiooni PV tehnoloogiad**

Kolmanda generatsiooni PV tehnoloogiad hõlmavad endas biotehnoloogiate kaasamist, teise generatsiooni tehnoloogiate edasiarendust ja automatiseeritust (Musazade, Voloshin, & Brady, 2018). Nimetatutest esimene, biohübriid tehnoloogia, on alles uurimis- ja arendusjärgus, kuid selles valdkonnas on seni kõige paremaid tulemusi näidanud titaandioksiidil ( $\text{TiO}_2$ ) põhinev biohübriidsete elektroodide tehnoloogia, mida on rakendatud näiteks värvainetundlikes päikeseelementides (*Ibid*). Värvainetundlikud elemendid sarnanevad paljuski teise generatsiooni elementidele, kuid nende põhiline eripära seisneb selles, et ühe lisakihina kasutatakse mesoskoopilist pooljuhtivat materjali (titaandioksiid) (*Ibid*). Titaandioksiidikiht võimaldab lihtsustatult öeldes PV elementi lisada naturaalseid, näiteks puuviljades leiduvaid, värvaine- ja värvainetundlikke molekule (*Ibid*). Seeläbi on võimalik päikesekiirgust püüda ja muundada looduslike protsesse tehnoloogiliste protsessidega sidudes (*Ibid*). Lisaks suurendab sellise lisakihi kasutamine PV elemendi efektiivset tööpinda ja seeläbi tõuseb ka ühe elemendi efektiivsus elektri tootmisel (*Ibid*).

Sarnaselt biohübriid tehnoloogiale on teise generatsiooni edasiarenduseks ka kaadmiumtelluriidil põhinevad elemendid (Shah, KC, & Muddassir, 2021). See edasiarendus kujutab endast silikooni asendamist või kombineerimist kaadmiumtelluriidiga (*Ibid*). Kaadmiumtelluriidi põhiliseks eeliseks silikooni ees on suurem vastuvõtlikkus ehk sama pinnaühiku kohta neeldub kaadmiumtelluriidis rohkem päikesekiirgust, kui silikoonis (*Ibid*). Lisaks on kaadmiumtelluriid töödeldavam õhemate kihtidena, mis loob võimalused tootmiskulude vähendamiseks ja stabiilsema kvaliteedi tagamiseks (*Ibid*). Seni on kaadmiumtelluriidil põhinevate elementide efektiivsuseks saadud ~22% laboratoorsetes tingimustes ja ~18% reaalelulistest tingimustes (Dharmadasa, Alam, & Ojo, 2019).

Automatiseeritust kaasavate kontsentreeritud süsteemide PV süsteemide eripära seisneb eelkõige selles, et fotogalvaanilised elemendid koosnevad mitme erineva materjali kihtidest, lisaks on kasutusel ka optilised kihid päikesekiirguse suunamiseks (Muhammad-Bashir, Al-Oufi, & Al-Hakami, 2020). Selliste elementide kohtefektiivsus on küll teiste tehnoloogiatega võrreldes suurem, kuid efektiivse pinna suurus on väiksem (Fernandez-Reche, Canadas, & Sanchez, 2006). Seetõttu on kontsentreeritud

PV süsteemid tervikuna oluliselt keerulisemad ja koosnevad mitmetest elementidest (*Ibid*). Näiteks võib selline süsteem koosneda tasapinnalisest heliostaadist, automaatreguleeruvast katikust, paraboolsest kontsentraatorist ja parabooli fookuspunktis asuvast muundurist (joonis 1.9) (*Ibid*). Sellise süsteemi tööpõhimõte on järgnev: tasapinnaline heliostaat suunab päikesekiirguse paraboolile, mis omakorda suunab kontsentreeritud kiirguse fookuspunktis asuvale muundurile (*Ibid*). Heliostaadi ja parabooli vahele jääv katik reguleerib päikesekiirguse läbilaskvust vastavalt vajadusele (*Ibid*).



Joonis 1.9 Kontsentreeritud päikeseenergiasüsteem (Fernandez-Reche, Canadas, & Sanchez, 2006)

#### 1.2.4 Ülevaade PV süsteemide maksumusest

Üldine trend nii pikema päikeseenergiasüsteemide ajaloo kui ka viimaste aastate arengute põhjal näitab, et PV päikesepaneelide, aga ka süsteemide maksumused tervikuna langevad iga-aastaselt (Energy Sage, 2021). Globaalseid arenguid arvestava keskmistatud uurimuse põhjal selgub, et PV süsteemide maksumused on viimase 5 aastaga langenud enam, kui 20% (*Ibid*). Sellest tulenevalt saab väita, et päikeseenergiasüsteemide ja nende abil päikeseenergiast elektrienergia tootmine on tasuvam ja kasumlikum, kui kunagi varem (*Ibid*).

2018. aastal Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonna Energiatehnoloogia instituudis koostatud magistritöö päikesepaneelide kasutamise majandusliku otstarbekuse teemal kajastab, et 1975. aastal ja sellele eelnevalt oli 1 W tootmisvõimsusega päikeseenergiast elektrienergia tootmise seadmete maksumus rohkem, kui 100 \$ (Rehepapp, 2018). Sellele mastaabile võrdluseks olid sama struktuuri maksumused 2018. aastaks langenud alla 1 \$/W (*Ibid*). Sellise päikeseenergiast elektrienergia tootmiseks mõeldud seadmete maksumuse muutumise nähtuse kirjeldamiseks on Richard Swanson sõnastanud ka seaduse, mille kohaselt langevad päikesepaneelide hinnad 20% iga kord, kui päikesepaneelide kumulatiivne toodang kahekordistub (*Ibid*). Viimastel aastatel toimuv on aga näidanud, et Swansoni seaduses kirjeldatud stsenaariumi korral on tänavuseks hinnalanguseks 20% asemel juba 28% (*Ibid*). Selline trend on ületanud igasugused ootused ja 2017. aasta näitajate põhjal oli 1 W tootmisvõimsusega päikesepaneelide hind langenud juba 0,35 \$ peale (*Ibid*). Päikesepaneelide maksumuse odavnemine olevat isegi nii kiire, et tuleviku suunal ei juleta enam hindade võimalikku kujunemist isegi ennustada (*Ibid*). Seda seetõttu, et seniste hinnalanguste põhjal ei ole varasemad ennustused vettpidavad olnud ja hinnalangused on toimunud ennustustega võrreldes märgatavalt kiiremas tempos (*Ibid*).

Päikeseenergiast elektrienergia tootmiseks ei piisa aga ainult päikesepaneelidest (GreenMatch, 2021). Nendele lisaks on vaja veel erinevaid komponente, mis omakorda mõjutavad terviklahenduse maksumust (*Ibid*). Esmaseks hinda mõjutavaks teguriks on planeeritava süsteemi suurus, ehk tootmisvõimsus (*Ibid*). Järgnevalt sõltub terviklahenduse lõppmaksumus sellest, kas tootmisjaam rajatakse maa- või katusepaigaldisena (*Ibid*). Katusepaigaldise puhul omab määravat tähtsust ka katuse seisukord, millest sõltub kinnituslahenduste tüüp ja kasutusvõimalus (*Ibid*). Lisaks mõjutavad terviklahenduse lõpphinda ka inverterkomponent, paigaldisraam, kaabli kogus ja ka muud lisanduda võivad kõrvaltööd ja kulutused (*Ibid*).

## 1.3 Päikeseenergia kasutamine globaalselt ja selle potentsiaal Eestis

Taastuvenergiate üha laialdasem kasutamine tööstuslikes mastaapides on eelkõige tingitud fossiilkütuste varude vähenemisest, majandusliku kokkuhoiu saavutamisest ja keskkonnasäästlikuma majandamise nõuetest (Ravi Kumar, Krishna Chaitanya, & Sendhil Kumar, 2021). Nagu varasemalt mainitud, on päikeseenergia tehnoloogiatel põhinevad süsteemid praegusel ajajärgul selles kontekstis kõige tõhusamad ja kättesaadavamad (*Ibid*). Elektri tootmiseks kasutatakse eelkõige eelnevalt kirjeldatud fotogalvaanilisi elemente sisaldavaid süsteeme (*Ibid*). Suuremates tööstuslikes mõõtmetes soojusenergia – näiteks kuuma auru – saamiseks kasutatakse aga vett soojendavaid süsteeme (*Ibid*). Vastavalt kasutatava auru temperatuurile leiavad kasutust mitte-kontsentreeritud süsteemid (madalam temperatuur) ja kontsentreeritud süsteemid (kõrgem temperatuur) (*Ibid*). Selliste vett soojendavate süsteemide eeliseks on ka asjaolu, et tööstuslikes protsessides vabanevat või üle jäävat auru on võimalik küttesüsteemi ringlusesse tagasi suunata – seeläbi väheneb kasutatava vee kogus ja tõuseb kuluefektiivsus (*Ibid*).

Tšiili vasekaevanduste näitel läbiviidud uuringust ilmneb samuti, et erinevate päikeseenergiatehnoloogiate rakendamine kaevanduste elektriga varustamisel on tõhus ja investeeringuna mõttekas (Behar, Sbarbaro, & Moran, 2021). Uuringu käigus võrreldi tavalisi PV süsteeme, kontsentreeritud süsteeme ja hübriidseid kontsentreeritud PV süsteeme (*Ibid*). Leiti, et tavalised PV süsteemid ja hübriidsed kontsentreeritud PV süsteemid on selles kontekstis vägagi efektiivsed ja selliste süsteemide tasuvusaeg tööstuslikes mastaapides võib olla kõigest 5 aastat (*Ibid*). Kontsentreeritud süsteemid võivad kohati olla tootlikumad, kuid see ei ole piisav, et õigustada nende süsteemide oluliselt kõrgemat maksumust (*Ibid*).

2021. aasta märtsi seisuga oli kõikide päikeseenergia tootmise süsteemide globaalne kumulatiivne tootmisvõimsus 714 GW, olles jõudnud ligilähedaselt samale tasemele tuuleenergia süsteemide tootmisvõimsusega (733 GW) (IRENA, 2021). Päikeseenergiasüsteemide populaarsuse ja kättesaadavuse kasvu kinnitab ka tootmisvõimsuse kasv 2020. aastal – 127 GW, sealjuures oli tuuleenergia süsteemide tootmisvõimsuse kasv 111 GW (*Ibid*). Päikeseenergia süsteemide tootmisvõimsuse mahu kasvatamisel on üheks teerajajaks asunud India, kus on seatud eesmärgiks saavutada 2030. aastaks taastuvenergia tootmisvõimsus 450 GW (NS Energy, 2021). Hetkeseisuga asub maailma suurima tootmisvõimsusega päikeseпарк samuti Indias (*Ibid*). See rajatis kannab nime Bhadla Solar Park ja see paikneb Bhadla külas,

Rajasthan's Jodhpur piirkonnas (*Ibid*). Nimetatud pargi tootmisvõimsus on 2,25 GW ja selle seadmeпарк laiub 5665 hektaril (joonis 1.10) (*Ibid*).



Joonis 1.10 Bhadla Solar Park, India (NS Energy, 2021)

Eesti puhul võib suurimaks sammuks rohelisema energia suunas pidada ühinemist Euroopa Liiduga 2004. aastal, mis tõi kaasa kohustuse järgida rangemaid keskkonnanõudeid (Sillak & Kanger, 2020). Kahjuks ei tähendanud see aga investeeringute suunamist taastuvenergia valdkonda, vaid olemasolevate põlevkivil põhinevate süsteemide kaasajastamisse (*Ibid*). Sellega suudeti vähendada tootmise käigus tekkivate saasteainete levimist keskkonda, kuid Eesti energeetika jäi siiski domineerivalt fossiilkütustel põhinevaks (*Ibid*). Sellegipoolest tõusis taastuvenergia osakaal 2006. aasta 16% pealt 25% peale 2011. aastaks (Eesti Taastuvenergia Koda, 2014). Kasv tulenes valdavalt biomassi kasutamisest soojusenergia tootmisel ning päikese- ja tuuleenergia olid 2014. aasta seisuga endiselt tagaplaanil (*Ibid*). Esimene hüpe päikeseenergia populaarsuse ja tootmisvõimsuse mahu kasvul toimus 2018. aastal, kui Eesti päikeseenergia tootmisvõimsus suurenes kuus korda (Eesti Taastuvenergia Koda, 2018). Sama aasta seisuga tõusis päikeseenergia Eestis tuuleenergia ja biomassist toodetava energia järel kolmandale kohale ning selle osakaal kogu Eestis toodetava roheenergia hulgas tõusis 19%-le (*Ibid*).

Käesolevaks ajajärguks on päikeseenergiaal põhinevate lahenduste kasutamine hoogustunud eelkõige eraettevõtete seas ja teerajajaks sellel suunal võib pidada AS Eesti Gaasi (AS Eesti Gaas, 2021). Eesti Gaas toodab päikeseenergiat suuremas osas neile kuuluvas, Pärnus asuvas Eesti suurimas päikesepargide kompleksis (joonis 1.11) (*Ibid*). See kompleks koosneb neljast 900 kW päikesepargist ja aastane energiatoodang on ~4 000 000 kWh, mis katab ~1000 majapidamise elektrivajaduse (*Ibid*). Lisaks toodetakse elektrienergiat ka äriklientidega koostöös rajatavates eraldiseisvates päikeseparkides (*Ibid*).



Joonis 1.11 Pärnu Päikesepargid (AS Eesti Gaas, 2021)

Pärnu Päikesepargid alusatsid tööd 2019. aastal (Vogelberg, 2019). Nagu eelnevalt mainitud, oli projekti algatajaks ja peamiseks eestvedajaks AS Eesti Gaas, kuid oluliseks koostööpartneriks selle projekti juures oli ka Paikre OÜ (*Ibid*). Paikre OÜ on jäätmetega tegelev ettevõtte ning nende peamiseks osaluseks selles projektis on maa-ala võimaldamine (*Ibid*). Nimelt paikneb 13 000 päikesepaneelist koosnev Pärnu Päikesepargide kompleks varasema Rääma prügilal 16 hektari suurusel alal (*Ibid*).

Pärnu Päikesepargidele ja AS Eesti Gaasile on asunud konkurentsi pakkuma ESTIKO Energia OÜ, kes alustas tööd energia tootmise sektoris 2018. aastal (ESTIKO Energia OÜ, 2021). Tänapäevaks on ESTIKO Energia OÜ rajanud 11 päikeseparki, mille kumulatiivne tootmisvõimsus on 2,2 MW (*Ibid*). 2019. aastal algatati ka projekt järgmise Eesti suurima päikesepargi rajamiseks Tartusse, Raadi lennuvälja aladele (joonis 1.12, järgmisel leheküljel) (*Ibid*).



Joonis 1.12 Raadi lennuvälja aladele rajatav päikesepark (ESTIKO Energia OÜ, 2021)

2019. aastal algatatud projekt Eesti uue suurima päikesepargi rajamiseks on viibinud mitmete ametkondade poolt põhjustatud ebakindluse tõttu (Punamäe, 2021). Projekti edasine kulg muutus selgemaks, kui kavandatav Raadi lennuvälja piirkond vabastati vanadest rehvidest (*Ibid*). Sellega kaasnes ka nõue, et aasta pärast rehviäätmete likvideerimist piirkonnast peab olema valminud ka päikesepark koos kõige juurdekuuluvaga (*Ibid*). Sellele infole tuginedes on 2021. aasta lõpuks Raadi lennuvälja aladele oodata ESTIKO Energia OÜ poolt rajatavat 75 MW tootmisvõimsusega päikeseparki, mille seadmeпарк katab 106 hektari suuruse maa-ala (*Ibid*).

Lisaks eelnevalt kirjeldatud Eesti suurimatele tootmiseesmärgiga päikeseparkide kompleksidele ja tootmisüksustele, on Märjamaale valmimas päikeseparkide teemapark, mille eesmärgiks on eelkõige päikeseenergiaga seonduva ja erinevate tootmislahenduste tutvustamine (MTÜ Märjamaa Päikesepark, 2021). Selle kontseptsiooni arendamisel ja päikesepargi rajamisel on tuginetud rohelisele mõtteviisile ja selle propageerimisele (*Ibid*). Märjamaa Päikesepargis ehk päikeseenergiast elektrienergia tootmist tutvustavas teemapargis saab praktilise tegevuse kaudu tutvuda mitmete erinevate päikeseenergia kasutamise võimalustega (joonis 1.13, järgmisel leheküljel) (*Ibid*).

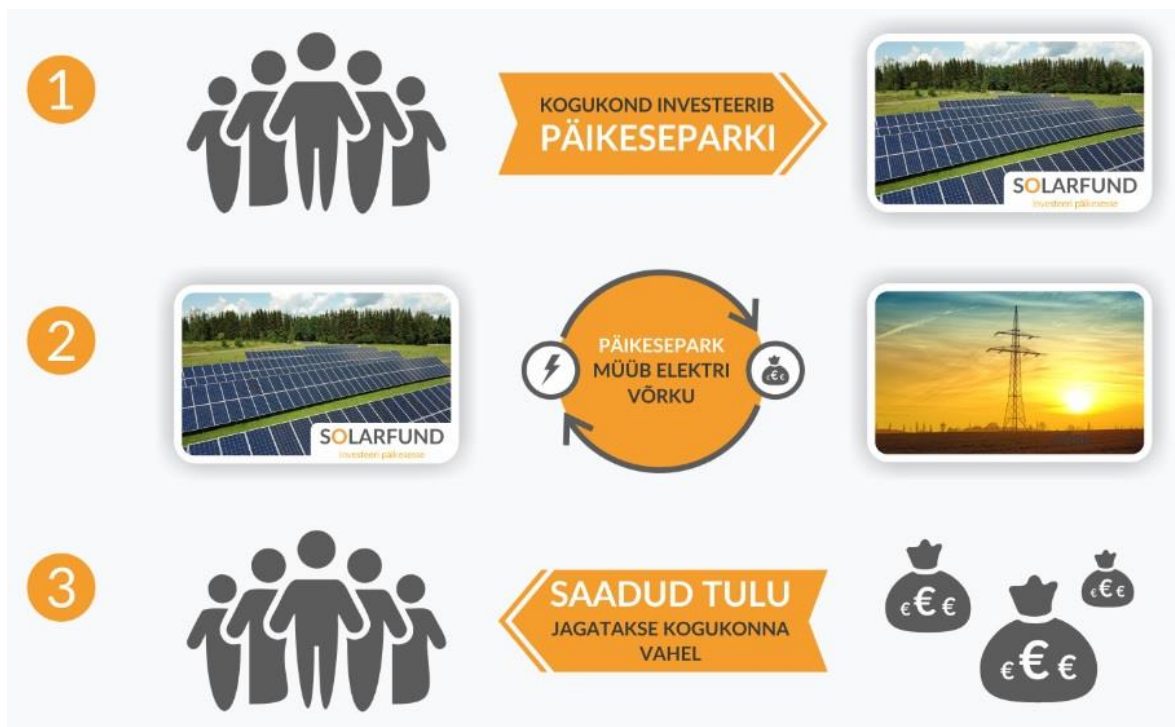


Joonis 1.13 Märjamaa Päikesepark (MTÜ Märjamaa Päikesepark, 2021)

Märjamaa Päikeseparki eesmärgiks on läbi oma tegevuse ja päikeseenergia alase info edastamise innustada nii kodusid, ettevõtteid kui ka energiaühistuid päikeseenergiat järjest enam kasutusele võtma (*Ibid*). Teemapark on üles seatud selliselt, et iga külastaja võib veenduda päikeseenergia kasutamise võimalikkuses Eestis (*Ibid*). Valmiv päikeseenergia lahendusi elektrienergia tootmiseks tutvustav teemapark saab koosnema 10 erinevast päikeseenergia tootmise lahenduse näidisest, mis sobivad nii eramutele kui ka suurhoonetele (*Ibid*). Märjamaa Päikesepark saab olema avatud ööpäevaringselt ja tasuta küllastamiseks (*Ibid*).

Veel üheks eriliseks päikeseenergia tootmisest osasaamise võimaluseks Eestis on Solarfund OÜ pakutav lahendus, mille eesmärk on luua kogukondlikuid päikeseenergiast elektrienergia tootmise üksusi (Solarfund OÜ, 2020). See lahendus kujutab endast võimalust päikeseenergiast elektrienergia tootmisse investeerida nendel huvilistel, kellel puuduvad võimalused isikliku päikeseparki rajamiseks (*Ibid*). Isikliku päikeseparki rajamist võivad takistada sellised tegurid nagu piisavalt suure isikliku maalapi puudumine, ebasobilikud tingimused elektrienergia tootmiseks võimalikus asukohas, infrastruktuuri piirangud, aga ka piisavas mahus rahaliste vahendite puudumine isikliku tootmisüksuse püstitamiseks (*Ibid*). Solarfund OÜ pakutav lahendus ja idee on põhimõtte poolest lihtne (joonis 1.14, järgmisel leheküljel) – huvilistele avatakse investeerimisvoor, mille käigus saavad kõik päikeseenergiast huvitatud isikud teha panuse vastavalt oma soovile või võimalustele; seejärel tegeleb Solarfund OÜ kogu paberimajandusliku ja arendusliku poolega, ehk et organiseerib päikeseparki rajamiseks

sobiliku maalapi (rent või ost) ja rajab sellele vastavas vääringus päikeseenergiast elektrienergia tootmise üksuse; kui kogukondlikul rahastusel põhinev päikeseпарк on valmis saanud ja tööd alustanud, jagatakse saadav tulu proportsionaalselt kõigi kogukonnaliikmete vahel (*Ibid*). Seeläbi ei paku Solarfund OÜ mitte ainult võimalust päikeseenergiasse investeerida, vaid ka maaomanikele võimalust oma kasutult seisva maalapi eest renditulu teenida (*Ibid*).



Joonis 1.14 Solarfund OÜ lahenduse idee (Solarfund OÜ, 2020)

## 2 MATERJAL JA METOODIKA

Magistritöö praktiline osa kajastab uurimuses kasutatava erapäikesepargi rajamise protsessi algusest lõpuni ja selle päikesepargi tootlusandmeid, et luua võrdlus pakkumise osana saadud tootlusprognoosiga. Lisaks antakse saadud andmete põhjal esmane hinnang erapäikesepargi rajamise mõttekusele investeerimise kontekstis. Selle hinnangu andmiseks koostatakse ülevaatlik tasuvusanalüüs, mille osana saadakse ka andmed päikesepargi kasumlikkuse ja tootlikkuse kohta. Tasuvusanalüüsist saadud andmetele tuginedes luuakse võrdlus teiste lihtsamalt ligipääsetavate investeerimise võimalustega (nt. hoiused). Edasine teemakäsitus on järgnev:

1. Hanke korras saadud pakkumiste ülevaade ja võrdlus
2. Ülevaade päikesepargist
3. Tasuvusanalüüs ja tootlusandmete võrdlus
4. Ülevaade riskidest ja võrdlus teiste investeerimise võimalustega

Andmeanalüüs, analüüsiks vajalikud arvutused ja graafiline esitus on teostatud tabelarvutusprogrammis *MS Excel*.

### 2.1 Ülevaade hangete korraldamisest ja alusandmetest

Uurimistöö aluseks oleva päikesepargi rajamise eelduseks oli asjaolu, et päikesepark rajatakse 2020. aastal lõppenud Eleringi taastuvenergia toetuse meetme raames ja sellest osa saades (Elering AS, 2020). Selle meetme raames toetatakse erapäikeseparke, mis on valminud ja on toimivad hiljemalt 2021. aasta jaanuariks (*Ibid*). Meetme raames toetatava päikesepargi maksimaalne tootmisvõimsus võib olla kuni 50 kW (*Ibid*). Nendest nõudmistest ja teadmistest lähtuvalt alustati päikesepargi rajamist 50 kW tootmisvõimsusega pargi rajamise eesmärgil. Protsessi käigus ilmnis aga tõsiasi, et planeeritava päikesepargi asukohani viiv infrastruktuur ei võimalda sellise tootmisvõimsusega üksust rajada ja seetõttu jätkati protsessi 20 kW tootmisvõimsusega päikesepargi rajamise eesmärgil. Hangete korras saadud pakkumiste ülevaade ja võrdlus on toodud peatükis 3.1.

## 2.2 Ülevaade päikesepargi planeeringust

Uurimuse aluseks oleva erapäikesepargi planeeritud asukohaks on Tahkuranna küla, Häädemeeste vallas, Pärnu maakonnas. Tegemist on mereäärse piirkonnaga ja päikesepargi lähiümbruses ei asu varjutusi tekitavaid objekte. Eelduste kohaselt on tegemist päikeseenergia tootmiseks soodsa asukohaga. Päikeseпарк planeeriti olema maapaigaldise tüüpi ja paiknemine ilmakaarte suhtes kavandati suunaga lõunasse selliselt, et päikeseenergia tootlus oleks maksimaalne – rajatis püstitatakse maksimaalse tootluse eesmärgil ja paiknemise määramisel ei olnud muid mõjutavaid faktoreid (joonis 2.1).



Joonis 2.1 Päikesepargi paiknemise plaan (Maa-amet XGIS, 2020)

Päikesepargi asukohale teostati tootmisvõimekuse analüüs Euroopa Komisjoni hallatava PVGIS-5 tarkvaraga, mis annab ülevaate keskmisest võimalikust tootlusest kuude lõikes (Euroopa Komisjon, 2020). Selle raporti alusel võrreldakse ka prognoositud ja reaalseid tootmismahutusi kuude lõikes. Päikesepargi tehnilised andmed on toodud peatükis 3.2.

## 2.3 Tasuvusanalüüs ja tootlusandmete võrdlus

Tasuvusanalüüsi eesmärgiks on leida investeringu tasuvusaeg ehk ajaperiood, mille jooksul rajatud päikesepark investeringu mahu tagasi teenib. Tasuvusaja arvutamiseks kasutatakse järgnevaid andmeid:

- Investeeringu maht: 21 100 €
- Investeeringu pikkus ehk päikesepargi kasutusperiood: 25 a
- Päikesepaneelide efektiivsus kasutusperioodi lõpuks: 80%
- Keskmine efektiivsuse langus aastas: 0,8%
- Keskmine elektri börsihind investeringu alguses ehk 2020. aastal: 0,03369 €/kWh (Nord Pool AS, 2020)
- Prognoositav elektri börsihinna kasv aastas: 2% (Teenusepakkuja hinnang)
- Taastuenergia toetus: 0,0537 €/kWh (Elering AS, 2020)
- Taastuenergia toetuse periood: 12 a (Elering AS, 2020)
- Prognoositav keskmine aastane tootlus: 20695,96 ± 845,60 kWh (Euroopa Komisjon, 2020)

Tasuvusanalüüsis kasutatakse keskmist prognoositavat aastast tootlust, et leida optimaalne tasuvusaeg. Tasuvusanalüüsis ei arvestata aja jooksul tekkida võivaid lisakulusid (hooldus, remont vms.). Sama analüüsi kaudu leitakse ka oodatav puhaskasum, kogu kasumi määr, keskmine aastase kasumi määr ja keskmine aastase tootluse määr.

Lisaks tasuvusanalüüsile teostatakse ka tootlusandmete võrdlus. Prognoositava tootluse andmed saadakse eelpool kirjeldatud raportist, mis on koostatud Euroopa Komisjoni hallatava PVGIS-5 päikeseenergia analüüsi tarkvaraga. Tegelik tootluse andmed saadakse samuti eelpool kirjeldatud GoodWe inverteri veebiportaalist, kuhu salvestuvad tootlusandmed reaajas. Tootlusandmeid võrreldakse kuude lõikes ja vaadeldavaks ajavahemikuks on september 2020 – märts 2021. Nii tasuvusanalüüsi tabelarvutuse väljavõtte kui tootlusandmete võrdlus on toodud peatükis 3.3.

## 2.4 Ülevaade riskidest ja võrdlus teiste investeerimise võimalustega

Võimalikke riske, mis kaasnevad isikliku päikesepargi rajamise teel taastuenergiasse investeerimisega, käsitletakse loetelu ja arutelu vormis. Sellega luuakse ülevaatlik nimistu asjaoludest, millega sellise investeeringu puhul arvestada tuleb ning millised on võimalikud kaotuspunktid. Samuti loob selline ülevaade hea võimaluse võrdlemaks seda investeerimist teiste sarnaselt ligipäätavate investeerimise võimalustega. Riskianalüüsi osana esitatakse ka tasuvusanalüüsi negatiivne stsenaarium, mis põhineb PVGIS-5 raporti minimaalse tootluse andmetel.

Võrdluses teiste investeerimise võimalustega võetakse aluseks selle investeeringu omadused, et leida sarnaselt ligipäätavaid investeerimise võimalusi ja seejärel kõrvutatakse nende investeerimise potentsiaalseid tootlusnäitajaid. Isikliku päikesepargi rajamise teel taastuenergiasse investeerimise omadused on järgnevad:

- Ühekordne investeerimine (investeeritakse üks kindel summa korraga ja edaspidiselt investeerimise mahtu ei suurendata)
- Investeerimise periood 25 a (garanteeritud tootlusega kasutusperiood)
- Madala riskiga kindel tootlus (toodetud elektri müük börsihinna alusel ja riikliku garantiiga taastuenergia toetus)
- Pidev rahavoog (igakuised väljamaksed vastavalt toodangule)
- Investeerimise kättesaadavus (investeerimine on kõigile kättesaadav ja teostatav, majandusala haridus ja spetsiifilised investeerimise alased teadmised ei ole eelduseks)

Nii riskide ülevaates kui ka investeerimisvõimaluste võrdluses võetakse arvesse, et käesolev päikesepark on rajatud täies mahus isiklikku kapitali kasutades. See tähendab, et investeerimise finantseerimisel ei ole kasutatud laenumeeid, mistõttu ei kaasne ka tagasimaksetest või intressidest tulenevaid lisakulusid. Ülevaade riskidest ja võrdlus teiste investeerimise võimalustega on toodud peatükis 3.4.

## 3 TULEMUSED JA ARUTELU

### 3.1 Saadud pakkumiste ülevaade ja võrdlus

Eleringi taastuenergia toetuse tingimustest lähtuvalt (Elering AS, 2020) alustati protsessi maksimaalse toetatud tootmisvõimsusega (50 kW) päikesepargi rajamise eesmärgil. Nendel tingimustel püstitatud hanke korras saadi pakkumised kolmelt teenusepakkujalt ning pakkumistest saadud andmeid kõrvutades koostati ülevaatlik võrdlustabel (tabel 3.1). Ärietikast lähtuvalt ei ole tabelis 3.1 toodud teave esitatud nimeliselt ega kattu tabeli pealdises toodud järjestusega.

Tabel 3.1 50 kW võimsusega päikesepargi hanke tulemused (Pro-Solar OÜ, Solar4you OÜ & Sunservice OÜ, 2019)

<b>Pakkuja</b>	Pakkuja A	Pakkuja B	Pakkuja C
<b>Paneeli võimsus, W</b>	400	385	360
<b>Paneelide arv</b>	160	160	162
<b>Paneelide võimsus, kW</b>	64	61,6	58,32
<b>Ülevõimendus, %</b>	28	23,2	16,64
<b>Hind</b>	46 116,00 €	50 558,40 €	45 920,64 €
<b>Hind kW kohta</b>	720,56 €	820,75 €	787,39 €

Hanke tulemusena saadud info põhjal selgus, et investeringu maht on sobilikus suurusjärgus ja seejärel alustati läbirääkimisi päikesepargi rajamise eesmärgil. Läbirääkimiste käigus selgus oluline tõsiasi, et rajatava päikesepargi asukohani ulatuv infrastruktuur võimaldab rajada maksimaalselt 20 kW võimsusega päikeseparki. 50 kW päikesepargi rajamiseks tuleks olemasolevat infrastruktuuri parendada ja see tooks kaasa lisainvesteeringu suurusjärgus 20 000 € ning see jääks päikesepargi rajaja kanda. Sellises mahus lisainvesteering vähendab oluliselt päikesepargi potentsiaalset tootlust ja seetõttu jätkati protsessi 20 kW tootmisvõimsusega päikesepargi rajamise eesmärgil. Uutel tingimustel püstitatud hanke korras saadi pakkumine neljalt teenusepakkujalt ja saadud andmete põhjal koostati uus ülevaatlik võrdlustabel (tabel 3.2, järgmisel leheküljel).

Ärietikast lähtuvalt ei ole tabelis 3.2 toodud teave esitatud nimeliselt ega kattu tabeli pealdises toodud järjestusega.

Tabel 3.2 20 kW võimsusega päikesepargi hanke tulemused (Naps Solar Estonia OÜ, Pro-Solar OÜ, Solar4you OÜ & Sunservice OÜ, 2020)

<b>Pakkuja</b>	Pakkuja A	Pakkuja B	Pakkuja C	Pakkuja D
<b>Paneeli võimsus, W</b>	325	400	385	320
<b>Paneelide arv</b>	72	64	62	80
<b>Paneelide võimsus, kW</b>	23,4	25,6	23,87	25,6
<b>Ülevõimendus, %</b>	17	28	19,35	28
<b>Hind</b>	18 573,00 €	20 088,00 €	21 573,60 €	23 220,00 €
<b>Hind kW kohta</b>	793,72 €	784,69 €	903,80 €	907,03 €

Hanke korras saadud pakkumiste põhjal osutus valituks Pakkuja A. Pakkuja A ei suutnud küll tagada kaasaegseimat tehnoloogiat ega parimat hinda kW kohta, kuid terviklahenduse lõpphind oli võrreldes teistega märgatavalt soodsam. Seetõttu otsustas tellija, et kohene hinnavõit väiksema investeeringu mahu pealt on kasulikum, kui mõne teise pakkuja lahendusest tulenev potentsiaalselt suurem ja/või stabiilsem tootlus. Päikesepargi rajamise kestel tekkis Pakkujal A mõningaid probleeme lepingu täitmisega ja kompromisslahendusena pakuti välja, et kokkulepitud terviklahenduse lõpphinna juurde jäädes kasutatakse paremaid komponente. Seetõttu muutus Pakkuja A pakkumine veelgi soodsamaks ja täiendatud võrdlustabeli (tabel 3.3) alusel saab väita, et valituks osutus parim võimalik pakkumine. Ärietikast lähtuvalt ei ole tabelis 3.3 toodud teave esitatud nimeliselt ega kattu tabeli pealdises toodud järjestusega.

Tabel 3.3 20 kW võimsusega päikesepargi hanke täiendatud tulemused (Naps Solar Estonia OÜ, Pro-Solar OÜ, Solar4you OÜ & Sunservice OÜ, 2020)

<b>Pakkuja</b>	Pakkuja A	Pakkuja B	Pakkuja C	Pakkuja D
<b>Paneeli võimsus, W</b>	340	400	385	320
<b>Paneelide arv</b>	72	64	62	80
<b>Paneelide võimsus, kW</b>	24,48	25,6	23,87	25,6
<b>Ülevõimendus, %</b>	22,4	28	19,35	28
<b>Hind</b>	18 573,00 €	20 088,00 €	21 573,60 €	23 220,00 €
<b>Hind kW kohta</b>	758,70 €	784,69 €	903,80 €	907,03 €

2018. aastal Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonnas koostatud uurimistööst ilmneb, et üldisema päikeseparkide maksumuse turu-uuringu keskmiseks tulemuseks saadi, et ühe 280 W päikesepaneeli maksumus on 113,33 € (135,99 € koos käibemaksuga). Selle tulemuse põhjal saab arvutada, et 1 W tootmisvõimsuse maksumuseks päikesepaneelide puhul saadi keskmiselt 0,49 €. (Rehepapp, 2018) Siinkohal tuleb märkida, et see hind katab ainult päikesepaneelide osa ja selle sisse ei

kuulu mitte ühegi teise PV tootmisjaama komponendi maksumus. Kõrvutamaks saadud tulemust käesoleva uurimuse puhul parima pakkumise andmetega, tuleb teostada samad arvutused. Käesoleva uurimuse parima pakkuja, Pakkuja A täiendatud pakkumisest nähtub, et terviklahenduse hind 1000 W kohta on 758,70 €. Nende andmete põhjal nähtub, et terviklahenduse 1 W, ehk reaalselt tootmist võimaldava 1 W maksumus on 0,76 €. Siinkohal on aga oluline rõhutada, et see tulemus kajastab terviklahenduse hinda, millesse kuulub ka kõikide teiste PV tootmisjaama komponentide maksumus. Täpsema võrdluse saamiseks tuleb teostada sama arvutus ainult Pakkuja A täiendatud pakkumises märgitud paneelide maksumuse osale tuginedes. Pakkuja A täiendatud pakkumises märgitud paneelide koguvõimsus on 24 480 W ja nende paneelide maksumus on ca. 6700 €. Nende andmete põhjal nähtub, et 1 W tootmisvõimsusega päikesepaneelide maksumus sellisel juhul on 0,27 €. Selgub, et 2 aasta jooksul on 1 W tootmisvõimsusega päikesepaneelide maksumus langenud ligi 2 korda. Selline nähtus on tõenäoliselt tingitud päikeseenergia kiirest populaarsuse kasvust ja päikeseenergiast elektrienergia tootmise üksuste mahu kasvust. Saadud võrdluse tulemust sobib kokku võtma ka Richard Swansoni järgi nimetatud Swansoni seadus, mis väidab, et iga kord, kui globaalne päikesepaneelide kumulatiivne koguarv kahekordistub, langevad päikesepaneelide tootmishinnad ca. 20% (Synchro Solar, 2018). Swansoni seaduse analoogia põhjal saab ka väita, et alates 2018. aastast on igal aastal päikesepaneelide kumulatiivne koguarv kahekordistunud.

Saadud pakkumiste, võrdlusandmete ja võrdluste tulemuste põhjal saab veelkord väita, et käesoleva uurimistöö aluseks olev päikeseпарк on rajatud headel tingimustel ja hea ajastusega. Ajastuse puhul on märgilisteks omadusteks Eleringi taastuenergia meetme raamesse mahtumine ja päikeseenergiast elektrienergia tootmiseks mõeldud seadmete arengust, populaarsusest ja mahtude kasvust tingitud soodsamad hinnad. Kõik loetletud omadused ja tingimused valmistasid ette soodsa platvormi taastuenergia tootmise sektorisse sisenemiseks.

## 3.2 Ülevaade päikesepargist

Lõpliku lahendusena valminud rajatise näol on tegemist maapaigaldise tüüpi päikesepargiga, mille moodulid on paigaldatud ühte 36 m pikkusesse ritta. Päikesepargi tootmisvõimsus on 20 kW, kuid moodulite koguvõimsus on 24,48 kW. 22,4% ülevõimendus tagab stabiilsema tootluse ka varjulisemates tingimustes.

Päikesepargi tootmiskomponentidena on kasutusel 72 Jinko Solar Cheetah HC 60M-V 340W moodulit. Tegemist on monokristalliliste elementide tehnoloogial põhinevate moodulitega, mida on täiendatud kahe kaasaegse tehnoloogiaga. Lisatud on PERC tehnoloogia, mis võimaldab päikesekiirgusel mooduli põhjast tagasi peegelduda ja seeläbi uuesti elemente läbida. Teise täiendusena on antud moodulite puhul kasutusel *Half Cell* ehk poolitatud elemendid, mis tähendab, et mooduli siseselt on rohkem päikesekiirgust neelavat pinda. Lisaks on poolitatud elementide puhul tagatud parem jahutus ja madalam töötemperatuur ning risk mehaaniliste rikete tekkeks on madalam. Need moodulid vastavad ISO9001:2008, ISO14001:2004 ja OHSAS18001 standartidele. Lisaks on neile omistatud IEC61215, IEC61730, UL1703 ja TÜV NORD sertifikaadid. (Jinko Solar Co., Ltd, 2020) Jinko Solar pälvis 2020. aastal koha ka 10 parima päikesepaneelide tootja seas (Shearston, 2020). Pakkuja poolne garantii päikesepaneelidele on 12 aastat ja võimsusgarantii väljundvõimsusele 80% nominaalsest 25 aastat.

Päikesepargi inverterkomponendina on kasutusel GoodWe GW20K-DT 20kW võrku sidumist võimaldav PV inverter. Tegemist on ilmastikukindla ja kaasaegseid nutilahendusi võimaldava komponendiga. Seda inverterit on võimalik ühendada internetivõrku ja seeläbi on võimalik tootlust reaajas jälgida. Lisaks teostab süsteem regulaarselt enese-diagnostikat ja annab võimalikest tõrgetest sama portaali kaudu teada. (GoodWe Power Supply Technology Co., Ltd., 2020) Kirjeldatud veebiportaali nimetus on GoodWe SEMS Portal ja selle kaudu saadakse tootmiskahtude võrdluses kasutatavad andmed reaalse tootluse kohta (GoodWe Power Supply Technology Co., Ltd., 2021). Pakkuja poolne garantii inverterile on 5 aastat.

Täiendavate kuludena lisandusid kohapealse jaotuskilbi sisu uuendamine, elektriarvesti asendamine kahepoolse arvestiga, kaevetööd ja piirdeaia püstitamise. Lisakulude maksumus oli ca. 2500 € ja seetõttu võib kogu investeeringu suuruseks arvestada ca. 21 100 €. Päikesepark alustas tööd 8. septembril 2020 ja tootlusandmete võrdluses kasutatakse andmeid ajavahemikust september 2020 – märts 2021.



Joonis 3.1 Uurimuse aluseks olev päikesepark valmimisjärgselt (Autori foto)

### 3.3 Tasuvusanalüüs ja tootlusandmete võrdlus

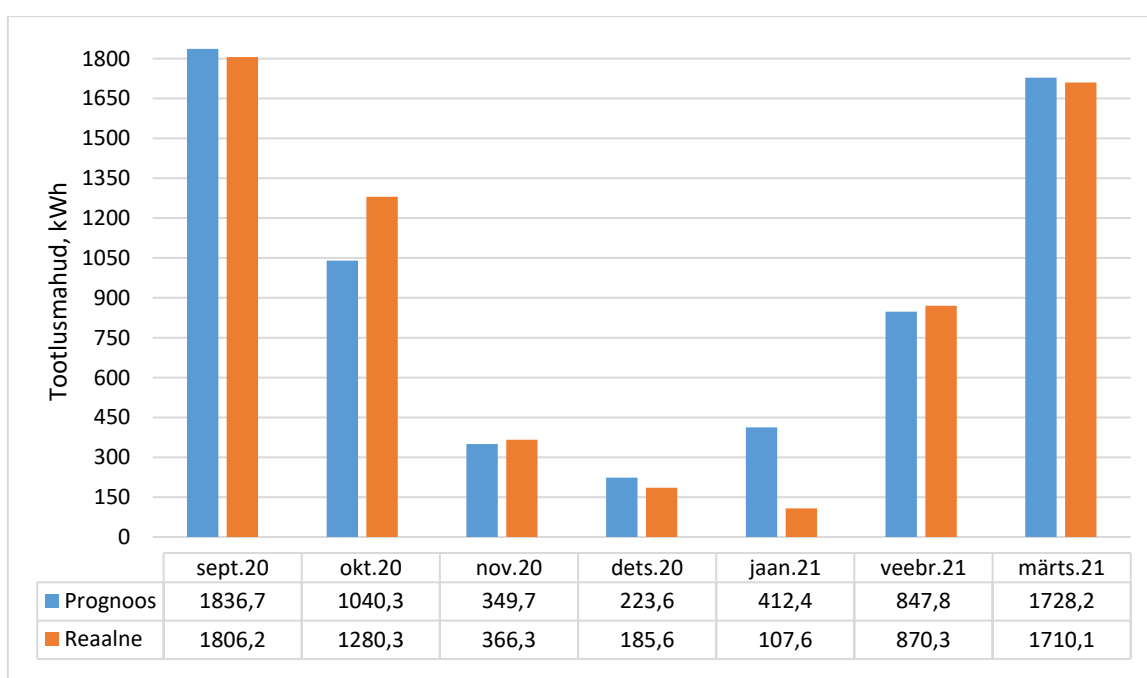
Tabel 3.4 on väljavõtte tasuvusanalüüsi arvutustabelist. Arvutustabeli algandmetena kasutati peatükis 2.3 toodud andmeid. Osa tabelis toodud andmetest on kombineeritud – aastase tootluse maht on liigendatud iga-aastase efektiivsuse langusega, börsihind on liigendatud prognoositava iga-aastase hinnatõusuga ja tulu toetusest on esitatud tootluse ja toetuse määra liigendatud kujul.

Tabel 3.4 Väljavõtte tasuvusanalüüsi arvutustabelist

AASTA	1	2	3	...	25
<b>TOOTLUS, kWh</b>	20695,96	20695,95	20695,94	...	20695,77
<b>BÖRSIHIND, €/kWh</b>	0,03369	0,03436	0,03505	...	0,05419
<b>TULU ELEKTRI MÜÜGIST, €</b>	697,25	711,19	725,42	...	1121,47
<b>TULU TOETUSEST, €</b>	1111,37	1111,37	1111,37	...	0,00
<b>TULU KOKKU, €</b>	1808,62	1822,56	1836,79	...	1121,47
<b>KUMULATIIVNE TULU, €</b>	1808,62	3631,18	5467,97	...	35669,36

Tabelarvutuse tulemusena ilmneb, et investeeringu tasuvusaeg on ca. 11,5 a. Sellist tasuvusaega võib käesoleva investeeringu kontekstis pidada mõistlikuks, sest omafinantseeringu tagasi teenimiseks kulub vähem, kui pool kogu investeeringu perioodist. Lisaks pakub see investering pidevat rahavoogu kogu investeeringu

perioodi kestel, mis loob võimalused osa kapitalist juba varem uutesse investeringutesse suunata. 25 aastase kasutusperioodi puhul on prognoositav kumulatiivne tulu (elektri müügist ja taastuenergia toetusest saadav kombineeritud tulu) 35 669,36 €. Ca. 21 100 € suuruse alginvesteeringu puhul tähendab see, et kasutusperioodi lõpuks on kasumit teenitud 14 569,36 €, mis määrab protsentuaalseks kasumiks 69,05%. Jagades kasumi määra kasutusperioodi pikkusega saame keskmiseks aastaseks kasumlikkuse protsendiks 2,76%. Iga-aastane keskmine tootluse määr on aga 6,76% - see näitab, kui suur osa investeeringu summast iga-aastaselt tagasi teenitakse. Hinnang ja arutelu tootluse kohta on toodud peatükis 3.4 kombineerituna võrdlusega teiste samaväärsete investeeringutega.



Joonis 3.2 Prognoositud tootlusandmete ja reaalse tootlusandmete võrdlus vaadeldaval perioodil kuude lõikes

Joonisel 3.2 on esitatud PVGIS-5 päikeseenergia analüüsi tarkvaraga koostatud raportist pärinevad prognoositava tootluse andmed (Euroopa Komisjon, 2020) ja GoodWe inverterkomponendi andmeserverist pärinevad reaalse tootluse andmed (GoodWe Power Supply Technology Co., Ltd., 2021). Andmed on toodud vaadeldava perioodi (september 2020 – märts 2021) kohta kuude lõikes. Jooniselt nähtub, et valdavalt kattuvad reaalse tootluse andmed prognoositutega. Anomaaliad esinevad vaid kahe kuu tootluse andmete vahel – oktoobris 2020 ületas reaalne tootlus prognoosi 240 kWh võrra, kuid jaanuaris 2021 jäi reaalne tootlus prognoosist 304,8 kWh võrra väiksemaks. Need anomaaliad on autori hinnangul seletatavad asjaoluga, et looduslikke tsükleid ei ole võimalik täielikult ette prognoosida. Lisaks on vaatluse all vaid esimese aasta reaalse

tootluse andmed ja võib eeldada, et kasutusperioodi lõpus saadavad keskmistatud tootlusandmed ühtivad prognoosiga täpsemalt.

### 3.3.1 Tasuvusanalüüs ilma taastuenergia toetuseta

Tabel 3.5 kujutab tasuvusanalüüsi tulemust juhul, kui päikesepark oleks rajatud taastuenergia toetuse meetme väliselt ja toetusmeetme põhine tulu puuduks.

Tabel 3.5 Väljavõtte tasuvusanalüüsi arvutustabelist ilma taastuenergia toetuseta

<b>AASTA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>...</b>	<b>25</b>
<b>TOOTLUS, kWh</b>	20695,96	20695,95	20695,94	...	20695,77
<b>HINNAPROGNOOS, €/kWh</b>	0,03369	0,03436	0,03505	...	0,05419
<b>TULU ELEKTRI MÜÜGIST</b>	697,25	711,19	725,42	...	1121,47
<b>TULU KOKKU</b>	697,25	711,19	725,42	...	1121,47
<b>KUMULATIIVNE TULU</b>	697,25	1408,44	2133,85	...	22332,91

Taastuenergia toetust mitte arvestava tabelarvutuse tulemusena selgub, et investeringu tasuvusaeg pikeneks ca. 24 aastani. Sellise tasuvusaja puhul ei oleks taoline investering enam kasumlikkuse kontekstis otstarbekas, sest omainvesteering saadaksegi tagasi alles kasutusperioodi lõpuks. Taastuenergia toetuseta kujuneks prognoositav kumulatiivne tulu kasutusperioodi lõpuks 22 332,91 €, millest puhaskasumi suurus oleks 1 232,91 €. Selliste summade juures kujuneks projekti kasumlikkuseks 5,84% kogu kasutusperioodi peale ja 0,23% iga-aastaselt. Aastase tootlikkuse määr jääks 4,23% peale. Taoliste kasumlikkuse ja tootlikkuse määrade juures ei saaks sellist projekti enam investeringuks pidada. Küll aga säiliks sellise projekti puhul isemajandamise võimekus ja otstarbekus soodsa elektrienergia tootmise eesmärgil.

### **3.4 Ülevaade riskidest ja võrdlus teiste investeerimise võimalustega**

Järgnevalt on toodud nimistu riskidest, mis kujutavad suurimat ohtu isikliku päikesepargi tootlusele:

- Loodusõnnetused
- Vandalism
- Finantseerimisest tulenevad kohustused (laenukohustused)
- Inflatsioon
- Elektri börsihinna langus
- Tootluseisakud
- Ootamatud lisainvesteeringud

Uurimuse aluseks oleva investeeringu riskidena saab välja tuua peamiselt vääramatust jõust mõjutatud riske. See tähendab, et investeeringu tootlus ja väärtus on enim ohustatud ennustamatute sündmuste, nagu loodusõnnetuste, vandalismi ja muu säärase poolt. Selliste riskide maandamiseks on päikesepargi ümber rajatud nõuetele vastav piirdeaed, mille olemasolu alusel on sõlmitud ka kindlustusleping päikesepargi omaväärtuse kaitseks. Laenukohustustest tulenevaid majanduslikke riske selle konkreetse investeeringu puhul ei ole, sest tegemist on ainult omakapitalil põhineva investeeringuga. Majanduslikust aspektist tulenev inflatsioonirisk ei ole samuti selle investeeringu puhul suurema ohu allikaks. Toodetud elektrienergiat müüakse börsihinna alusel ja võib eeldada, et inflatsiooni korral adapteerub ka elektri börsihind vastavalt, mistõttu adapteerub ka elektri müügist saadav tulu. Inflatsiooni korral kahaneb aga taastuvenergia toetuse väärtus, sest see põhineb kindlal toetusmääral. Täiendavate riskidena võib välja tuua ka päikesepargi hooldus- või remondivajadusest tulenevate seisakute ajal saamata jäänud tulu. Lisaks eksisteerib ka võimalus, kus mõne globaalse mõjuga sündmuse tagajärjel langeb elektri börsihind selliselt madalale tasemele, et elektri müügist saadav tulu ei vasta prognoositud tulule. Selline stsenaarium on aga järjest kasvava elektrivajaduse kontekstis ebatõenäoline ja hinnapakkumiste osana saadud prognooside kohaselt on elektri börsihind tõusmas. Ootamatute lisainvesteeringute all mõistetakse eelkõige remondi- või hooldusvajadusega kaasnevaid täiendavaid kulusi, mis võivad investeeringu mahtu suurendades tootlust vähendada. Selles osas maandavad riske peatükis 3.2 toodud pakkuja poolsed garantiitingimused, mis päikesepaneelide puhul katavad investeeringu tasuvusaja ja inverterkomponendi puhul ligi poole tasuvusajast. Lisaks on olemas pakkuja poolne tehniline tugi ka peale garantiiperioodi lõppemist ja spetsialistide hinnangul ei ole määrava mõjuga lisakulutuste tekkimine tõenäoline.

Tabelis 3.6 on toodud väljavõtte tasuvusanalüüsi tabelarvutusest, mille aluseks on PVGIS-5 raporti tootlusandmed negatiivsema stsenaariumi järgi.

Tabel 3.6 Väljavõtte minimaalse tootlusmahuga tasuvusanalüüsi arvutustabelist

<b>AASTA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>...</b>	<b>25</b>
<b>TOOTLUS, kWh</b>	19850,36	19850,35	19850,34	...	19850,17
<b>BÖRSIHIND, €/kWh</b>	0,03369	0,03436	0,03505	...	0,05419
<b>TULU ELEKTRI MÜÜGIST, €</b>	668,76	682,13	695,78	...	1075,65
<b>TULU TOETUSEST, €</b>	1065,96	1065,96	1065,96	...	0,00
<b>TULU KOKKU, €</b>	1734,72	1748,10	1761,74	...	1075,65
<b>KUMULATIIVNE TULU, €</b>	1734,72	3482,82	5244,56	...	34211,97

Sellisel juhul pikeneb investeeringu tasuvusaeg 12 a peale. Kasutusperioodi lõpuks saadav kumulatiivne tulu on 34 211,97 €, millest puhaskasum on 13 111,97 €. Selliste näitajate juures kujuneb investeeringu kasumlikkuseks 62,14% ja keskmiseks iga-aastaseks kasumlikkuseks 2,49%. Keskmiseks iga-aastaseks tootluseks kujuneb sel juhul 6,49%. Kogu kasutusperioodi kumulatiivse tulu arvestuses on negatiivse stsenaariumi korral kasum 1457,39 € võrra väiksem, kuid iga-aastase kasumlikkuse arvestuses hajub kadu selliselt, et see ei ole märkimisväärne.

Võrreldavate investeerimise võimaluste valikul lähtuti peatükis 2.4 toodud investeeringu omadustest, millest prioriteetseks omaduseks oli investeeringu kättesaadavus ja ligipääsetavus. See tähendab, et investeerimise eelduseks ei ole spetsiifilised majandus- või investeerimise alased teadmised ja investeerimisega alustamiseks ei tule läbida vastavasisulisi kontrollanalüüse, luua väärtpaperikontosid ega täita muid spetsiifilisi lisakohustusi. Nende kriteeriumite alusel ilmnes, et samaväärselt ligipääsetavad on hoiused ja ka II samba pensionifondid. Järgnevalt on toodud võrdlustabelid, milles kõrvutatakse käesolevat investeeringut Eesti kolme tuntuma panga (Swedbank, SEB, LHV) pakutavate hoiuselahenduste ja pensionifondidega. Võrreldavate investeerimise võimalustena ei ole käsitletud erinevaid erakapitalil põhinevaid hoiuseid ja hoiulaenuühistute pakutavaid võimalusi, sest nende riskitase ületab isikliku päikesepargi oma ja nendesse investeeringutesse sisenemine on ka keerulisem. Täiendavalt tuleb lisada, et võrreldavate investeerimise võimaluste valikul oli investeeringusse sisenemise lihtsus prioriteetse tähtsusega seetõttu, et päikesepargi rajamine iseenesest oli antud juhul bürokraatlikust poolest samuti lihtne. Päikesepargi rajamise osana kuulus ka kõikide lubade taotlemine, auditite teostamine ja lepingute ettevalmistamine teenusepakkuja kohustuste hulka.

Tabelis 3.7 on toodud päikesepargi tasuvusanalüüsi tabelarvutuse tulemusena saadud prognoositav keskmine iga-aastane kasumlikkus ja kolme Eesti tuntuma panga hoiuselahenduste pakutav iga-aastane kasv ehk kasumlikkus.

Tabel 3.7 Päikesepargi ja pangahoiuste aastaseid tootlusi võrdlev tabel (Swedbank, SEB & LHV, 2021)

Päikesepargi kasumlikkus	Hoiused		
	Swedbank	SEB	LHV
2,76%	0,01%	0,01%	0,01 - 0,05%

Swedbankil on valikus kogumishoius ja tähtajaline hoius ning mõlema puhul pakutakse iga-aastaseks kasvuks 0,01%. Tähtajalise hoiuse maksimaalseks pikkuseks on 5 a. (Swedbank AS, 2021) SEB pank pakub samuti nii kogumishoiust kui tähtajalist hoiust ja mõlema puhul on kasvuks samuti 0,01%. SEB pakutava tähtajalise hoiuse maksimaalseks pikkuseks on 3 a. (AS SEB Pank, 2021) LHV panga tootevalikust leiab tähtajalise- ja nõudmiseni hoiuse. Tähtajalise hoiuse puhul on alates 9 kuu pikkusest perioodist võimalik 0,05% kasv aastas. Nõudmiseni hoiuse puhul on võimalik 0,01% iga-aastane kasv. (AS LHV Group, 2021)

Toodud andmete põhjal nähtub, et päikesepargi iga-aastane kasumlikkus ületab pankade pakutavate hoiuselahenduste kasumlikkused mitmekordselt. Tuleb tõdeda, et pankade hoiuselahendused on eelkõige mõeldud soovitud summa säästmiseks, kuid arvestades pankade teiste pakutavate investeerimisvõimaluste keerukust ja spetsiifikat, on hoiused selles kontekstis siiski võrdseim võimalus pankade kaudu investeerimisega alustamiseks. Kokkuvõtvalt saab öelda, et 2020. aasta taastuenergia toetuse projekti raames rajatud isiklik päikeseпарк on investeringu eesmärgil efektiivsem ja suuremat kasumlikkust pakkuv võimalus, kui pankade poolt pakutavad hoiuselahendused. Lisaks tagab isiklik päikeseпарк pideva rahavoo, sest toodetud elektri mahule vastavalt tehakse igakuiseid väljamakseid. Pidev rahavoog võimaldab osa rahast juba varem uutesse investeringutesse suunata.

Tabelis 3.8 on toodud päikesepargi tasuvusanalüüsi tabelarvutuse tulemusena saadud prognoositav keskmine iga-aastane kasumlikkus ja kolme Eesti tuntuma panga pensionifondide viimase viie aasta keskmine iga-aastane kasv.

Tabel 3.8 Päikesepargi ja pensionifondide aastaseid tootlusi võrdlev tabel (Swedbank, SEB & LHV, 2021)

Päikesepargi kasumlikkus	Pensionifondid		
	Swedbank	SEB	LHV
2,76%	0,91%	0,42%	0,35%

Tabelis esitatud pensionifondid on valitud päikesepargi omaniku vanust arvestava soovitusel põhjal. See tähendab, et tegemist on võlakirjadele fookuseeritud ja madalama riskitasemega fondidega. Swedbanki fondivalikust vastab seatud kriteeriumitele Swedbanki konservatiivne K10 pensionifond. Selle fondi puhul investeeritakse võlakirjadesse, hoiustesse ja rahaturuinstrumentidesse vähemalt 90% ning ülejäänu ulatuses tehakse investeringuid aktsiariskiga instrumentidesse. Swedbanki konservatiivse K10 pensionifondi viimase viie aasta keskmine iga-aastane kasv on 0,91% ja sellest ei ole maha arvatud valitsemistasu ega jooksvaid tasusid. (Swedbank AS, 2021) SEB panga pensionifondide valikust vastab kriteeriumitele SEB Konservatiivne pensionifond. Selle fondi investeerimisstrateegia kattub Swedbanki konservatiivse K10 pensionifondi omaga. SEB panga pakutava Konservatiivse pensionifondi viimase viie aasta keskmine iga-aastane kasv on 0,42% ja sellest ei ole maha arvatud valitsemistasu ega jooksvaid tasusid. (AS SEB Pank, 2021) LHV panga valikust vastab etteantud nõudmistele LHV Pensionifond XS. Selle fondi investeerimisstrateegia kattub eelpool kirjeldatud Swedbanki ja SEB panga pensionifondide strateegiatega. LHV panga pakutava LHV Pensionifond XS fondi viimase viie aasta keskmine iga-aastane kasv on 0,35%, aga sellest on maha arvatud kõik tasud. (AS LHV Group, 2021)

Toodud andmete põhjal ilmneb, et päikesepargi iga-aastane kasumlikkus ületab samaväärse riskitasemega pensionifondide iga-aastast kasvu mitmekordselt. On selge, et pensionifondide valikus leidub ka suurema potentsiaalse kasvuga fonde, kuid nende puhul kaasneb ka päikesepargi investeringuga võrreldes oluliselt suurem riskitase. Nagu ka võrdluses hoiuselahendustega mainiti, pakuvad pangad ka täiendavaid investeerimise võimalusi, kuid need nõuavad päikesepargi investeringuga võrreldes rohkem spetsiifilisi teadmisi ja panustamist investeringute haldamisse. Kokkuvõtvalt selgub, et käesolevatel tingimustel rajatud isiklik päikesepark on ligipääsetavuse, madala riski, pideva rahavoo ja kindla ning stabiilse tootluse kontekstis parim võimalik valik sarnaste omadustega investeringute seas. Lisaks pakub investering isiklikku päikeseparki võimalust kasutusperioodi lõppedes saada seadmete müügi arvelt täiendavat tulu või seadmeid uuendades pikendada investeringu perioodi. Veel on isikliku päikesepargi rajamine ainus võimalus võrreldud valikutest, mille kaudu on võimalik otseselt panustada keskkonda ja jätkusuutlikku energia tootmisesse.

## JÄRELDUSED

Eleringi taastuenergia toetuse meetme raames rajatud erapäikesepargi rajamise protsess kulges üldjoontes edukalt – elektrienergia tootmiseks püstitati päikesepark ettenähtud kohta ja ilma teenusepakkuja poolsete suuremate möödalaskmisteta. Kogu protsessi puhul võib suurimaks eksimuseks, mille tõttu lükkus lõpptulemuse saavutamine arvestatavas ajamahus edasi, pidada tellija poolset mõneti puudulikku eeltööd, mistõttu alustati asjaajamist kohaliku infrastruktuuri võimekusega arvestamata. Seetõttu koostati esialgne hankevoor päikesepargi püstitamiseks eesmärgiga rajada 50 kW tootmisvõimekusega päikesepark. Selle hankevooru tulemuste najal edasi liikudes ilmnes aga oluline asjaolu, et kohalik infrastruktuur võimaldab maksimaalselt 20 kW tootmisvõimekusega päikesepargi rajamist. See eksimus oli aga tingitud asjaolust, et tellijal puudus igasugune varasem kokkupuude seda tüüpi projekti teostamisega ja samuti ei pööratud sellele nüansile tähelepanu ka esmaste läbirääkimiste ja teabe hankimiste käigus. 20 kW päikesepargi rajamise eesmärgil korraldatud hankevooru võib osalejate arvu poolest pidada aga veelgi edukamaks ja saadud tulemuste põhjal osutus võitjaks Pakkuja A. Võitjaks osutunud pakkujal tekkis aga lepingu täitmisega teatavaid probleeme, mis olid tõenäoliselt tingitud Eleringi taastuenergia toetuse meetme lõpuperioodi tõttu kasvanud päikeseparkide rajamise tööde mahust. Nende probleemide osas jõuti osapooli rahuldavate lahendusteni. Seetõttu koostati lõplikult valminud päikesepark parematest komponentidest, kui algselt kokku lepitud, jäädes sealjuures esialgse projekti maksumuse juurde. Võrdluses 2018. aastal koostatud uurimusega, mis kajastab sama aasta päikeseparkide komponentide maksumusi selgus, et tänava rajatud päikesepargi päikesepaneelide hind 1 W kohta on ligi 2 korda soodsam, kui toona. Nendest tulemustest järeldub, et uurimistöö aluseks oleva päikesepargi rajamiseks valiti lõpptulemuse põhjal parim võimalik pakkumine. Samuti on käesolev päikesepark rajatud headel tingimustel ja hea ajastusega, sest päikesepargi rajamine on 2018. aastaga võrreldes muutunud ligi 2 korda soodsamaks.

Käesoleva päikesepargi tasuvusanalüüsist saadud tulemuste põhjal nähtub, et selle projekti perioodi ehk päikesepargi kasutusea lõpuks on prognoositava kasumi suuruseks 14 569,36 €, mis määrab protsentuaalseks kasumiks 69,05%. Sellisel juhul jääb keskmiseks aastaseks kasumlikkuse protsendiks 2,76%. Iga-aastane keskmine tootluse määr on sealjuures aga 6,76% ja selliste määrade juures jääb projekti tasuvusaeg ca. 11,5 aasta juurde. Saadud tulemusi võib pidada mõistlikeks ja rahuldavateks, sest projekti tasuvusaeg on vähem, kui pool projekti kogu kestusest ja kasumlikkuse ning tootlikkuse näitajad on samuti ootuspärased. Näitlikustamiseks Eleringi taastuenergia

toetuse meetme vajalikkust käesoleva projekti puhul teostati ka tasuvusanalüüs, milles ei kajastatud Eleringi taastuenergia toetusest saadavat tulu. Sellisel juhul pikeneks käesoleva päikesepargi tasuvusaeg 24 aastani ja kasumlikkuse näitajate põhjal ei saaks projekti enam kasumlikuks pidada. Tasuvusanalüüsi peatükis kajastatud tootlusandmete võrdlus prognoosandmete ja vaadeldava perioodi reaalaandmete vahel näitab, et prognoositud mahtude täitmine on täiesti reaalne ja selles osas võib päikesepargi toimimist pidada samuti ootuspäraseks. Sellegipoolest esines anomaaliaid kahe kuu näitude osas, kus ühel juhul ületas reaalne tootlus prognoosi ja teisel juhul jäi reaalne tootlus prognoositust märgatavalt väiksemaks. See aga on selgitatav asjaoludega, et looduslike protsesse ei olegi võimalik täielikult ette ennustada ja samuti võib arvata, et kasutusperioodi lõpus saadavad keskmistatud tootlusandmed kattuvad prognoosandmetega veelgi täpsemalt.

Erapäikesepargi, kui investeeringu puhul selgus, et valdav osa kaasnevatest riskidest liigitub vääramatu jõu riskide ehk ennustamatute riskide alla. See tähendab, et päikesepargi tööd takistavateks või mõjutavateks riskideks on enamasti looduslikest jõududest või nähtustest põhjustatu. Selliste riskide maandamiseks ja alginvesteeringu kaitseks on sõlmitud kindlustusleping ning täidetud on kindlustuslepingu sõlmimise eelduseks olevad tingimused. Majanduslikeks riskideks, mis võiks erapäikesepargi, kui investeeringu tasuvust mõjutada, on samuti globaalse skaalaga intsidendid, mis mõjutavad kogu majanduslikku ja sektoripõhist olukorda. Muidugi on olemas ka riskid, et päikesepargi töö saab takistatud või seisatud ootamatu hooldus- või remondivajaduse tõttu, kuid sel juhul on lisainvesteeringute tegemise vajaduse katteks võrdlemisi pika kestvusega garantiiperioodid. Ühe võimaliku riskina nähakse ka prognoositavate tootlusandmete miinimumstsenaariumit. Seetõttu koostati täiendav tasuvusanalüüs, mis tugineb miinimumprognoosi tootlusmahtudele. Selle tasuvusanalüüsi arvutuskäigu tulemusena selgus, et tasuvusaeg pikeneb sellisel juhul 12 aastani. Kasutusperioodi lõpuks saadava kasumi suurus on sellisel juhul 13 111,97 €, mille puhul kujuneb investeeringu kasumlikkuse määraks 62,14% ja keskmiseks iga-aastaseks kasumlikkuseks 2,49%. Keskmiseks iga-aastaseks tootluseks kujuneb sel juhul 6,49%. Kogu kasutusperioodi kumulatiivse tulu arvestuses jääb kasum miinimumprognoosi stsenaariumi korral 1457,39 € võrra väiksemaks.

Võrdluses teiste samaväärselt lihtsasti sisenetavate, samaväärse riskitaseme ja samaväärseid teadmisi eeldavate investeeringu võimalustega selgus, et käesolev investeering taastuenergia tootmisse erapäikesepargi näol on tasuvam, kui teised kriteeriumitele vastavad võimalused. Võrdluses hoiuselahendustega selgus, et kui hoistega on võimalik saavutada iga-aastaseks kasumlikkuseks 0,01%-0,05%, siis

erapäikesepargi iga-aastaseks kasumlikkuseks on prognoositud 2,76%. Töö autor on teadlik, et võrdluses kasutatud hoiuselahendused on mõeldud eelkõige kapitali säilitamiseks, kuid muude, eraalgatuslike hoiuselahendustega, mis prognoosivad kõrgemat kasumlikkust, kaasneb ka märgtavalt suurem risk ja samuti on nendes võimalustesse sisenemine keerulisem. Võrdluses pensionifondidega lähtuti pensionifondide valikul erapäikesepargi omaniku vanusest. See tähendab, et tegemist on konservatiivsete ehk ca. 90% ulatuses võlakirjadesse investeerivate fondidega. Võrdluse tulemusena selgus, et vastavate pensionifondide iga-aastane kasumlikkus on seniste andmete põhjal kuni 0,91%. Kõrvutades seda erapäikesepargi iga-aastase prognoositava kasumlikkusega 2,76% näeme, et investering päikeseparki on taaskord tasuvam. Ka pensionifondide puhul on töö autor teadlik, et valitud pensionifondidele on ka kasumlikemaid alternatiivseid pensionifonde ja ka teisi investeerimise vahendeid, kuid ka nende võimalustega kaasneb suurem risk. Lisaks on suuremat kasumlikkust prognoosivate investeerimise instrumentide kasutamise eelduseks ka spetsiifilisemad teadmised nii majandusest üldiselt kui ka investeerimisest.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli anda ülevaade ühe 20 kW tootmisvõimsusega erapäikesepargi rajamise protsessist Eleringi taastuenergia toetuse meetme raames ja kajastada selle projekti, kui investeeringu, omadusi. Eesmärgist tulenevalt toodi töös välja uurimuse aluseks oleva erapäikesepargi tehniline kirjeldus, tasuvusanalüüs koos selle variatsioonidega, ülevaade võimalikest kaasnevatest riskidest, tootlusandmete võrdlus ja võrdlus teiste sarnaste omadustega investeerimise võimalustega.

Uurimuse aluseks oleva erapäikesepargi rajamise eesmärgil viidi läbi kaks hangete vooru. Esimene neist püstitati 50 kW tootmisvõimsusega päikesepargi rajamiseks, kuid seejärel ilmnas, et sellise tootmisvõimsusega päikeseparki ei ole võimalik soovitud asukohta sealse infrastruktuuri piiritletusse tõttu rajada. Seejärel püstitati uus hanke voor 20 kW tootmisvõimsusega päikesepargi rajamiseks ja selle vooru parima pakkujaga alustati koostööd. Ehitusprotsessi käigus ilmnas teenusepakkujal teatavaid probleeme, mistõttu pakuti kompromisslahendusena paremaid koostekomponente esialgse projekti maksumuse juurde jäädes. Lõpplahendusena valminud päikesepark andis kinnitust, et valituks osutus parim võimalik pakkumine.

Koostatud tasuvusanalüüsi põhjal saadud tulemused uurimuse aluseks oleva erapäikesepargi projekti tasuvusaja, kasumlikkuse ja tootlikkuse kohta olid ootuspärased ja rahuldavad. Eleringi taastuenergia toetusmeetme olulisuse näitlikustamiseks koostati teine tasuvusanalüüs, milles ei arvestatud toetusest saadavat tulu. Selle tasuvusanalüüsi tulemused olid Eleringi taastuenergia toetusmeetme olulisuse näitlikustamise mõttes ootuspärased, aga kinnitasid ka, et sellisel juhul oleks projekti tasuvusaeg ebamõistlikult pikk ja projekti ei saaks enam pidada kasumlikuks investeeringuks. Tasuvusanalüüsiga paralleelselt teostati ka prognoositud tootlusandmete ja vaadeldava perioodi reaalsete tootlusandmete võrdlus. Sellest võrdlusest selgus, et prognoositud tootluse saavutamine on täiesti reaalne. Kahe kuu andmete puhul esines ka anomaaliaid, kuid looduslikud protsessid ei olegi täielikult ennustatavad. Lisaks võib eeldada, et päikesepargi kasutusperioodi lõpus saadavad keskmistatud tootlusandmed kattuvad prognoositutega veelgi täpsemalt.

Investeeringuga kaasneda võivate potentsiaalsete riskide ülevaatest ilmnas, et valdav osa riskidest liigitub vääramatu jõu ehk ennustamatute riskide kategooriasse. Päikesepargi tööd takistavate, päikeseparki kahjustavate või muul moel alginvesteeringut kahjustada võivate riskide maandamiseks on sõlmitud päikeseparki ja alginvesteeringut kattev kindlustusleping ning täidetud on kindlustuslepingu

sõlmimise eelduseks olevad tingimused. Päikesepargi tootluse väärtust või muul moel projekti kasumlikkust ja tootlikust kahjustavate riskide puhul leiti, et nende juhtude realiseerumiseks peaks toimuma mingi globaalse mõõtmega sündmus, mis mõjutab kogu sektorit või majandust tervikuna. Seetõttu saab öelda, et sellised riskid laienevad ka mistahes muule investeeringule ja need ei ole selle projekti põhised riskid. Ootamatust hooldus- või remondivajadusest tingitud tööseisakud ja seeläbi tekkida võivate lisainvesteeringute katteks on võrdlemisi pika kehtivusega garantiiperioodid komponentidele. Veel ühe riskina nähakse ka prognoositava tootluse miinimum-stsenaariumit. Sellise stsenaariumi hindamiseks teostati tasuvusanalüüs, mille aluseks olid minimaalsed prognoositavad tootlusmahud. Selle analüüsi tulemuste põhjal ilmnis küll väiksem kasumlikkus, kuid see ei oma projekti pikkust arvestades märgilist tähtsust. Riskide ülevaatega seotult koostati ka võrdlus teiste võimalike investeerimise võimalustega, mis vastaks sarnastele kriteeriumitele. Oluliseks peeti, et investeeringusse sisenemine oleks samaväärselt lihtne, omaks sarnast riskitaset ja ei eeldaks täiendavaid finantsalaseid teadmisi. Sellistele kriteeriumitele vastasid tuntud pankade hoiuselahendused ja konservatiivse iseloomuga pensionifondid. Nende võrdluste tulemusena selgus, et erapäikesepargi kaudu taastuenergiasse investeering võimaldab saada osa suuremast kasumlikkusest. Täiendavaks hüveks on ka veel asjaolu, et erapäikesepark võimaldab stabiilset rahavoogu vastavalt igakuisele tootlusele ja see omakorda võimaldab osa rahast jooksvalt muudesse investeeringutesse suunata.

Kokkuvõtvalt saab väita, et käesoleva uurimistöö aluseks olev erapäikesepark on rajatud tingimustel, mis võimaldab saada osa ootuspärasest kasumlikkusest mõistliku tasuvusajaga projekti kasutusperioodi kestel. Lõpplahendust arvestades saab ka väita, et projekti rajamise protsess kulges võrdlemisi lihtsalt ja tekkinud probleemid lahendati selliselt, et nende tõttu ei kannatanud päikesepargi efektiivsus, kvaliteet ega kogu investeeringu mõttekus. Veelkord tuleb ka mainida, et käesoleva projekti puhul on oluliseks nüansiks ajastus, mis võimaldas osa saada Eleringi taastuenergia toetuse meetmest, ilma milleta ei oleks see projekt investeeringuna tasuv.

## SUMMARY

The purpose of current research was to describe the process of starting a solar park for investment purposes. Depending on the purpose, the main tasks of this research were to

- Create cost-benefit analysis and find the payoff period of this investment,
- Gather data of the pregnable solar energy production and real solar energy production, so it would be possible to create a comparison,
- Create an overview of the risks of starting a solar park as an investment,
- Find another investment instruments that meet similar requirements and create a comparison between these instruments and current solar park investment.

By taking the results of all these performed analysis and comparisons into consideration, it can be said, that this current solar park is a reasonable investment. It is more profitable than the other investment instruments that were used in the comparison, it has reasonable payoff period, and it provides a regular cashflow, which makes it possible to start investing elsewhere during the duration of the solar park project.

Also, it is important to mention, that the timing of this creation has quite essential impact on the profitability of this solar park investment. This park was created, while it was still possible to be part of Elering renewable energy subsidy and this solution has an important role on making this project as profitable as it is. The illustrative cost-benefit analysis, that was created without the income from Elering subsidy made it clear, that the payoff period would not be reasonable anymore and the whole project could not be considered profitable.

Although, few errors occurred during the process, the quality and effectiveness of result was not affected by them. All-in-all, the process can be considered successful and project itself worthwhile.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- Akinsipe, O. C., Moya, D., & Kaparaju, P. (10. märts 2021. a.). Design and economic analysis of off-grid solar PV system in Jos-Nigeria. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125055. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125055
- Aleo Solar. (2021). *Aleo Solar*. Allikas: Aleo Solar'i veebisait: <https://www.aleo-solar.com/perc-cell-technology-explained/>
- AS Eesti Gaas. (2021). *Eesti gaas*. Allikas: Eesti gaasi veebisait: <https://www.gaas.ee/ettevottest/>
- AS LHV Group. (2021). *LHV*. Allikas: LHV hoised: <https://www.lhv.ee/et/investeerimise-abc#investeerimistooted>
- AS LHV Group. (2021). *LHV*. Allikas: LHV pensionifondid: <https://www.lhv.ee/et/pension/ii/fond/xs>
- AS SEB Pank. (2021). *SEB*. Allikas: SEB hoised: <https://www.seb.ee/kogumine-ja-investeerimine/hoised>
- AS SEB Pank. (2021). *SEB*. Allikas: SEB pensionifondid: [https://e.seb.ee/ip/ipank.p?lang=EST&act=FUND\\_DETAILS&isin=EE3600019717](https://e.seb.ee/ip/ipank.p?lang=EST&act=FUND_DETAILS&isin=EE3600019717)
- Behar, O., Sbarbaro, D., & Moran, L. (10. märts 2021. a.). Which is the most competitive solar power technology for integration into the existing copper mining plants: Photovoltaic (PV), Concentrating Solar Power (CSP), or hybrid PV-CSP? *Journal of Cleaner Production*, 287, 125455. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125455
- Bullich-Massagué, E., Cifuentes-García, F.-J., & Glenny-Crende, I. (15. september 2020. a.). A review of energy storage technologies for large scale photovoltaic power. *Applied Energy*, 274, 115213. doi:10.1016/j.apenergy.2020.115213
- Campbell, A., Hanania, J., Jenden, J., & Donev, J. (28. aprill 2020. a.). *Energy Education*. Allikas: Energy Education veebisait: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Fuel\\_vs\\_flow](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Fuel_vs_flow)
- Chowdhury, S., Rahman, K. S., & Chowdhury, T. (jaanuar 2020. a.). An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*, 27, 100431. doi:10.1016/j.esr.2019.100431
- Dharmadasa, I. M., Alam, A. E., & Ojo, A. A. (1. november 2019. a.). Scientific complications and controversies noted in the field of CdS/CdTe thin film solar cells and the way forward for further development. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30, 20330. doi:10.1007/s10854-019-02422-6

- Eesti Taastuvenergia Koda. (2014). *Taastuvenergeetika*. Allikas: Taastuvenergeetika veebisait: <http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2016/12/Taastuvenergia-aastaraamat-2013-1.pdf>
- Eesti Taastuvenergia Koda. (2018). *Taastuvenergeetika*. Allikas: Taastuvenergeetika veebisait: <http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2019/06/ETEK-Taastuvenergia-aastaraamat-2018.pdf>
- Elering AS. (2020). *Elering*. Allikas: Eleringi veebisait: <https://elering.ee/taastuvenergia-toetus>
- Energy Sage. (2021). *Energy Sage*. Allikas: Energy Sage uudiste sait: <https://news.energysage.com/how-much-does-the-average-solar-panel-installation-cost-in-the-u-s/>
- ESTIKO Energia OÜ. (2021). *ESTIKO*. Allikas: ESTIKO veebisait: <https://www.estiko.ee/ettevotted/estiko-energia-ou>
- Euroopa Komisjon. (9. märts 2020. a.). *EU Science Hub*. Allikas: EU Science Hub PVGIS-5 raport: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/releases/pvgis5>
- Fernandez-Reche, J., Canadas, I., & Sanchez, M. (22. september 2006. a.). PSA Solar furnace: A facility for testing PV cells under concentrated solar radiation. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90(15), 2481-2482. doi:10.1016/j.solmat.2006.03.030
- Freedom Solar Power. (12. juuli 2018. a.). *FSP*. Allikas: FSP blogi: <https://freedomsolarpower.com/blog/7-uses-of-solar-energy>
- Furuoka, F. (mai 2017. a.). Renewable electricity consumption and economic development: New findings from the Baltic countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 450-463. doi:10.1016/j.rser.2016.12.074
- GoodWe Power Supply Technology Co., Ltd. (2020). *GoodWe*. Allikas: GoodWe veebisait: <https://www.goodwe.com/commercial-rooftop-inverters/lvdt-dt-series-275.asp>
- GoodWe Power Supply Technology Co., Ltd. (2021). *GoodWe*. Allikas: GoodWe SEMS Portal: <https://www.semsportal.com/Home/Login>
- GreenMatch. (20. juuli 2020. a.). *Greenmatch*. Allikas: Greenmatch'i veebisait: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/what-are-pv-panels>
- GreenMatch. (11. detsember 2020. a.). *Greenmatch*. Allikas: Greenmatch'i veebisait: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>
- GreenMatch. (2021). *GreenMatch*. Allikas: GreenMatch'i veebisait: <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-panel-prices>
- IEA. (24. november 2020. a.). *International Energy Agency*. Allikas: IEA veebisait: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar>

- IRENA. (31. märts 2021. a.). *International Renewable Energy Agency*. Allikas: IRENA veebisait: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Highlights\\_2021.pdf?la=en&hash=1E133689564BC40C2392E85026F71A0D7A9C0B91](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2021.pdf?la=en&hash=1E133689564BC40C2392E85026F71A0D7A9C0B91)
- Jinko Solar Co., Ltd. (2020). *Jinko Solar*. Allikas: Jinko Solar veebisait: [www.jinkosolar.com](http://www.jinkosolar.com)
- Kivimaa, P., & Sivonen, M. H. (mai 2021. a.). Interplay between low-carbon energy transitions and national security: An analysis of policy integration and coherence in Estonia, Finland and Scotland. *Energy Research & Social Science*, 75, 102024. doi:10.1016/j.erss.2021.102024
- Majewski, P., Al-shammari, W., & Dudley, M. (veebruar 2021. a.). Recycling of solar PV panels- product stewardship and regulatory approaches. *Energy Policy*, 149, 112062. doi:10.1016/j.enpol.2020.112062
- MTÜ Märjamaa Päikesepark. (2021). *Märjamaa Päikesepark*. Allikas: Märjamaa Päikesepargi veebisait: <http://paikesepark.ee/>
- Mugisha, J., Ratemo, M. A., & Keza, B. C. (märts 2021. a.). Assessing the opportunities and challenges facing the development of off-grid solar systems in Eastern Africa: The cases of Kenya, Ethiopia, and Rwanda. *Energy Policy*, 150, 112131. doi:10.1016/j.enpol.2020.112131
- Muhammad-Bashir, S., Al-Oufi, M., & Al-Hakami, M. (15. juuli 2020. a.). Comparison between the performance of high concentrated and non-concentrated PV-cells for hydrogen production using PEM water electrolyzers. *Solar Energy*, 205, 461. doi:10.1016/j.solener.2020.05.077
- Musazade, E., Voloshin, R., & Brady, N. (juuni 2018. a.). Biohybrid solar cells: Fundamentals, progress, and challenges. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 35, 134-139. doi:10.1016/j.jphotochemrev.2018.04.001
- Naps Solar Estonia OÜ. (12. mai 2020. a.). Hinnapakkumine. Saku, Harjumaa, Eesti.
- Nogueira, C. E., Bedin, J., & Niedzialkoski, R. K. (november 2015. a.). Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a water pumping system in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1611-1615. doi:10.1016/j.rser.2015.07.082
- Nord Pool AS. (2020). *Nord Pool*. Allikas: Nord Pool'i veebisait: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/EE/Yearly/?view=table>
- NS Energy. (19. märts 2021. a.). *NS Energy*. Allikas: NS Energy veebisait: <https://www.nsenergybusiness.com/features/largest-solar-power-plants-india/>

- Powerark Solar. (7. jaanuar 2020. a.). *Powerark Solar*. Allikas: Powerark Solar'i veebisait: <https://powerarksolar.com.au/what-is-half-cell-technology-what-is-the-difference/>
- Pro-Solar OÜ. (19. november 2019. a.). Hinnapakkumine. Tallinn, Harjumaa, Eesti.
- Pro-Solar OÜ. (14. veebruar 2020. a.). Hinnapakkumine. Tallinn, Harjumaa, Eesti.
- Punamäe, O. M. (4. jaanuar 2021. a.). *ERR*. Allikas: ERR veebisait: <https://www.err.ee/1227871/eesti-suurima-paikesepargi-rajamine-lukkub-veel-edasi>
- Ravi Kumar, K., Krishna Chaitanya, N., & Sendhil Kumar, N. (1. veebruar 2021. a.). Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation - A review. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125296. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125296
- Rehepapp, M. (2018). *PÄIKESEPANEELIDE KASUTAMISE MAJANDUSLIKU OTSTARBEKUSE VÕRDLUS ERINEVATELE TARBIJATELE EESTIS*. TTÜ Inseneriteaduskond. Tallinn: TalTech digikogu.
- Saini, P., Powar, S., & Patil, D. (jaanuar 2018. a.). Review on Integration of Solar Air Heaters with Thermal Energy Storage. *Energy, Environment, and Sustainability*, 169-170. doi:10.1007/978-981-10-7206-2\_9
- Settino, J., Sant, T., & Micallef, C. (juuli 2018. a.). Overview of solar technologies for electricity, heating and cooling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 892-893. doi:10.1016/j.rser.2018.03.112
- Shah, D. K., KC, D., & Muddassir, M. (1. märts 2021. a.). A simulation approach for investigating the performances of cadmium telluride solar cells using doping concentrations, carrier lifetimes, thickness of layers, and band gaps. *Solar Energy*, 216, 259. doi:10.1016/j.solener.2020.12.070
- Shearston, M. (26. august 2020. a.). *Medium*. Allikas: Medium'i veebisait: <https://medium.com/cyanergy/top-10-global-solar-panels-in-2020-91d94b4313dd>
- Sillak, S., & Kanger, L. (märts 2020. a.). Global pressures vs. local embeddedness: the de- and restabilization of the Estonian oil shale industry in response to climate change (1995–2016). *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34, 104. doi:10.1016/j.eist.2019.12.003
- Solar4you OÜ. (25. november 2019. a.). Hinnapakkumine. Tallinn, Harjumaa, Eesti.
- Solar4you OÜ. (17. veebruar 2020. a.). Hinnapakkumine. Tallinn, Harjumaa, Eesti.
- Solarfund OÜ. (2020). *Solarfund*. Allikas: Solarfundi veebisait: <https://solarfund.ee/>
- Solatube. (2020). *Solatube*. Allikas: Solatube veebisait: <https://www.solatube.com/residential/home-ventilation-solutions/>

- Statistikaamet. (2019). *Statistikaamet*. Allikas: Statistikaameti veebisait:  
<https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/energia-ja-transport/energeetika>
- Sunservice OÜ. (10. detsember 2019. a.). Hinnapakkumine. Tallinn, Harjumaa, Eesti.
- Sunservice OÜ. (3. märts 2020. a.). Hinnapakkumine. Tallinn, Harjumaa, Eesti.
- Swedbank AS. (2021). *Swedbank*. Allikas: Swedbank hoiused:  
<https://www.swedbank.ee/private/investor/deposits/my?language=EST>
- Swedbank AS. (2021). *Swedbank*. Allikas: Swedbank pensionifondid:  
<https://www.swedbank.ee/private/pensions/pillar2/kfunds/k1/list/details#ptabs>
- Synchro Solar. (2018). *Synchro Solar*. Allikas: Synchro Solar'i veebisait:  
<https://www.synchrosolar.com/solar-prices-drop-what-is-swansons-law-with-graphic.html>
- Štreimikiene, D., Mikalauskiene, A., & Atkociuniene, Z. (7. august 2018. a.). Renewable energy strategies of the Baltic States. *Energy & Environment*, 30(2), 363-381. doi:10.1177/0958305X18790961
- Zhang, R., Shen, G. Q., Ni, M., & Wong, J. K. (detsember 2018. a.). Techno-economic feasibility of solar water heating system: Overview and meta-analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 30, 164-165. doi:10.1016/j.seta.2018.10.004
- Taraba, M., Adamec, J., & Danko, M. (2019). Properties measurement of the thin film solar panels under adverse weather conditions. *Transportation Research Procedia*, 40, 536-540. doi:10.1016/j.trpro.2019.07.077
- Thorin, E. (24. juuni 2014. a.). Basics of Energy. *Elsevier*, 1-2. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.09104-1
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). Renewable energy resources. *Routledge*.
- Wendt, Z. (5. mai 2020. a.). *Arrow*. (Arrow Electronics, Inc.) Allikas: Arrow'i veebisait:  
<https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/5-methods-of-harvesting-solar-energy>
- Vogelberg, J. (17. juuli 2019. a.). *Äripäev*. Allikas: Äripäeva veebisait:  
<https://www.aripaev.ee/uudised/2019/07/17/parnus-alustas-tood-eesti-suurim-paikese-parkide-kompleks>
- Yu, Q., Fu, P., & Yang, Y. (1. juuni 2020. a.). Modeling and parametric study of molten salt receiver of concentrating solar power tower plant. *Energy*, 200, 117505. doi:10.1016/j.energy.2020.117505