



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND



[www.emu.ee](http://www.emu.ee)

**Eesti Maaülikool**

Estonian University of Life Sciences

---

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**PÄIKESEPANEELIDEL PÕHINEVA  
MIKROTOOTMISJAAMA TASUVUSE VÕRDLU EESTIS  
JA TEISTES EUROOPA MAJANDUSPIIRKONNA  
RIIKIDES**

COMPARISON OF PV PANEL BASED MICRO-SCALE POWER GENERATION UNIT  
PROFITABILITY IN ESTONIA AND OTHER COUNTRIES OF EUROPEAN  
ECONOMIC AREA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: J. Zabegajev

Üliõpilaskood: 141941AAHM

Juhendaja: J. Valtin

Tallinn, 2017.a.

## 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.

“.....” ..... 201.....

Autor: .....  
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201....

Kaitsmiskomisjoni esimees .....  
/ nimi ja allkiri /

# Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Jevgeni Zabegajev	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> PÄIKESEPANEELIDEL PÕHINEVA MIKROTOOTMISJAAMA TASUVUSE VÕRDLUS EESTIS JA TEISTES EUROOPA MAJANDUSPIIRKONNA RIIKIDES	
<i>Kuupäev:</i> 24.05.2017	81 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool, Tartu Maaülikool <i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond <i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja:</i> professor Juhan Valtin	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Töö eesmärgiks on päikesepaneelidega mikrotootmisjaama tehniliste ja majanduslike näitajate arvutus ning võrdlus teistes riikides asuva mikrotootmisjaama näitajatega.  Töö teoreetilises osas antakse ülevaade kasutatavatest tehnoloogiatest ning päikeseelektrijaama komponentidest; tuuakse komponentide hinnad; selgitatakse mikrotootja liitumise protsessi, elektrienergia hinna kujunemist, toetuse liikide omapärasid.  Arvutuste põhiosa esimeses peatükis määratakse päikeseelektrijaama peamised parameetrid ja talitluse tingimused, selgitatakse välja modelleerimise meetodika ning tuuakse arvutuste tulemused Eestis asuva mikrotootmisjaama kohta. Teise peatüki sisuks on taastuvenergia tariifide, päikeseelektrijaama tootlikuse, energiavoogude ja majanduslike näitajate võrdlus Eesti ja teiste Euroopa riikide vahel.  Mikrotootmisjaama tulemuste arvutamiseks on kasutatud EnergyPRO modelleerimise tarkvara. Arvutused on tehtud päikesepaneelide eluea perioodile. Alandmeteks on reaalse majapidamise andmed, elektrimajanduse andmed, taastuvenergeetika majanduse andmed.  Lõputöö tulemuseks on mikrotootmisjaama majanduslike näitajate analüüs ja soovitusel taastuvenergeetika huvilistele.	
<i>Märksõnad:</i> päikesepaneel, mikrotootja, taastuvenergia, roheline energia, tootmine, kodulahendus, toetus, tasuvus, tariif, Eesti, Euroopa.	

# Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Jevgeni Zabegajev	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> COMPARISON OF PV PANEL BASED MICRO-SCALE POWER GENERATION UNIT PROFITABILITY IN ESTONIA AND OTHER COUNTRIES OF EUROPEAN ECONOMIC AREA	
<i>Date:</i> 24.05.2017	<i>81 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology, Estonian University of Life Sciences School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor of the work:</i> Associate Professor Juhan Valtin	
<i>Abstract:</i> The aim of the work is photovoltaics based micro-generation unit technical and economic indicators calculation and comparison between different European countries.  In the explanatory part of the work there is an overview of the technologies and solar plant components, components prices, micro-producer connection process, electricity price components, support schemes.  In the first chapter of calculation part solar plant properties are determined, operating conditions are set, modelling methods are explained and result of calculations is provided for Estonia conditions. The subject of second chapter is comparison of renewable energy tariffs, solar plant productivity and economic indicators between European countries.  PV plant calculations were made considering PV panels lifetime period using EnergyPRO modelling software. The initial data is the real household data, electricity sector data, renewable energy sector data.  The summary represents the result of analysis of micro-generation plant production and economic performance. Recommendations for renewable energy enthusiasts are given in the end.	
<i>Keywords:</i> solar panels, micro-scale, generation, renewable energy, home solution, green energy, subsidy, profitability, tariff, Estonia, Europe.	

# Sisukord

<b>Lõputöö ülesanne .....</b>	<b>7</b>
Teema põhjendus: .....	7
Töö eesmärk: .....	7
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu: .....	7
Lähteandmed: .....	7
<b>Sissejuhatus .....</b>	<b>9</b>
Taastuvad või alternatiivsed energiaallikad? .....	10
<b>1. Teoreetiline osa .....</b>	<b>12</b>
1.1. Mikrotootmisjaama komponendid .....	12
1.1.1. Päikesepaneelid .....	12
1.1.2. Inverter .....	13
1.1.3. Komponentide hinnad Euroopa Liidu avatud turul .....	14
1.1.4. Eesti kohalik päikesepaneelide turg .....	17
1.1.5. Projekti jaoks valitud seadmed .....	18
1.2. Majanduslikud tegurid .....	20
1.2.1. Mikrotootja võrguga liitumine .....	20
1.2.2. Elektrienergia hind Eestis .....	21
1.2.3. Elektrienergia mõju taastuvenergeetika kasutusele võtmiseks .....	25
1.2.4. Taastuvenergia toetuse liigid .....	27
1.3. Arvutuste meetodika .....	31
<b>2. Arvutuste põhiosa .....</b>	<b>33</b>
2.1. Mikrotootmisjaam Eesti tingimustes .....	33
2.1.1. Objekti tehnilised andmed .....	33
2.1.2. Piirkonna ilmastiku tingimused .....	35
2.1.3. Majapidamise elektritarbimine .....	37
2.1.4. Süsteemi modelleerimine .....	38
2.1.5. PV süsteemi tehnilised piirangud .....	39
2.1.6. Modelleeritud süsteemi näitajad .....	40
2.1.7. PV süsteemi väljundkarakteristik .....	42
2.1.8. Elektrienergia hind turul .....	43
2.1.9. Majanduslikud tulemused .....	44
2.1.10. Mikrotootmisjaama tasuvusaeg .....	47
2.1.11. NPV, IRR .....	49
2.1.12. Mikrotootmisjaama tasuvuse sensitiivsusanaalüüs .....	50
2.1.13. Kokkuvõte .....	51
2.2. Mikrotootmisjaama tasuvus teiste riikide tingimustes .....	53
2.2.1. Elektrimüügi tariifid mikrotootjatele .....	54
2.2.2. Päikesepaneelide tootlikkuse võrdlus .....	56
2.2.3. Modelleerimise tulemused .....	57
2.2.4. Tasuvusarvutuste tulemused .....	58
2.2.5. Kokkuvõte .....	61
<b>Lõputöö kokkuvõte .....</b>	<b>64</b>
<b>Kirjandus .....</b>	<b>67</b>
<b>Lisade nimikiri .....</b>	<b>71</b>
<b>L.1. PV paneelide hinnad .....</b>	<b>72</b>
<b>L.2. Vaadeldatud internetipoodide nimikiri .....</b>	<b>74</b>
<b>L.3. Eesti suurimate päikesepaneelide edasimüüjate nimikiri .....</b>	<b>75</b>

<b>L.4. Päikesepaneelide tehnilised andmed.....</b>	<b>76</b>
<b>L.5. Inverteri tehnilised andmed .....</b>	<b>78</b>
<b>L.6. Lõputöö kokkuvõte .....</b>	<b>80</b>
<b>L.7. Summary of the Diploma Work.....</b>	<b>81</b>

# Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	<b>Mikrotootmisjaama majanduslike näitajate võrreldus Eesti ja teiste EL riikide vahel</b>
Üliõpilane:	<b>Jevgeni Zabegajev, 141941AAHM</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Juhan Valtin</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>25.05.2017</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

## Teema põhjendus:

Taastuvenergeetika sai maailma trendiks. Elektrienergia lõpptarbijad tunnevad huvi alternatiivlikatest elektri tootmise vastu, sest see tundub olema soodsam ja keskkonnasõbralikum kui tavaline taastumatu energia. Käesolev töö annab ülevaate mikrotootmisjaama tasuvusest ja kasumlikusest Eesti ja teiste EL riikide tingimustes.

## Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida päikeseenergia mikrotootmisjaama tasuvust erinevate riikide tingimustes.

## Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Kas mikrotootmisjaama kasutamisest tulenev sääst katab investeeringu ära?
- Kas mikrotootjal on võimalus saada tulu kodupäikeselektrijaamast?
- Kas taastuvenergia toetust piisab mikrotootmisjaama investeeringu katmiseks?
- Millistes Euroopa riikides on paremad tingimused mikrotootjate jaoks?

## Lähteandmed:

- Eestis asuva majapidamise tegelikud elektritarbimise andmed 2015-2016.a.;
- Nordpoolspot elektrituru tegelikud elektri hinnad;
- Päikesekiirguse ja temperatuuri andmed Eestis ja teistes riikides on kogutud litsenseeritud EnergyPro tarkvara abil;

- Euroopa Majandustsooni liikmete aastakeskmised elektri hinnad ja hinnakoostised on kogutud avalikest andmebaasidest;
- Euroopa majandustsooni liikmete taastuveneergetika toetuskeemid ja tingimused on kogutud avalikest allikatest;
- Mikrotootmisjaama komponentide hinnad on kogutud avalikest allikatest ning päringute abil.



# Sissejuhatus

Elektrienergia on tuntud inimestele üle kolmesaja aasta. Esimesed sada nendest olid vajalikud selleks, et avastada miks see ilmub, kust seda saab leida ning milles see seisneb. Järgmiste viiekümne aastate jooksul kogu maailma teadlased uurisid elektri ja magnetvälja vastastikust toimet. Selleks, et ilmuks esimene elektrigeneraator ja lihtsaim elektrimootor. XIX sajandi lõpus peale N. Tesla ja T. Edisoni avastusi, elekter saab üheks olulisemaks osaks inimkonna elus. Elektrienergia tootmiseks ehitatakse elektrijaamad, mille võimsused aastati kasvavad hiiglasuureks. Leiutatakse meetodid elektri salvestamiseks ning ehitatakse esimesed patareid ja akumulaatorid. [1]

Elektri kasutamine kiireneb hoogsalt, levib üle maailma ja saab tsivilisatsiooni äravõtmatuks tingimuseks. See tekitab tööstusrevolutsiooni, omab kasu majapidamises ning annab valgust ja soojust. Elektri kasutamine tekitab inimkonna hüppelist arengut. 250 aasta jooksul peale elektrienergia kasutusele võtmist on inimeste arv planeedil viiekordistunud. [2]

Ühest küljest me näeme positiivset dünaamikat ühiskonna arengus. Teisest küljest vaadates saab näha, et inimkonna ülikiire kasv tekitab raskusi nii toitlustamisega kui ka energiaressurside varustamisega. Selleks, et katta kogu aeg kasvavat nõudlust on vaja rohkem ja rohkem toorainet, mis jätab Maakera peal sügava jälje. XX sajandi keskel, samal ajal kui ühed teadlased arendavad ülivõimsaid tuumareaktoreid kasvava elektrinõudluse katmiseks, teised juba mõistavad, et seda teed ei saa minna igavesti ja on vaja leida uued alternatiivsed kiiresti taastuvad energiaallikad. Koostöös ümbertöötlemisega nad peaksid võimaldama tarbida vähem mittetaastuvaid ressursse ning kasutada looduse- ja päikeseenergiat inimeste heaks. [3]

Tänapäeval alternatiivallikate kasutamisele võtmine on üks olulisematest keskkonnahoiu teemadest. Globaalne kogukond on mures globaalse soojenemise probleemide pärast. Arvatakse, et selle nähtuse põhjuseks on ülemäärased kasvuhoonegaaside heitkogused. Väidetakse, et kasvuhoonegaaside kõrge kontsentratsioon aitab päikeseenergia atmosfääris kinni hoidmist, mis toob kaasa globaalse temperatuuri tõusu. Seoses sellega muutub suhtumine kõikide inimtegevustesse mis annavad panuse globaalsele soojenemisele. Nende tegevuste või valdkondade hulgas peale transpordi, tööstuse ja teisi on ka energeetika. Just nendes tööstusharudes kõigepealt kehtestatakse alternatiivsed tehnoloogiad, et vähendada

kasvuhoonegaaside heitkogused ja tagada jätkusuutlik ja tagasihoidlik taastumatu ressursside kasutamine ning vähendada jälge Maa ökoloogiale. [4]

Energeetika on kõige olulisem tingimus kaasaegse inimkonna olemasoluks. Jutu algus sai elektrist, sest tänapäeval elekter on kõige universaalsem energia kujund. Elektrienergiat on võimalik konverteerida mis tahes muu energiavormi, seda saab lihtsalt ja koheselt üle kanda kaugemale, selle tootmine on lihtne ja kasutamine on mugav. [5]

## **Taastuvad või alternatiivsed energiaallikad?**

Taastuvenergia on energia, mis on saadud looduslikest protsessidest, mis on korduvad ja pidevalt täiendavad. Taastuvateks energiaallikateks loetakse vesi, tuul, päike, laine, tõusmõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass, kusjuures biomassiks loetakse põllumajanduse (sealhulgas taimsete ja loomsete ainete) ja metsanduse ning nendega seonduva tööstuse toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev osa ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunevad komponendid. Taastuvenergia on pidevalt uuendamisel ja ei saa ammendatud. [6]

Alternatiivne energiaallikas on termin, mida kasutatakse kui on vaja nimetada energiaallikat, mis on alternatiiviks fossiilsete kütuste kasutamisele. Üldiselt näitab see energiat, mis ei ole traditsiooniline ja omab väiksema keskkonnamõju. [7]

Taastuvad energiaallikad said maailmatrendiks. Nende lõppematu olemasolu annab võimaluse inimestele areneda ja tarbida suured energiakogused sõltumatult taastumatutest loodusvaradest. Rahvusvahelisel areenil riigid konkureerivad omavahel paigaldatud taastuvenergia tootmisvõimsuste suuruste pärast. Linnad nimetatakse „Roheliseks Linnaks“ nende saavutuste eest keskkonna, energeetika ja transpordi valdkondades. Inimesi kutsutakse üles kasutada uut ökonoomset elektritranspordit ja optemiseerida energiatarbimist ühise heaolu nimel. [8]

Uute tehnoloogiate katsetamise kohustus langeb osaliselt tavaliste inimeste peale. Taastuvenergeetika turg pakub ja aktiivselt reklaamib uusi lahendusi eramajapidamistele elektri- ja soojusenergia tootmiseks kohapeal. Nõustudes ettepanekuga, iga majaomanik saab iseseisvalt toota tema jaoks vajavat energiakogust ammendamatu allikast. Lubatakse, et sellised süsteemid säästavad lõpptarbija raha, sest kodupaigas iseseisvalt genereeritud energia on odavam kui võrguettevõtjalt ostetud energia. Samuti on võimalik müüa elektri ülejäägi turul ja teenida selle eest lisaraha. Paljud riigid, mille hulgas on ka Eesti, pakkuvad toetusi

väiksematele elektritootjatele soodsamate tingimuste tagamiseks. Selles olukorras taastuvenergeetika populaarsuse kasv on loomulik ja oodatud. [9]

Seoses sellega, et erinevates geograafilistes tingimustes ühe või teise alternatiivse energiaallika kättesaadavus erineb, ei ole võimalik nende kasutusele võtmiseks rakendada ühe üleminekustsenaariumi. Iga ühe tehnoloogia arendamiseks on olemas nii eeltingimused kui ka piiravad tegurid, mis võivad erinevates kohtades varieeruda väga laias väärtuste vahemikus. Näiteks päikeseenergeetikas on kohustuslik päikesesaadavus, kuid takistuseks võivad esineda tihe pilvesus, varjestamine, lühike päevakestus ning väike päikesekiirguse kaldenurk. Tuuleenergia saamiseks on vaja leida lai, kasutamisest vaba ja tuuline ala. Selleks, et oleks võimalik kasutada hüdroenergiat või maasoojust on vaja vastavalt leida kas veehulgade liikumist või kohad, kus maasoojus on kättesaadav.

Igas konkreetsetes juhtumis, kui lahendatakse taastuvale energiaallikale ülemineku ülesanne, on vaja teha riskianalüüs ja kõik vajalikud uuringud selleks, et saada teada millised alternatiivsed energiaallikad on kättesaadavad antud kohas, kui otstarbekas on üleminek majanduslikus mõistes ja ennustada energia saadavus tulevikus. Juhul kui taastuvenergiastüsteemi ehitab eraisik või väike eraettevõtja on eriti oluline hinnata lõplikud kulud ja kasumi võimalused, sest just see ühiskonna segment on kõige vähem kaitstud ebaõnnestumise juhul. Eesti praktika näitab, et sageli projekti lõpptulemused ei kompenseeri investeringut. Seoses sellega, et taastuvenergia reklaam esineb kõikjal ja ei ole alati aus ja väiksemad investorid ei oska teostada vajalikud uuringud, nad kaotavad oma raha kahjumlikus projektis või sattuvad võlgu.

Käesoleva töö uurimisobjektiks on päikeseenergia, konkreetsemalt elektri tootmine päikesepaneelide abil. Seda tehnoloogiat iseloomustavad lihtne konstruktsioon, ohutu kasutamine, madalad püsikulud ja kõrge integreerimisvõime nii elektrivõrku kui ka ehitiste konstruktsioonidesse. Kasutusmugavuse poolest päikesepaneelid seisavad esimesel kohal teiste alternatiivsete energiaallikate hulgas. Tänu sellele just see tehnoloogia on saavutanud populaarsuse majaomanike ja ettevõtjate seas.

Mikrotootja on elektritootja, kes toodab elektrit peamiselt oma majapidamise või ettevõtte tarbeks. Mikrotootmisjaama mõiste tuleneb elektritootjate klassifikatsioonist ja tähendab, et tootmiseseadmete koguvõimsus ei ületa 11kW kolmefaasilise ühenduse puhul või 3,68kW ühefaasilise ühendusega. [10]

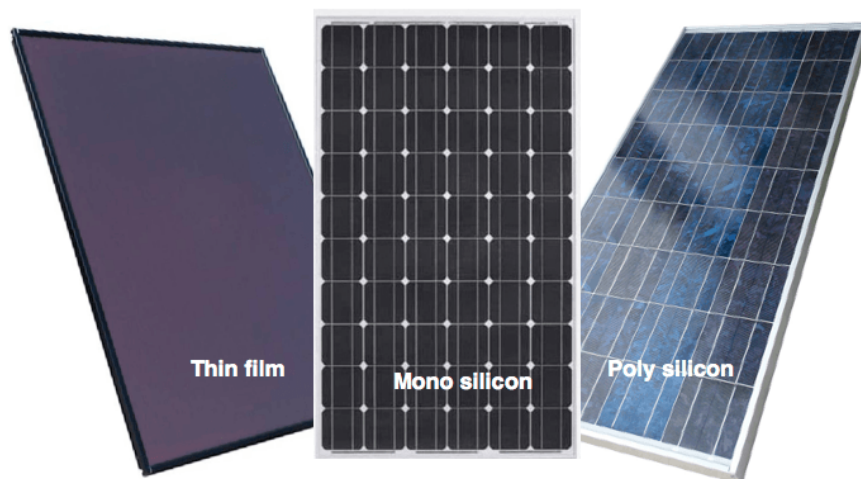
# 1. Teoreetiline osa

## 1.1. Mikrotootmisjaama komponendid

### 1.1.1. Päikesepaneelid

Päikesepaneelide populaarsuse kiire kasv tekkitas selle valdkonna arengu. Tänapäeval kogu maailmas viiakse läbi igasugused uuringud, et selgitada kuidas tõsta päikesepaneelide efektiivsust, kuid turul olevad tehnoloogiad põhimõtteliselt ei ole muutnud eriti palju alates 1950-ndatest aastatest kui oli esitatud esimene päikesepaneel. Tänapäeval kasutatakse peamiselt kolm päikesepaneelide tehnoloogiat: monokristalsed, polükristalsed ja õhukeselelised (thin film) päikesepaneelid. [11]

Monokristalne moodul on valmistatud ühest räni kristallist. Sellise tootmismeetodi kasutamisel saavutatakse ideaalset kristalli puhtust ning kõige parema elektritootmise kasutegurit. Sellepärast, et need kristallid on tavaliselt ovaali kujulised, enne moodulitesse panemist kristallid lõigatakse kaheksanurgakujuliselt, mis annab nendele oma äratuntava välimuse: viilutatud räni tükkidel lõigatud nurgad ning võrkjas päikesepaneeli struktuur (Joonis 1.1).



*Joonis 1.1. Päikesepaneelide kõige levinud tüübid: õhukeseleline, monokristaline ja polükristaline päikesepaneelid*

Monokristalne PV on originaalne ja parim tehnoloogia elektri tootmiseks päikese kiirgusest, sest sellise süsteemi väljundvõimsus on kõige suurem pindala ühiku kohta.

Kuid see ei saa konkureerida teistega sellistes parameetrites nagu hind, tõhusus ja universaalsus. Turul saadaval monokristalsete päikesepaneelide efektiivsus on 11–18%. [12]

Parim hinnaväärtus on polükristalsel PV tehnoloogial, mille efektiivsuse tase on monokristalse oma lähedal, kuid mõnedel juhtudel hind kuni kaks korda odavam. Polükristalne moodul on valmistatud vormisse valatud ränist. Selle pärast, et kristallid valmistuvad räni jahutamise käigus nende struktuur ei ole perfektne ning mooduli vaates on näha palju väiksemaid kristalle. Lisandid kristallis on väiksema kasuteguri põhjus – 11–16%. Selline tootmisprotsess nõuab vähem energiat ja materjale, mis annab parema tootmishinna võrreldes monokristalliga. [13]

Kõige vähem levinud tehnoloogia on õhukesekileline PV (thin-film PV). Seoses sellega, et see kile on läbipaistev, selle lahenduse kasutegur on väga väike – 3–11%, kuid seda saab rakendada kohtades, kus on kriitiline süsteemi kaal või on kaasakandmise võimalus. Kile valmistatakse mitte ainult ränist (a-Si – amorfne räni), viimasel ajal arenevad CdTe ja CI(G)S tehnoloogiad. Viimased on painduvad pooljuhid, mille abil saab valmistada elastsed päikesekilid. [14]

Polükristalsest ränist valmistatud PV moodulid, sama kui ka õhukesekileline (thin-film PV) tehnoloogia annavad era-, äri-, tööstus- ning kommertsklientidele rohkem erinevaid võimalusi, et täita oma päikeseenergia tootmise nõuded.

Vastavalt Fraunhofer ISE päikeseenergia instituuti uuringule kogu maailmas ränist toodetakse 93% päikesepaneele. Polükristallid moodustavad 68%, õhukesekilelised – 8% ülejäänud 24% kuuluvad monokristallistele ja teistele tehnoloogiatele. [15]

### **1.1.2. Inverter**

Inverter on seade mis otseselt mõjutab PV süsteemi kasutamise võimalust, elektri kvaliteeti ning reguleerib, kas päikesepaneelidest saadavat elektrit saab lasta võrku või mitte. Kõige universaalsem on selline seade, mis võimaldab tõrgeteta kasutada nii PV süsteemiga toodetud elektrit kui ka vajaduse korral saada täiendavat elektrienergiat võrgust või ületootmise juhul lasta üleliigsed energiakogused elektrivõrku. [16]

Kuna inverter on otseselt ühendatud kohaliku elektrivõrguga ja võib mõjutada teisi tarbijaid, selline seade peab vastama ülekandevõrgu standartidele. Eestis võrguühendusega saab kasutada ainult neid invertoreid, mis vastavad Eesti Vabariigi standartikeskuse EN 50438 standartile. See Euroopa standard määratleb tehnilised nõuded avaliku madalpingelise

elektrivõrguga rööbiti talitlevate mikrogeneraatorjaamade kaitsefunktsioonidele ja talitlusvõimele. Standardi tingimuste täitmise kontrollib jaotusvõrgu ettevõtte. Tallinnas kõik munitsipaaalsed elektrivõrgud kuuluvad Elektrilevile. Elektrilevi poolt on koostatud inverterite nimikiri, mis vastavad standardi nõuetele ning aktsepteeritud jaotusvõrgu poolt võrku ühendamiseks. Inverteri valimisel tuleb arvestada PV süsteemi tippvõimsusest, faaside arvust, tootjast ning inverteri kasutegurist. [17] [18]

Inverteri võimsus on otseselt seotud PV süsteemi nimivõimsusega. Inverter peab suudma muundada kõik päikesepaneelidest tulenev energia, seega selle võimsus peab olema võrdne või suurem kui kogu PV süsteemi tippvõimsus. Elektrivõrguga ühendamiseks kasutatav faaside arv on ka seotud PV süsteemi võimsusega. Väiksemad inverterid kuni 4,5 kW kasutavad ühte faasi sest nii väike võimsus ei tekita pinge asümmeetriat, võimsamad seadmed peavad olema lülitatud võrku kolmefaasilise ühendusega.

Klient võib ise valida temale sobiv inverter väljanägevuse, suuruse või tehniliste parameetrite järgi, ainuseks tingimuseks on vastavus EN standartile. Tavaliselt valitakse uuemad seadmed, sest nende tootmise tehnoloogiad on kõige arenenud, nende suurus ja kaal on väiksem, omatarve väiksem ning energia muundamise tegur on parem.

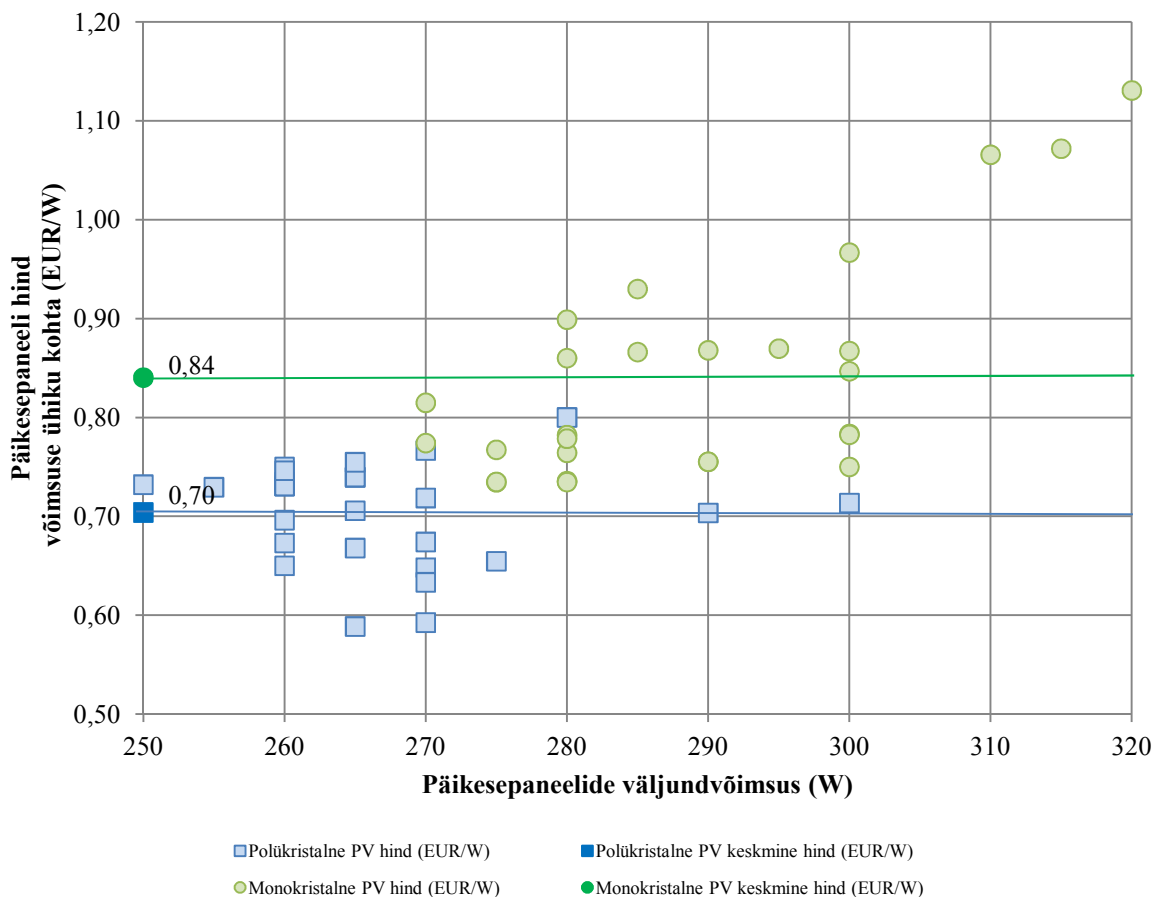
Mõnedel juhtudel on mõistlik paigaldada kaks või rohkem inverterit. Selline olukord tekib kui paneelide hulgast saab eristada mitu erinevate parameetritega pinda. Näiteks, kui on olemas kaks hoonet või juhul kui on olemas kaks paneelidevälja erinevate päikesesaadavuse tingimustega, siis on mõistlikum paigaldada kaks inverterit. See lahendus on seotud sellega, et päikesepaneelid ühes ahelas on ühendatud järjesti, ning ühe paneeli varjutamine takistab teistest ahelas olevatest paneelidest elektri voolu. Lisaks sellele, juhtmetes soojusega kaduv võimsus on alalisvooluga suurem kui vahelduvvooluga, sellepärast pikka ühendusjuhtmetistiku kasutamine ei ole mõistlik.

### **1.1.3. Komponentide hinnad Euroopa Liidu avatud turul**

Euroopa Liidu avatud turg avab võimaluse inimestel kaubelda kõikides EL 28 riikides ilma täiendava tollimaksuta. See tähendab, et olles Eestis saab sama tingimustega tellida kaupa nii Lätist, kui ka näiteks Saksamaalt või Hispaaniast. Ostja saab ise valida, kas ta ostab kaupa poest oma kodu lähedal või tellib välismaalt kohaletoimetamisega. Mõnedel juhtudel kohal olev kaup tundub olema kallim kui tellitud mujalt, kuid aga tuleb arvestada kullerteenuse tasudega ning garantii täitmise võimalusega. Tihtipeale lokaalsed edasimüüjad

pakuvad seadmete paigaldamist, seadistamist ning katsetamist. PV süsteemi projekteerimisel ning tasuvuse arvutamisel tuleb sellega arvestada ka, sest see töö peab olema teostatud ning juhul kui see on tehtud kolmandate isikute poolt tuleb arvestada vastavate kuludega. Juhul kui seade rikub eluea või kohaletoimetamise jooksul on lahenduse leidmine lihtsam ja kiirem kui müüja on lähedal ja temaga saab vabalt kontakteeruda.

Päikesepaneelide hinnad sõltuvad peamiselt valmistamise tehnoloogiast ning võimsusest. Järgmine joonis näitab EL internetipoodide päikesepaneelide hinnajaotust võimsuseühiku kohta monokristalsete ja polükristalsete päikesepaneelide vahel (Joonis 1.2). Täielik tabel on toodud lisana nimega „L.1. PV paneelide hinnad“. Internetipoodide nimekiri on toodud lisana nimega „L.2. Vaadeldud internetipoodide nimekiri“.

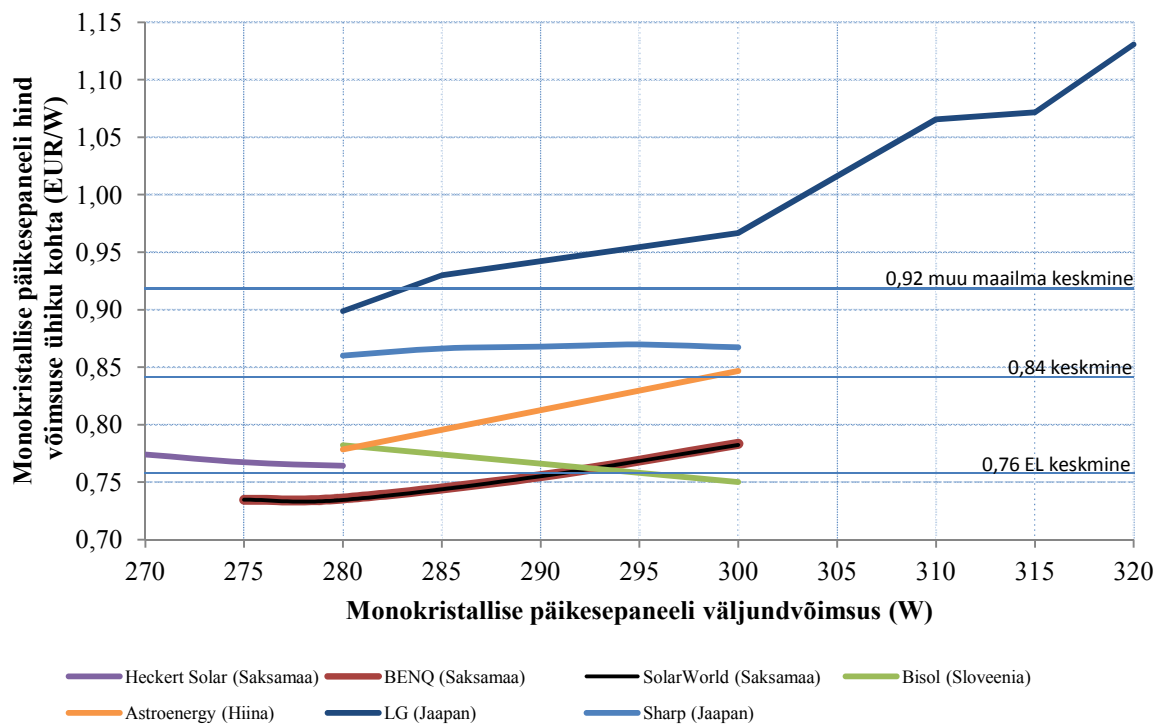


**Joonis 1.2. Mono- ja polükristalsete päikesepaneelide hinnajaotus võimsuse ühiku kohta**

Graafik näitab, kuidas jaotuvad päikesepaneelide hinnad vastavalt tehnoloogiale. Polükristalsed ja monokristalsed päikeseelemendid on märgitud vastavalt sinise ja rohelse

värviga. Polükristalsete elementide lõplik hind on madalam sellepärast, et nende valmistamine on odavam ning maksimaalsed väljundvõimsused on madalamad valmistamise tehnoloogia tõttu. Polükristalsete päikesepaneelide keskmine hind ühe võimsuseühiku kohta on 70 senti/W. Monokristalsed päikesepaneelid on keskmiselt 10% rohkem võimelised ning nende keskmine hind on 20% kõrgem. Mõlemal tehnoloogial saab leida tipplahendusi. Need on viimase põlvkonna päikesepaneelid, mis on valmistatud uute tehnoloogiate kasutamisel. Graafikust on näha, et kõige võimsama 300W polükristalse päikesepaneeli lõpphind on väiksem kui kõige odavama monokristalse oma. Küll monokristalsete moodulite maksimaalne võimsus on veelgi suurem, aga nende hind on juba 60% võrra kallim.

Päikesepaneelide hinnad varieeruvad tootjate vahel (Joonis 1.3). EL turul Euroopas toodetud monokristalsed paneelid on keskmiselt 16 senti/W odavamad, polükristalsetel päikesepaneelidel sellist vahet ei esine.



**Joonis 1.3. Monokristalsete päikesepaneelide hinnakõverad sõltuvalt võimsusest tootjate kaupa**

Päikesepaneelide internetipoest ostes tuleb arvestada nende kohaletoimetamise tasudega. Suure tellimuse saab võrrelda hulgiostuga ja siis paneelide kojuvedu võib olla tasuta, aga tavaliselt see maksab keskmiselt 16-19 eur ühe paneeli eest. Kohaletoimetamise maksumus võib ulatuda 500 eur. [19]



Oluliseks aspektiks on päikesepaneelidesüsteemi paigaldamine, seadistamine ja koduvõrguga ühendamine.

#### 1.1.4. Eesti kohalik päikesepaneelide turg

Eesti taastuvenergeetika turul on palju ettevõtteid, mis pakuvad nii päikese- kui ka tuuleenergeetika mikrotootmise lahendusi. PV paneelide müügiga ja paigaldamisega tegelevad mitmed firmad üle kogu Eesti. Turul on esitletud peamiselt Hiinas või Euroopas valmistatud päikesepaneelid. Lisaks sellele Eestis on mitu ettevõtet, mis toodavad päikesepaneeli välismaa komponentidest.

Kõige populaarsemate päikesepaneelide turustajate nimekiri on toodud lisana nimega „L.3. Eesti suurimate päikesepaneelide edasimüüjate nimekiri“. Tabel 1.1 näitab päikeseenergia mikrotootmisjaamade hindu Eesti turul olevatest edasimüüjatest.

**Tabel 1.1. Päikeseenergia mikrotootmisjaamade jaehinnad Eestis**

<b>Turustaja</b>	<b>Süsteemi nimi- võimsus</b>	<b>Peakomponendid</b>	<b>Lisa-komponendid</b>	<b>Hind</b>
SolarEst OÜ	11 kW	Paneelid SolarEst Classic 250W – 44 tk. Inverter Kostal Piko 10.1 – 1 tk.	Kinnitussüsteem, kaablid ja pistikud, paigaldus.	10980 €
Tavako Elekter OÜ	11 kW	Paneelid SolarWorld Sunmodule Plus 250 poly – 45 tk. Inverter Kostal Piko 10.1 – 1 tk.	Kinnitussüsteem, kaablid ja pistikud, paigaldus.	13556 €
Energogen OÜ	7 kW	Paneelid 250W – 28 tk.	Kinnitussüsteem, kaablid ja pistikud, paigaldus.	9500 €
Küttesalong OÜ	11 kW	Päikesepaneel Saana 250W – 44tk. Inverter Kostal 10.1 – 1tk.	Kinnitussüsteem, kaablid ja pistikud, paigaldus.	14900 €
Bakeri OÜ	7 kW	Päikesepaneel 260W – 28 tk. Inverter SMA 7kW – 1 tk.	Kinnitussüsteem, kaablid ja pistikud, paigaldus.	7960 €

Eesti turul domineerivad 250-260W päikesepaneelid. Need seadmed on monteeritud moodulitest, mis on valmistatud vananenud tehnoloogia põhjal kahe või kolme metall-lattiga esiküljel. Uuematel moodulitel, millistest monteeritakse paneelid koguvõimsusega üle 290W, on neli või viis latti.

Väiksema võimsusega päikese elementide kasutamine võib olla atraktiivne majanduslikust seisukohast, sest nende hind on madalam. Kuid päikesepaneelide paigalduse jaoks piiratud ruumi esinemine tõukab uute tehnoloogiate poole, et suurendada toodetud elektrienergia kogust pindala ühiku kohta.

### 1.1.5. Projekti jaoks valitud seadmed

Selleks, et oleks võimalik teostada arvutused, on vaja välja valida kõik seadmed, sest erinevate seadmete tehnilised parameetrid varjeeruvad ja võivad oluliselt mõjutada süsteemi talitlust. Komponentide valides tuleb arvestada sellega, et hoone on juba ehitatud ning süsteemi integreerimine oleks tehniliselt võimalik. Olemasoleva katusele saab paigaldada kuni 24 päikesepaneeli metallraami abil.

Projektri arvutamise jaoks olid valitud polikristalsed päikesepaneelid Qcells Q.PLUS BFR G4.1 Poly võimsusega 290W. Need päikesepaneelid on mõeldud just hoone katusele panemiseks ja omavad kõrgemat tugevust, kasutegurit ja seega ka suuremat võimsust võrreldes teiste paneelidega (Tabel 1.2). Valitud päikesepaneelide kõrgemad parameetrite näitajad tõendavad, et nende seadete tootmise käigus olid kasutatud uuemad tehnoloogilised protsessid. Valitud päikesepaneelide täielikud tehnilised andmed on leitavad lisades nimega “L.4. Päikesepaneelide tehnilised andmed”.

**Tabel 1.2. Qcells Q.PLUS BFR G4.1 Poly 290W lühendatud tehnilised andmed**

PV paneeli nimetus	Qcells Q.PLUS BFR G4.1 290Wp
Nominaalvõimsus	290 Wp
Vool nominaalvõimsusel	8,98 A
Pinge nominaalvõimsusel	32,29 V
Kasutegur	≥ 17.4 %
Süsteemi maksimaalne pinge	1000 V
Raami värv	BlMust anodeeritud aluminium
Pistikud	MC4 (2x 100cm kaablid)
Kandevõime	Pa max. 5400 N/m <sup>2</sup>
Dimensions	1670 × 1000 × 32mm
Kaal	18,8 kg
Garantii	12 aastat
Performance Warranty	12 aasta pärast 91,2% ja 30 aasta pärast 80,6% nimivõimsusest

Valitud päikesepaneelide maksumus on 204 EUR. See hind on kõrgem, kui vähem võimsate analoogide oma. Kuid kui võrrelda hindu võimsuse ühiku eest, siis võib järeldada, et valitud seadmete hind ei ületa polikristalsete PV paneelide keskmise hinda ning võrdub 0,70 eur/W.

Projekti jaoks oli valitud SMA Inverter Sunny Tripower 7000TL-20 inverter. See seade on konstrueeritud võrguühendusega päikeseenergia mikrotootmise süsteemide jaoks ja võimaldab konverteerida alalisvoolu elektrienergiat võimsusega kuni 7000W

vahelduvvooluks. Inverteril on kõrge elektri muundamise tegur 98% ja väike omatarbimine 1W. Sunny Tripower inverteri saab tulevikus kasutada “tarkmaja” süsteemi integreerimiseks ning jälgida tootmist kaudselt interneti või muu andmeside viisi teel. Valitud inverter omab EN50438 sertifikaati ja on lubatud Elektrilevi jaotusvõrguga ühendamiseks (Tabel 1.3). Inverteri täielikud tehnilised andmed on leitavad lisades nimega “L.5. Inverteri tehnilised andmed”.

**Tabel 1.3. SMA Inverter Sunny Tripower 7000TL-20 lühendatud tehnilised andmed**

Inverteri nimetus	Sunny Tripower 700TL-20
<b>Sisend (DC)</b>	
Maksimaalne alalisvoolu võimsus ( $\cos \phi = 1$ )	7175 W
Maksimaalne süsteemi pingeline	1000 V
<b>Väljund (AC)</b>	
Maksimaalne väljundvõimsus ( $\cos \phi = 1$ )	7000 VA (7000W)
Sagedus	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Maksimaalne vool	10.2 A
Reguleeritav $\cos \phi$	0.8 ... 1 ... 0.8
Faaside arv	3
Muundamise kasutegur	97.5 %
Omatarbimine (öösel)	1 W
Ühenduse võimalused: RS485 / Bluetooth / Webconnect	○ / ● / ●
Garantii	5 aastat
Sertifikaadid	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, <b>EN 50438</b> , G83/1-1, IEC 61727, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD1699, RD 661/2007, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1
Standartne/Võimalik	● / ○

Valitud seadmed võimaldavad päikesekiirgusest toota kuni 7 kW elektrienergiat kas majapidamise omatarbeks või elektrivõrku müügiks. Nad sobivad eraklientidele, sest nende kasutamine on lihtne ja mugav. Süsteemi tootmisvõimsust saab jälgida arvutiprogrammi abil nii kohapeal kui ka kaudselt interneti abil.

Kogu päikesesüsteemi hind mille koostises on päikesepaneelid, inverter, paigaldulise kinnitused, juhtmed ja pistikud maksab koos kohaletoometamisega 8785,45 EUR. Süsteemi paigaldamine, seadistamine ja majavõrguga ühendamine maksab kuni 1000 EUR. Lisaks sellele tuleb arvestada liitumistasudega ulatuses 800 EUR, ning võimalike lisakuludega. Kokku süsteemi ostu ja paigaldamise arve on kuni 11000 EUR.

## 1.2. Majanduslikud tegurid

### 1.2.1. Mikrotootja võrguga liitumine

PV süsteemi poolt toodetud elektrienergia ülejääki saab müüa elektrivõrgu turuhinna eest, selleks on vaja liituda võrguga kui mikrotootja.

Mikrotootmiseseadmeks nimetatakse ühefaasiline tootmiseseade, mille nimivõimsus on kuni 3,68 kW, või kolmefaasiline tootmiseseade, mille nimivõimsus on kuni 11 kW. Liitumisleping sõlmitakse kinnistu omanikutega. Mikrotootja liitumise eelduseks on olemasolev võrguühendus ning kehtiv võrguleping. Mikrotootja liitumiselepingu sõlmimine on tasuline ning tasu suurus sõltub sellest, kui palju elektrivõrgus on vaja teha ümberehitusi. See puudutab peamiselt elektriarvestit, mida vajadusel saab muuta kahesuunaliseks. Reeglina on mikrotootja liitumine lihtne protsess, mis võib aega võtta kuni kaks kuud. Liitumise protsess on etapiline:

1. Esimesena toimub liitumistaotluse esitamine ning tehniliste tingimuste ja liitumispakkumise saamine. Liitumiseks on oluline võrguettevõtjaga kokku leppida kasutatavad tootmiseseadmed. Kokkulepe puudutab inverterit, millel peab olema vastussertifikaat Elektrilevi võrgus kasutamiseks. Sellel etapil mikrotootja peab esitama järgnevad dokumendid:
  - volikiri või dokumendid, mis kinnitavad, et liitujal on õiguslik alus kasutada kinnistut või ehitist;
  - mikrotootmiseseadme elektriliste ühenduste põhimõtteskeem, kuhu tuleb märkida ka liitumispunkti täpne asukoht.
2. Teisel etapil sõlmitakse liitumisleping. Kui liitumistaotlus oli vormistatud korrektselt, siis võrguettevõtte teeb kulupõhise lepingupakkumise. Mikrotootja liitumispakkumine sisaldab kõiki kulusid, mis tuleb teha mõõtmeseadmete paigaldamiseks ning elektrivõrgu ümberehitamiseks. Liitumispakkumine kehtib 60 päeva.
3. Kolmandana järgneb mikrotootmiseseadme kasutuselevõtmine. Selleks peavad mikrotootjal olema lõpetatud kõik ehitus-, seadistus- ja muud elektritööd, täidetud liitumistingimused, tasutud kõik liitumistasu arved ning esitatud võrguettevõttele järgmised dokumendid:

- elektritöö teostaja koostatud lõplikult väljaehitatud elektripaigaldise elektriline teostusjoonis või -skeem tootmisest kuni võrguettevõtja liitumispunktini.
  - mikrotootmisest kaitsesätete seadistamise protokoll;
  - teatis elektripaigaldise nõuetekohasuse kohta koos nõuetekohasuse tunnistuse koopiaga.
4. Järgmisena etapina toimub võrgulepingu sõlmimine. See toimub juhul, kui kõik vajalikud dokumendid on esitatud ja arved tasutud. Mikrotootmisest võib lülitada võrguga paralleeltöösse alles pärast mõlemate osapoolte võrgulepingu allkirjastamist.
  5. Protseduur lõpeb elektrienergia ostulepingu sõlmimisega.

Üldjuhul maksab mikrotootja liitumine 800 EUR, kui elektrivõrgus on vaja teha ümberehitusi, võib see summa vastavalt teostatavale tööle muuta suuremaks. [18]

### **1.2.2. Elektrienergia hind Eestis**

Euroopa Liidus kehtestatud elektriturude avamise põhimõtte lähtub eeldusest, et konkurents ning vabalt kujunev elektrituruhind paneb turuosalisi mõistlikult investeerima ning efektiivselt majandama, millest kokkuvõttes võidavad kõik. Efektiivne turg tähendab ühendatud elektriturgu, kus tarbijatel on vabadus valida elektrimüüjat ja tootjatel on võimalus hästi oma kliente teenindada.

Euroopa Liidu elektriturgu avanes täielikult 2007. aastal ning esimesed riigid, mis läksid avatud elektriturule üle olid Rootsi, Soome ja Suurbritannia. Kogu EL-is oli sätestatud elektriturude avamine esimesel etapil suurtarbijatele ning seejärel kõigile turuosalistele.

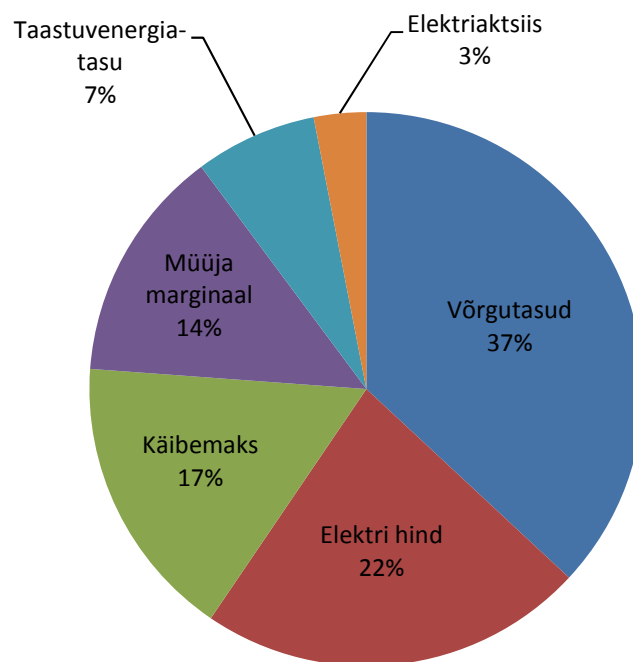
Elektrituru osalise avamiseni jõuti Eestis 2010. aasta aprillis, mil Eesti elektriturgu avati suurtarbijatele, kes vajavad aastas elektrienergiat enam kui 2 GWh, ja kes moodustavad tänaste vabatarbijatena kogu siseriiklikust tarbimisest umbes 35%. 2013. aastal avanes Eesti elektriturgu väike- ja kodutarbijatele ning elektrit hakkasid pakkuma erinevad müüjad.

Avatud elektrituru tingimustes on kõige olulisemaks eeliseks on elektri tootjate ja müüjate konkurents oma toodangu müümisel. See tähendab, et tarbijal tekib võimalus osta elektrit erinevate müüjate käest ning valida suurema arvu pakettide ja tingimuste hulgas kõige sobivam lahendus. Elektri hind kujuneb turul konkurentsisis sarnaselt teistele kaupadele ja teenustele. [20]

## Elektri hind lõpptarbijale

Elektriteenuse kogumaksumuse puhul on oluline eristada selle erinevaid komponente. Lisaks elektrienergia enda hinnale elektriarve sisaldab ka võrgutasu, elektriaktsiisi, taastuenergia tasu ning käibemaksu. Võrgutasu, mille kooskõlastab Konkurentsiamet, moodustab tüüpilise kodutarbija elektriarvest ligikaudu 40%, kulud elektrienergiale moodustavad arvest umbes kolmandiku. Võrgutasu ja elektrienergia osakaal konkreetse kliendi puhul sõltub sellest, millise võrguteenuse pakkuja võrgupiirkonnas klient asub ja millise paketi on ta võrguteenuse ja elektrienergia tarbimiseks valinud.

Tallinna tarbijatele elektrienergia hind koosneb järgmistest komponentidest: võrgutasud – 0,054 EUR/kWh, elektri hind – 0,033 EUR/kWh, käibemaks – 0,024374 EUR/kWh, müüja marginaal – 0,02 EUR/kWh, taastuenergiatasu – 0,0104 EUR/kWh, elektriaktsiis – 0,00447 EUR/kWh. Vastavalt elektri hinna tegeliku väärtuse muutumisele võivad muuta ka teised komponendid. Diagrammil on näidatud elektri hinna osade osakaalud (Joonis 1.4). [21] [22] [23] [24]



*Joonis 1.4. Elektri hinna komponendid*

Kuni 31. detsembrini 2012 oli Eestis elektrienergia hind riiklikult reguleeritud (ca 30 EUR/MWh). Avatud elektriturul kujuneb elektrienergia hind nõudluse ja pakkumise

vahekorras, mida kajastab elektrienergia hinna kujunemine elektribörsil. Tarbija jaoks sõltub elektrienergia hind eelkõige müüja ja tarbija vahel sõlmitud lepingust.

### Elektrihinna mõjurid

Peamiseks elektrienergia hinna mõjutavaks teguriks avatud elektriturul ja elektribörsil on piisavate tootmisvõimsuste ning elektriühenduste olemasolu, et tagada elektri liikumist nii siseriiklikult kui ka naaberriikidega. Lisaks neile on aga veel mitmeid teisi tegureid, mis mõjutavad elektrienergia hinna kujunemist lühemas ja pikemas vaates (Joonis 1.5).



*Joonis 1.5. Elektri hinna mõjutavad tegurid*

### Tarbimine

Üks peamisi faktoreid, mis määrab elektrienergia hinna, on tarbimine ning praeguste prognooside kohaselt kasvab maailma kogu energiatarbimine 2035. aastaks võrreldes 2012. aastaga 40%. Pikemas perspektiivis mõjutavad tarbimist aga majanduslik olukord, inimeste käitumisharjumused ning tehnoloogia areng.

### Ülekandevõimsused

Eestil on praegu elektriühendused nii Venemaa kui ka Lätiga. Soomega ühendavad meid alalisvooluühendused EstLink 1 ja EstLink 2, nende võimsused on vastavalt 350 MW ja

650 MW. Tänu ühendustele saavad elektri tootjad ja tarbijad osta ning müüa elektrit oluliselt suuremal Põhja – Balti turul. See aga tähendab suurenenud konkurentsi ning nii on tarbijatele tagatud parim elektri hind. Tugevam ühendus Põhjamaadega ning erinevate tootmisliikide kasutamine toob kaasa ka ühtlasema hinnataseme.

Lisaks on Balti riikides valmis ka Leedu–Rootsi vaheline ühendus NordBalt, rajatakse Eesti–Läti 3. liin ning Leedu–Poola vaheline LitPol, mis aitavad oluliselt kaasa kogu regiooni ühendamisele Euroopa Liidu ühise elektrituruga.

### **Investeeringud uutesse tootmisvõimsustesse**

Lisaks piisavatele riikidevahelistele ülekandevõimsustele on elektrienergia hinna kujunemisel oluline roll ka investeeringutel uutesse tootmisvõimsustesse kogu regioonis. Läänemere regioonis planeeritakse massilisi investeeringuid päikese- ja tuuleenergiasse. Fossiilsetest kütustest kasvab maagaasi osakaal ning hoolimata Saksamaa otsusest sulgeda tuumajaamad, nähakse ka selle kütuse põhisel elektritoomisel perspektiivi.

### **Ilmastikuolud**

Uute investeeringute kõrval elektrienergia hinna kujunemisel mängivad ka suurt rolli regioonis valitsevad ilmastikuolud. Põhjamaade puhul on selleks eelkõige hüdroenergiast tootmise võimalus. Täna on hüdroenergiast toodetud elektrienergia kõige odavam, mistõttu on sellel tugev mõju kogu Põhjamaade regiooni elektri hinnale.

### **Kliimapoliitika ja Euroopa Liidu heitmekaubanduse reeglid**

Euroopa Liidu kliimapoliitika üheks väljundiks on elektritoomise käigus emiteeritud CO<sub>2</sub> heitmete maksustamine. Samaaegselt elektrituruga avanemisega 2013. aasta alguses muutusid Euroopa Liidu heitmekaubanduse reeglid — fossiilkütustest elektri tootjad peavad ostma heitmekvooti, varem said nad valdava osa oma kvoodist tasuta.

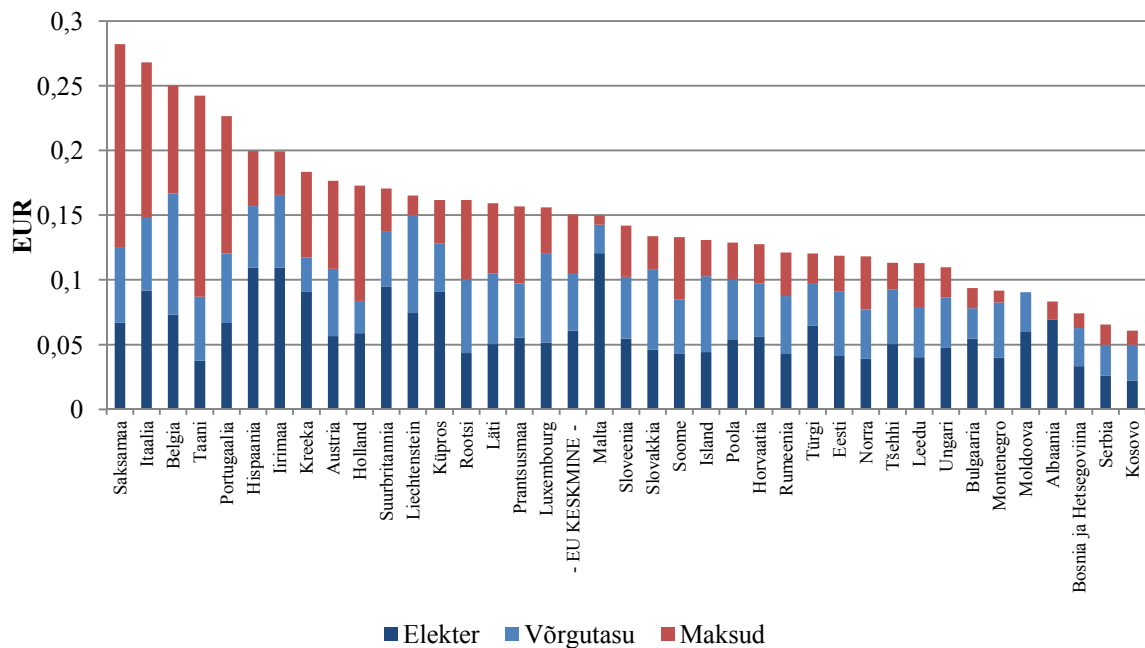
### **Kütuste hinnad**

Euroopa kliimapoliitika kõrval mõjutavad maailmaturu kütuste hinnad (primaarenergiaressursid) nii investeeringuid uutesse toomisseadmetesse kui ka elektrienergia hinda otseselt.



### 1.2.3. Elektrienergia mõju taastuvenergeetika kasutusele võtmiseks

Sama nagu Eestis ka teistes Euroopa Liidu riikides elektrienergia hinnad on moodustatud mitmetest komponentidest. Üldjuhul neid saab jagada kolmeks gruppiks: elektri tootmise maksumus, võrguteenuse tasud ning maksud ja teised tasud. Igaühe komponendi suurus sõltub poliitilistest otsustest ning riigi ja naaberriikide energeetilisest olukorrast. Graafikus on näidatud EL riikide elektri hinnad ja nende koostiskomponendid (Joonis 1.6). [25]



**Joonis 1.6. Elektri hinnad ja nende koostised lõpptarbijatele Euroopa riikide kaupa**

Kõige kõrgemad elektrienergia hinnad on Saksamaal, Itaalias, Belgias, Taanis ja Portugalis. Nendes riikides on suuremad maksud ja taastuvenergiatasud. Kõige odavam on Ida-Euroopa riikide elekter, mille hind koos maksudega on 6-9 eurosent/kW, mis on 3 korda odavam kui Lääne-Euroopas.

Kõige suuremad maksud on Saksamaal ja Taanis, vastavalt 156,7 EUR/MW ja 155,4 EUR/MW. Kõige kallim elektri tootmine on Maltas 120,6EUR/MW, Iirimaa 109,5 EUR/MW ja Hispaanias 109,4 EUR/MW.

Elektrienergia hinnad otseselt mõjutavad tarbijate käitumist. Otsus toota elektrit päikeseelektrijaama abil samuti sõltub elektrienergia hinnast. Kõrgete elektri hindade riikides on päikesepaneelide installeeritud võimsuse kogused märgitavalt suuremad. Tabel näitab Euroopa riikide päikeseelektrijaamade installeeritud võimsusi ning nende järjekorra numbr

kõikide maailma riikide vahel (Tabel 1.4). [26] Rasvase kirjaga on märgitud kõrgema elektrienergia hinnaga riigid.

**Tabel 1.4. Päikesepaneelide instaleeritud võimsused riikide kaupa**

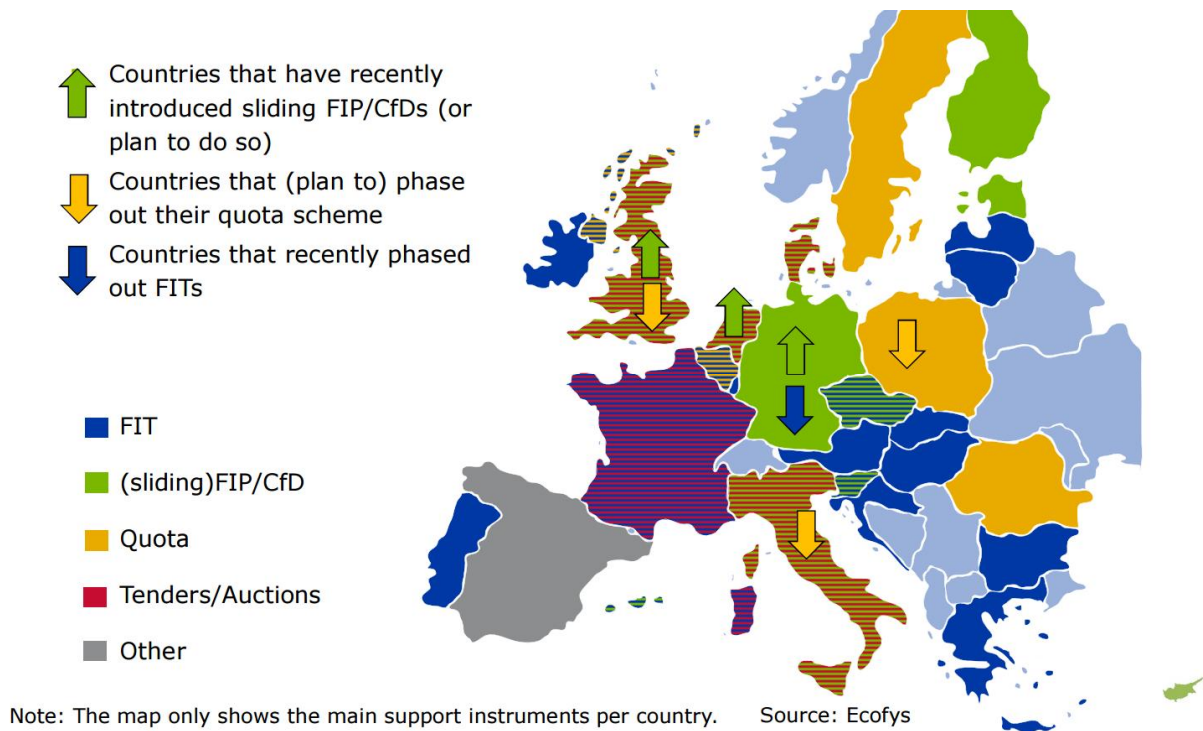
<b>№</b>	<b>Riik</b>	<b>Võimsus (MW)</b>	<b>№</b>	<b>Riik</b>	<b>Võimsus (MW)</b>
2	<b>Saksamaa</b>	39628	27	Slovakkia	590
5	<b>Itaalia</b>	18460	28	<b>Portugal</b>	419
6	<b>Suurbritannia</b>	8400	30	Sloveenia	256
7	Prantsusmaa	5660	36	Luxembourg	110
8	<b>Hispaania</b>	5358	39	Rootsi	79
10	<b>Belgia</b>	3074	40	Leedu	68
12	Ungari	2603	41	Küpros	65
13	<b>Kreeka</b>	2595	43	Malta	54
15	Tšehhi	2134	45	Horvaatia	34
18	Rumeenia	1292	47	Poola	24
19	<b>Holland</b>	1123	49	Norra	13
20	Šveits	1076	50	Soome	11
21	Bulgaaria	1020	52	Läti	2
24	Austria	766	53	Iirimaa	1
26	<b>Taani</b>	603	54	Eesti	0,2

Maailma esimesel kohal on Hiina, kus installeeritud päikesepaneelide võimsus on 43000 MW. Teisel kohal on Saksamaa, kus on kontsentreeritud peamised Euroopa päikesepaneelide tootjad. Eesti paikneb statistika andmebaasi järgi 54-ndal kohal ning omab 200 kW päikeseelektrijaamade summaarset võimsust.

Päikesepaneelide kasutamine suurel määral sõltub päikesekiirguse saadavusest. Lõunamaadel on päikeseenergeetika rohkem levinud, sest seal selle kasutamisest tulenev kasu on märgitavalt kõrgem. See on seotud sellega, et lõuna laiustel päikesekiirguse kaldenurgad on suuremad, taevast (ilmad) on valdavalt pilvesusest vabad ning päevakestus on pidev suve- ja talveaja jooksul.

#### 1.2.4. Taastuvenergia toetuse liigid

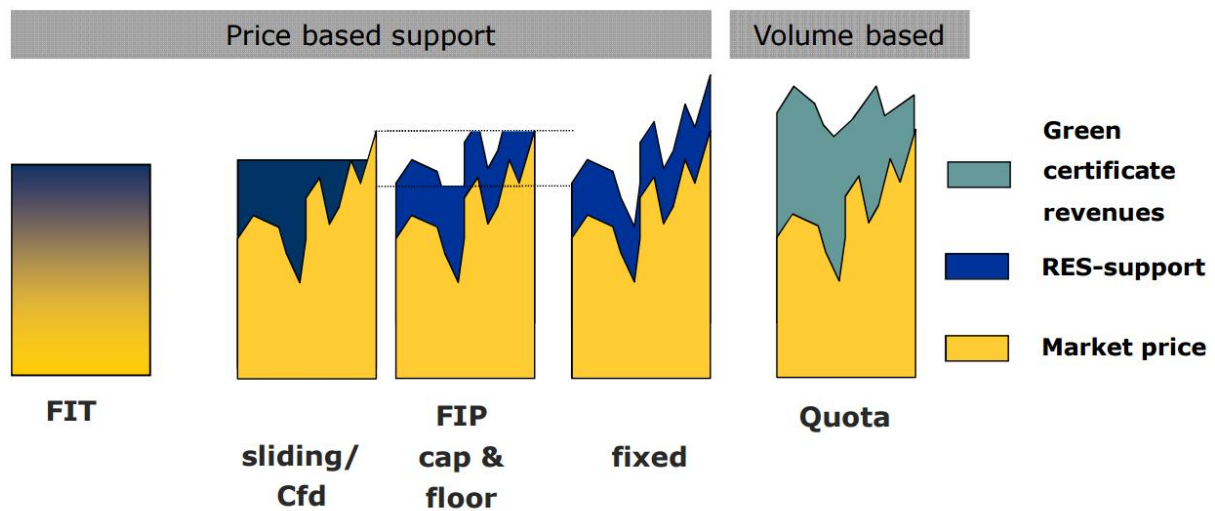
Igas omaette võetud riigis on oma taastuvenergia toetuskeemid (Joonis 1.7). Euroopa Liidu riigid erinevad ülejäänud maailmast, et peaaegu igapähe neist on olemas teatud viisil alternatiivsete energiaallikate toetuskeemid. [27]



*Joonis 1.7. Euroopa riikide taastuvenergeetika toetuskeemid*

Taastuvenergia toetuseks saab olla hüvitis alternatiivse energia elektri jaama ehitamiseks või uuendamiseks, maksusoodustused energia tootjatele, ostetud või müüdavate energiakandjate erihinnad, "roheline sertifikaadid" ja preemiad jm.. Toetusi jagatakse taastuvate energiaallikate kasutuselevõtuks, energiasektori efektiivsemaks muutmiseks ja sisemaise varustuskindluse ja võimsuse piisavuse tagamiseks.

Erinevates riikides kehtivad oma reeglid ja subsiidiumide summa varieerub suuresti. Tihti juhtub nii, et ühes valitud riigis erinevate taastuvenergia allikate või taastuvenergia tehnoloogiate kohta kehtivad erinevad toetusemäärad ja toetamise tingimused. Alltoodud joonisel (Joonis 1.8) on näidatud taastuvenergia põhilised toetuse tüübid.



*Joonis 1.8. Toetuse tüübide visuaalsed põhimõtteskeemid*

FIT (ingl. Feed In Tariff) - majanduslik ja poliitiline mehhanism, mis on mõeldud toetuste jagamiseks taastuvenergia tehnoloogia valdkonnas. Sellel mehhanismil on kolm peamist tegurit:

- võrguühenduse tagamine;
- pikaajaline leping kogu toodetud taastuvenergia ostmiseks;
- Selgelt määratud tasu toodetud elektrienergia eest.

Lülitustariifid võivad erineda mitte ainult erinevate taastuvenergiaallikate vahel, vaid ka sõltuvalt paigaldatud taastuvenergia tootmisvõimsusest või tehnoloogiast. Reeglina toimub toodetud elektrienergia lisatasu väljamaksmine üsna kaua (10-25 aastat), tagades seega projekti investeeringute tasuvust ja kasumi saamist. [28]

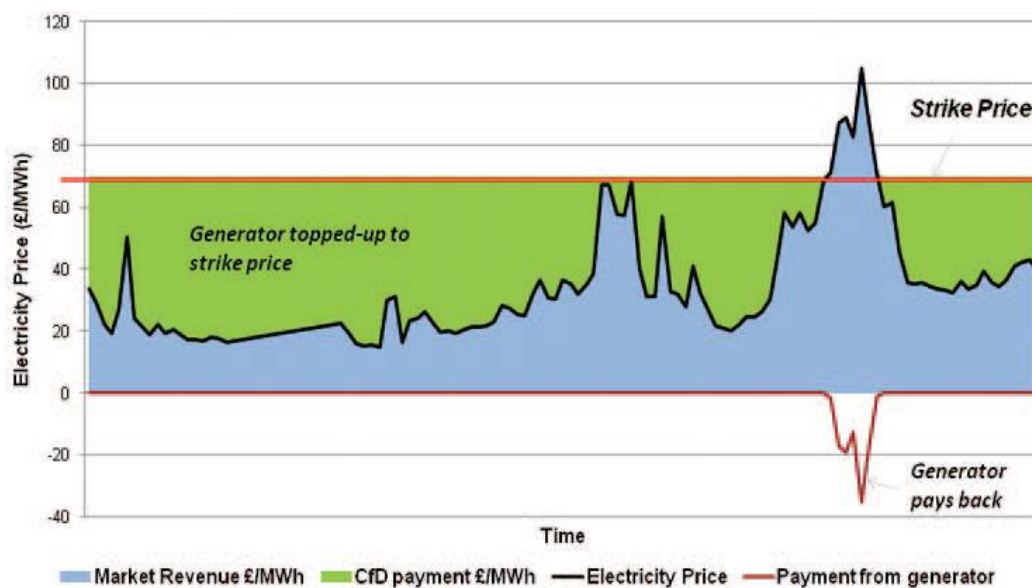
FIP (ingl. Feed In Premium) – taastuvenergeetika toetuse skeem, mille põhimõtteks on alternatiivsetest allikatest toodetud elektrienergia müük elektritul, lisaks sellele taastuvenergia tootjad saavad täiendavat toetust. Täiendav toetus võib olla fikseeritud, mida makstakse vaatamata elektrihindadele turul, või ujuv ehk muutuv vastavalt turuhindadele. Fikseeritud FIP on lihtsam rakendada, kuid tekitab ülekompenseerimise risk kõrgete turuhindade puhul ja ebapiisava hüvitise risk juhul kui turuhinnad on madalad. Selle tõttu FIP mõnikord kombineeritakse ettemääratud maksimum ja miinimum tasemetega (ing. „cap“ & „floor“) kas täiendava toetuse või turuhinna ja toetuse kogutasu kohta. Sellel juhul ujuv FIT pidevalt kalkuleeritakse vastavalt turuhindadele. Kui elektrienergia turuhind on kõrgem kui tariifi tase, siis toetust ei maksta. Mõnedel juhtudel toetuse määra kalkuleerimisel kasutatakse ka

minimaalset turuhinna väärtust selleks, et kompenseerida kulud negatiivsete turuhindade puhul. [29]

Üks FIP tariifi tüüpidest on CfD (ing. Contract for Difference), mille põhimõtteskeem on sama nagu ujuval täiendaval toetusel, kuid rakendamise üksiktingimused on erinevad ja keerulisemad. CfD meetodi omapäradeks on järgmised momendid:

- Taastuvenergia tootjaga on sõlmitud leping, mis määrab nominaalse tariifi elektrienergia müümiseks,
- Kui elektrienergia turuhind on madalam kui määratud tariifi tasu, siis tootja saab toetust tariifi ja müügihinna vahe ullatuses,
- Kui elektrienergia turuhind on kõrgem kui määratud tariifi tasu, siis tootja maksab vahesumma peale.

Toetuse printsiip on kuvatud diagrammil (Joonis 1.9). [30]



*Joonis 1.9. CfD toetuse printsiipi graafiline kujutis*

Kvoodid (ing. Quota) on taastuvenergeetika stimuleerimise viis, millal riik määrab taastuvenergia osakaalu kogu elektritootmises ning annab elektriturule määrata taastuvenergia hinda. Toetuse põhimõte seisneb selles, et hoida taastuvenergia tasud võimalikult madalad lõpptarbija jaoks kuni taastuvenergia kogused elektritootmises ulatuvad riigi poolt määratud koguseni. [31]

Enampakkumised / oksjonid (ingl. Tenders/Auctions) – see on taastuenergia toetuse mehhanism, mille käigus tootja osaleb avatud rohelise energia hinna oksjonil (arutelus) ja aktsepteerib või ei aktsepteeri ettepanekut või kui tootja taotleb teatud taastuenergia hinda. Mõlemal juhul lepingu hind ei sõltu turuhinnast ja lepingu käigus lepingu hind võib olla nii madalam kui ka kõrgem turuhinnast. Kuna see mehhanism ei saa tagada projektide kasumlikkust, seda kombineeritakse sageli teiste meetoditega. [32]

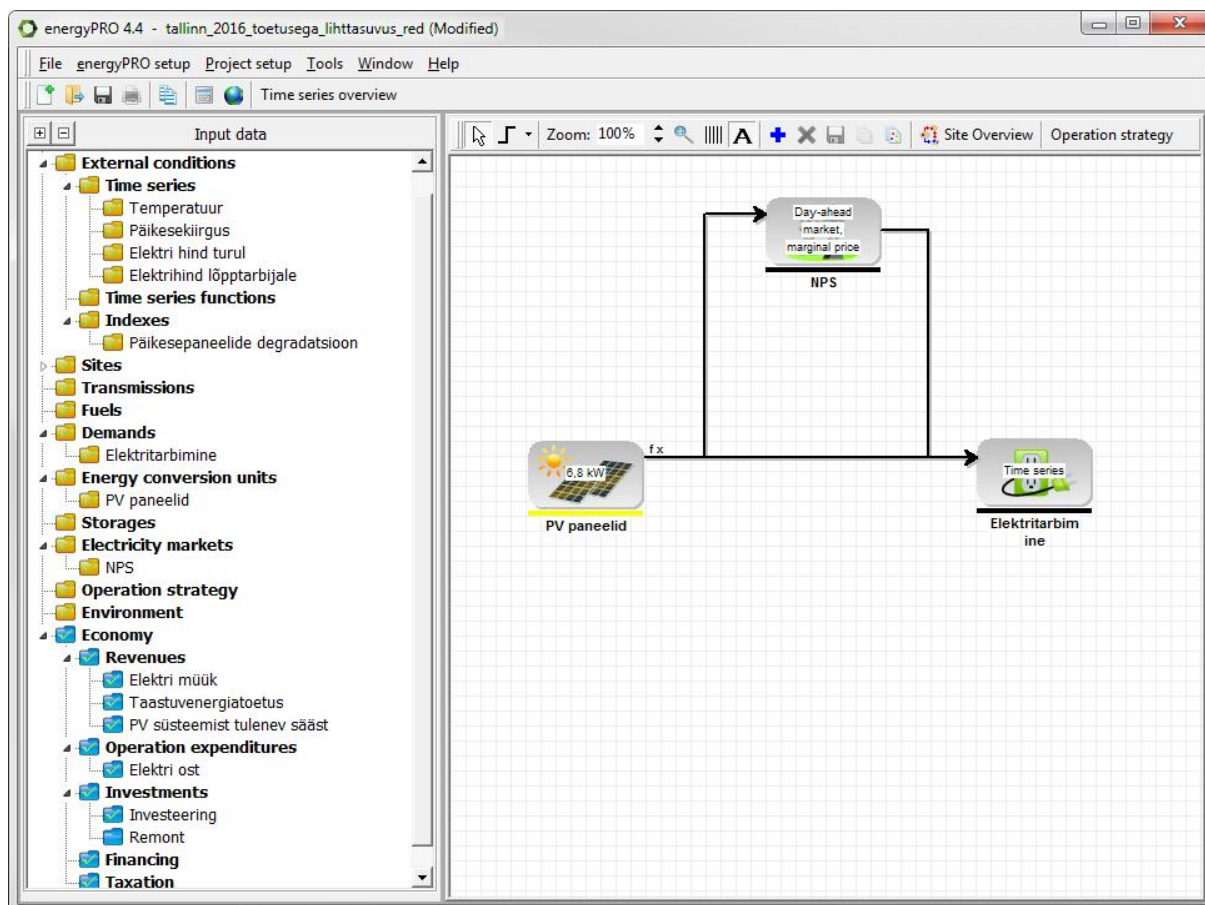
Igal toetuse meetodil on nii positiivseid kui ka negatiivseid tagajärgi. Selle töö eesmärk ei seisne selles, et analüüsida konkreetse meetodi otstarbekust. Selleks, et analüüsida mikrotootjate tegevuste tingimusi, selle töö raames valitakse välja need riigid, kelle subsideerimise algoritmid on enim ennustatavad ja ei sõltu välistest teguritest. Kuna "Rohelised sertifikaadid", kvoodid, enampakkumised ja üksikud maksuvabastused ei ole ette garanteeritavad, võrdlemiseks sobivad ainult need riigid, kus subsideerimise mehhanismides on olemas FIT ja FIP meetodid.

### 1.3. Arvutuste metoodika

Arvutused on teostatud 2015-2016. aastate andmete baasil. Kõik väärtused on ennustatud aastavahemikuks 2016-2045. Arvutuste käigus on arvestatud järgmiseid tegureid ja lähteandmeid:

- Päikesekiirguse andmed;
- Välistemperatuuri andmed;
- NPS elektri hinnad;
- Elektri hinnad lõpptarbijatele;
- Kodumajapidamise elektritarbimine;
- Hoone geograafiline asukoht;
- Hoone katuse kaldenurk ja suund;
- Päikesepaneelide paigaldamiseks sobiv katuse pindala;
- Päikesepaneelide tootmise võimsuse sõltuvus välistemperatuurist;
- Päikesepaneelide ajaline degradatsioon;
- Kogu PV süsteemis tekkivad kaod;
- Tulud elektrienergia müügist;
- Tulud taastuvenergia toetuse saamisest;
- Puuduva elektrienergia ostmisega seotud kulud;
- Tarbitava elektrienergia koguse maksumus võrguettevõtjalt ostes;
- Elektrihinna ajaline muutus;
- Taastuvenergia toetuse ajaline muutus;
- Inflatsioon;
- Investeeringu maksumus;
- Remondikulud.

Süsteemi modelleerimiseks on kasutatud EMD energyPRO 4.4 tarkvara. EnergyPRO on üks mugavatest ja universaalsetest tarkvara lahendustest energeetika projektide visualiseerimiseks ja arvutamiseks. See võimaldab lisada igasuguseid nii elektri kui ka soojuse tootmiseseadmeid, tarbijaid, energiasalvesteid, turgusid jne ning lahendada optimeerimisülesandeid (Joonis 1.10).



*Joonis 1.10. EMD energyPRO tarkvara*

Lähteandmete allikad:

- Eestis asuva majapidamise tegelikud elektritarbimise andmed 2015-2016.a.;
- Nordpoolspot elektrituru tegelikud elektri hinnad;
- Päikesekiirguse ja temperatuuri andmed Eestis ja teistes riikides on kogutud litsenseeritud EnergyPro tarkvara abil;
- EL liikmete aastakeskmised elektri hinnad ja hinnakoostised on kogutud avalikest andmebaasidest;
- EL liikmete taastuenergeetika toetuskeemid ja tingimused on kogutud avalikest allikatest;
- Mikrotootmisjaama komponentide hinnad on kogutud avalikest allikatest ning päringute abil.



## 2. Arvutuste põhiosa

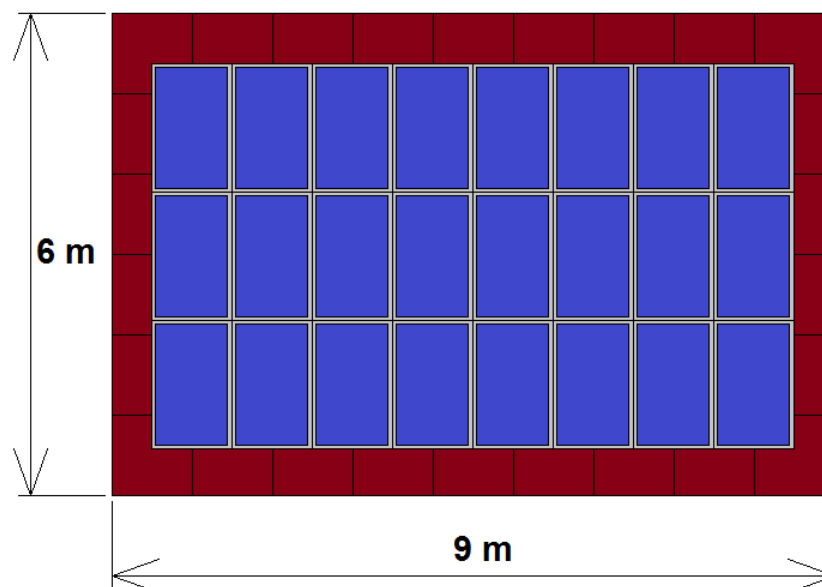
### 2.1. Mikrotootmisjaam Eesti tingimustes

#### 2.1.1. Objekti tehnilised andmed

Eramaja asub geograafilistel koordinaatidel 59,37126 põhjalaiust, 24,64805 idapikkust, Nõmme linnaosas, Tallinnas. Majas elab üks pere. Majapidamise keskmine aastane elektritarbimine on 7700kWh.

Majal on ühendus kohaliku elektrivõrguga, soojusvõrguga ühendus aga puudub. Selle tõttu maja kütmine toimub soojuspumba ja kaminahju abil. Majale on võimalik paigaldada päikesepaneelid ja nende abil toota elektrit majaelanike omatarbeks. Ülejäänud elektrienergia hulk tuleb müüa elektrivõrku.

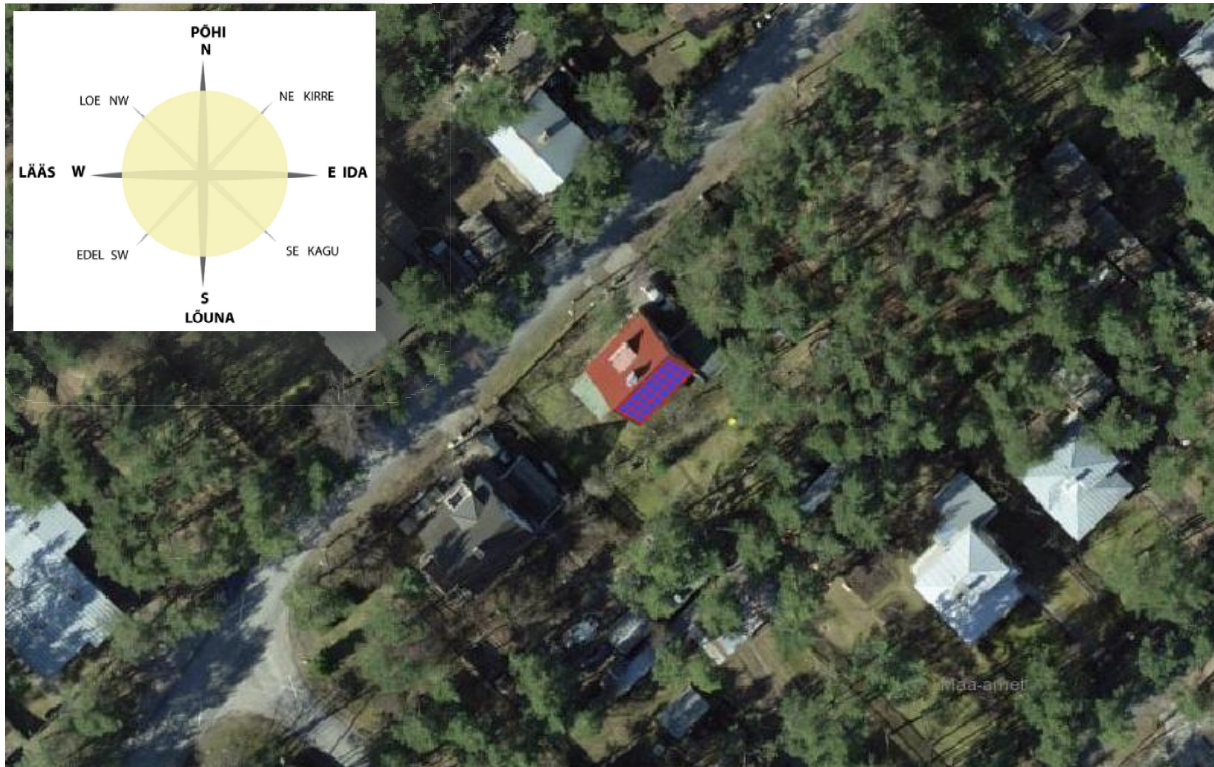
Hoonel on neeluga viilkatus, mille lamepinnad vaatavad loode ja kagu suunas kaldenurgaga 50°. Loode pinnal asub neel, korsten ning katuse ülemine serv tekitab varju hommikul ja keskpäeval, selle tõttu selle pinnaga ei saa arvestada päikesepaneelijaama projekteerimisel. Katuse kagu pinna mõõtmed on sellised: pikkus on 9 meetrit ja laius on 6 meetrit. See pind on kogu aasta perioodi vältel varjust vaba. Seega selle pinna peale saab paigaldada päikesepaneelide hulk kogupikkusega kuni 8,5 meetrit ning kogulaiusega kuni 5,5 meetrit (Joonis 2.1).



*Joonis 2.1. Päikesepaneelidepaigaldus katusel*

Päikesepaneelide paigaldamiseks sobib hoone katuse kagu nõlv. Katuse kaldenurk on  $50^\circ$ , asimuut  $42^\circ$  (kagu). Katuse väli on 9 meetrit pikk ja 6 meetrit lai ning sobib 24 standartsuurusega päikesepaneeli paigaldamiseks. Paneelid tuleb paigaldada katusele metallraami abil. Raam kinnitatakse olemasolevale katusele spetsiaalsete kinnitustega. See võimaldab süsteemi integreerimist ilma katuse ümberehituseta.

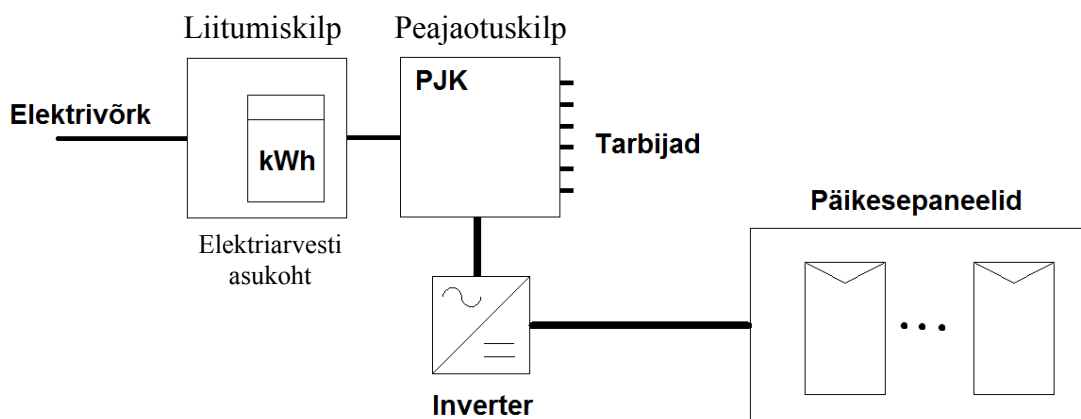
Päikesepaneelide paiknemine katuse peal on näidatud joonisel (Joonis 2.2)



*Joonis 2.2. Päikesepaneelide asend ilmakaarete suhtes*

Käsitleva hoone katuse osa on aastaringselt puude ja teiste hoonede varjust vaba, sest paikneb nendest kõrgemal. See on oluline moment, sest päikesepaneelide elektritootmise parameetrid suurel määral sõltuvad varjutamisest.

Mikrotootmisjaam liidetakse hoone elektrivõrguga läbi inverteri. Inverter muundab paneelidest tuleva alalisvoolu võrgukvaliteedile vastavaks vahelduvvooluks. Kahesuunaline elektriarvesti mõõdab eraldi nii ostetud elektrienergia kogused kui ka võrku müüdüd energiakogused tunnide kaupa. Mikrotootmisjaama põhimõtteskeem on toodud joonisel (Joonis 2.3). [33]



**Joonis 2.3. Fotoelektrilise mikrotootmisjaama võrguühenduse põhimõtteskeem**

Selle mikrotootmisjaamaga toodetud elekter hakatakse kasutama majapidamise nõudes. Ülejäänud elektrienergia kogused müüakse elektrivõrku turuhinnaga. Taotletakse taastuveneria toetuse saamiseks.

Perioodil jaanuar 2015 kuni detsember 2016 on fikseeritud ühetunniste intervallidega antud majapidamises tarbitud energiakogused. Nende andmete alusel on arvatatud võimalikud säästud PV süsteemi kasutamisest, elektrivõrku müüdud ning elektrivõrgust ostetud elektrienergia kogused.

### 2.1.2. Piirkonna ilmastiku tingimused

Päikeseelektrijaama talitus sõltub suurel määral kahest faktorist: päikesepaneelidele langeva päikese kiirguse tugevusest ning välisõhutemperatuurist. Nendest faktoritest sõltub ränikristallide fotogalvaanilise efekti tekke ning räni juhtivus.

Päikese kiirguse andmed on toodud tabelis 2.1.

**Tabel 2.1. Päikese kiirguse tugevus Tallinnas ( $W/m^2$ )**

Periood	Keskmine	Min.	Maks.
Jaanuar	12	0	168
Veebruar	30	0	338
Märts	89	0	585
Aprill	162	0	745
Mai	270	0	812
Juuni	248	0	835
Juuli	236	0	821
August	174	0	741

<b>Periood</b>	<b>Keskmine</b>	<b>Min.</b>	<b>Maks.</b>
September	106	0	607
Oktoober	48	0	440
November	14	0	194
Detsember	7	0	118
Aasta jooksul	116	0	835

Päikesekiirguse mõõtühikuks on  $W/m^2$ , mis näitab maksimaalset kättesaadavat energiakogust ruutmeetri kohta. Kättesaadav energiakogus muutub ööpäeva ja aasta jooksul sõltuvalt päikesekiirguse kaldenurgast. Projekti arvutamiseks on kasutatud 2015. ja 2016. aastate päikesekiirguse andmed.

Tallinna välistemperatuuride andmed on toodud tabelis (Tabel 2.2).

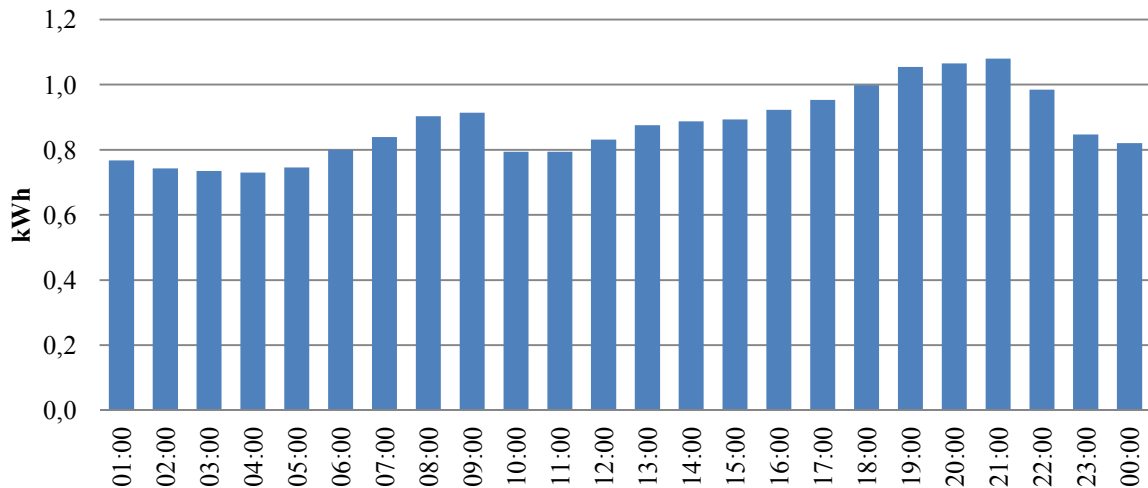
**Tabel 2.2. Välistemperatuur Tallinnas (°C)**

<b>Periood</b>	<b>Keskmine</b>	<b>Min.</b>	<b>Maks.</b>
Jaauar	-6,86	-20,83	5,19
Veebruar	0,16	-7,87	5,5
Märts	0,08	-7,33	11,57
Aprill	4,81	-2,36	15,05
Mai	12,32	0,08	22,9
Juuni	15,36	3,82	26,95
Juuli	17,34	9,27	26,13
August	16,28	8,57	27,21
September	13,21	5,62	21,24
Oktoober	4,99	-1,05	14,2
November	0,31	-9,63	7,8
Detsember	1,1	-5,73	7,25
Aasta jooksul	6,61	-20,83	27,21

Seoses sellega, et räni juhtivus sõltub temperatuurist, arvutuste teostamisel on vaja arvestada päikesepaneelide väljundvõimsuse langemise koefitsiendiga ( $\gamma$ ) ning NOCT-ga (ingl. Nominal Operation Cell Temperature), ehk päikesemooduli nominaalse töötemperatuuriga. Valitud päikesepaneelidel  $NOCT=45^{\circ}C$ ,  $\gamma=0,4\%/^{\circ}C$ . See tähendab, et kui päikesepaneeli temperatuur on  $44^{\circ}C$ , selle tegelik väljundvõimsus on 0,4% võrra madalam.

### 2.1.3. Majapidamise elektritarbimine

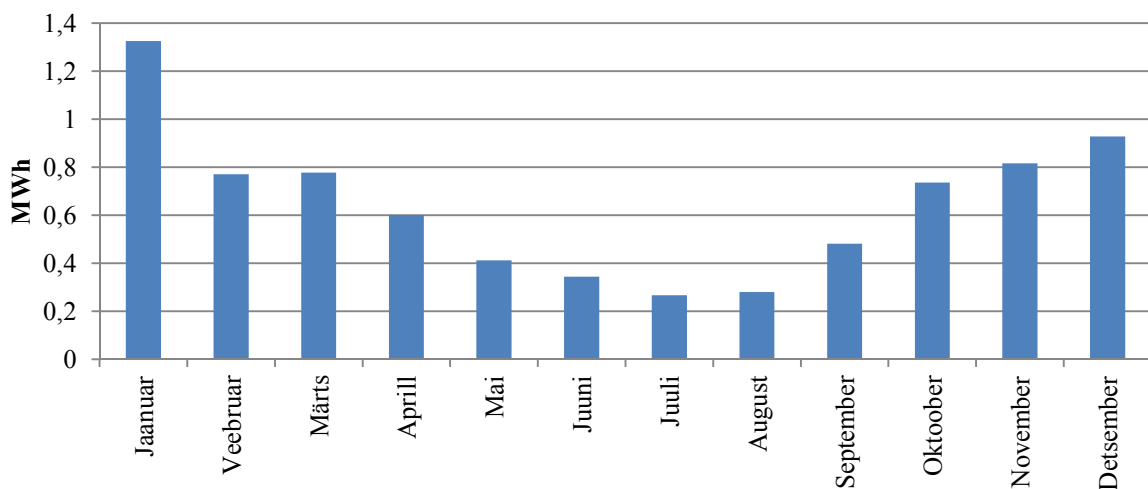
Majapidamise aastane elektritarbimine on 7700 kWh. Suure osa elektritarbimisest moodustab kütte. Kütteperioodil majapidamises kasutatakse õhksoojuspumpa mille tõttu päevane ja öine elektritarbimine tundi lõikes on ühtlane ja pidev (Joonis 2.4).



Joonis 2.4. Majapidamise elektritarbimine tundi lõikes

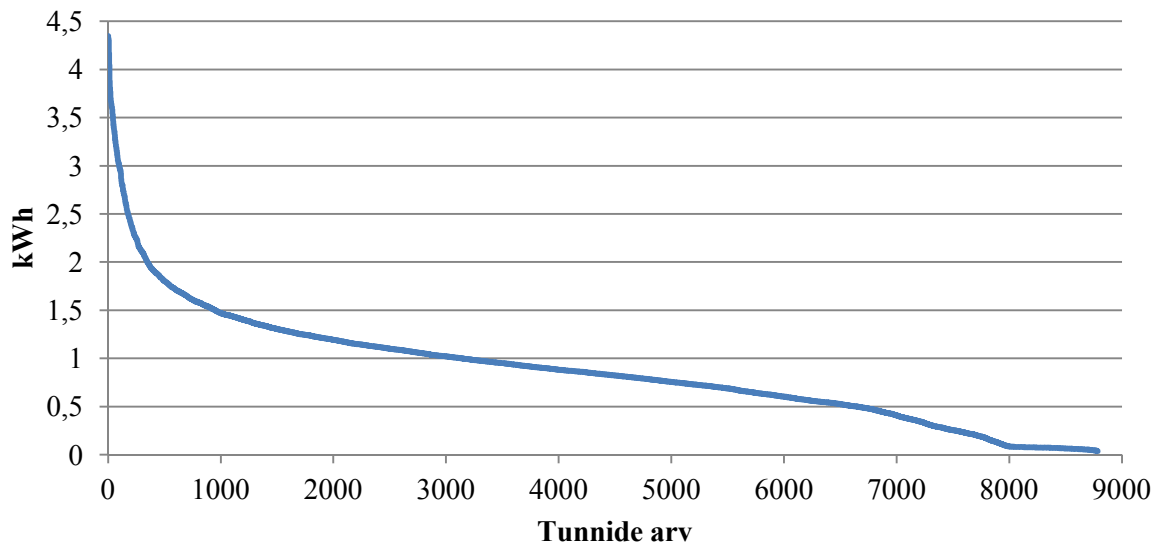
Graafikus on näha, et elektritarbimises on 2 tippu: hommikul ja õhtul. Õhtune tipp on kõrgem ja kestab kauem kui hommikune. See on seotud sellega, et õhtuti maja elanikud tavaliselt veedavad vabaaega kodus ja kasutavad erinevaid elektriseadmeid.

Tunni jooksul majapidamises tarbitakse keskmiselt 0,7-1,1 kWh elektrienergiat. Elektrienergia kuude lõikes on kuvatud alltoodud graafikul (Joonis 2.5).



Joonis 2.5. Majapidamise elektritarbimine kuude lõikes

Graafikus on näha, et kuude lõikes elektritarbimine on peamiselt seotud välistemperatuuriga. Veebruari madal elektritarbimine on seotud viimaste aastate anomaalselt soojade talvedega. Majapidamise elektritarbimise kestuse kõver on toodud joonisel 2.6.

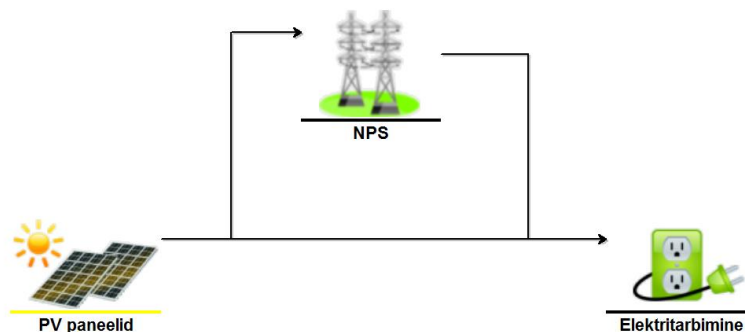


*Joonis 2.6. Majapidamise elektritarbimise kestuse kõver*

Elektritarbimise kestuskõver näitab kui kaua kestab elektritarbimine etteteatud võimsusel. Majapidamise maksimaalne elektritarbimine tunni jooksul on 4,4 kWh.

#### 2.1.4. Süsteemi modelleerimine

Süsteemi arvutamiseks oli kasutatud energyPRO tarkvara, mille abil oli koostatud mikrotootmisjaama ühenduse skeem (Joonis 2.7)



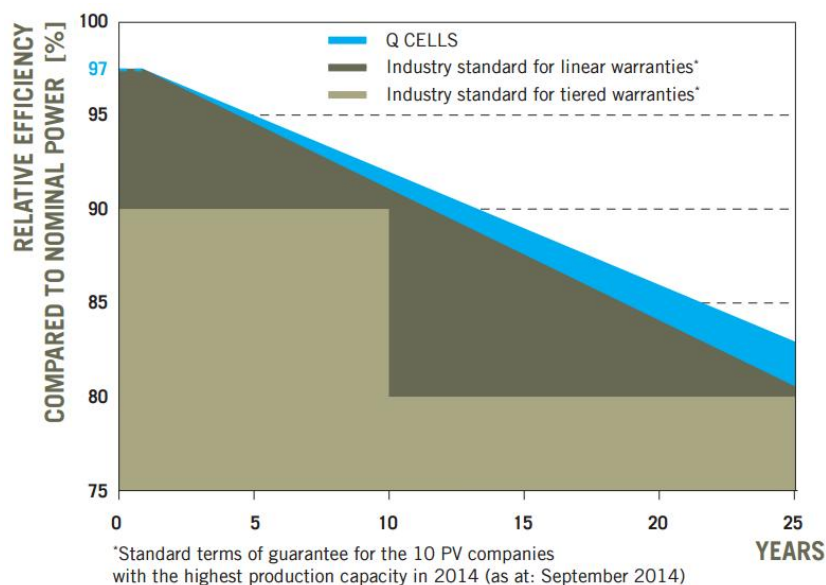
*Joonis 2.7. Mikrotootmisjaama kujutus energyPRO tarkvaras*

Skeemi peal ei ole kuvatud inverter, sest see seade ainult muudab elektri tüüpi, aga ei mõjuta süsteemi talitlust. Sellel lihtsustatud skeemil saab näha, et päikesepaneelidega toodud elektrienergia erinevate tingimuste korral saab liikuda nii elektritarbija kui ka võrguettevõtte poole. Samuti elektritarbija saab kasutada nii päikesepaneelidest toodud elektrienergiat kui ka võrguettevõttest ostetud elektrit.

Süsteemi modelleerimise käigus olid määratud iga komponendi parameetrid. Elektritarbimise, päikesekiirguse, välistemperatuuri ja elektrihindade väärtused on toodud aegridadena tunniliste ajavahemikudena. EnergyPRO tarkvara arvutab kõik väärtused ja parameetrid vastavalt nende muutmisele ajas tunnide kaupa ning väljastab lõpptulemused graafiku, aruande, koondtabeli või andmebaasi kujul.

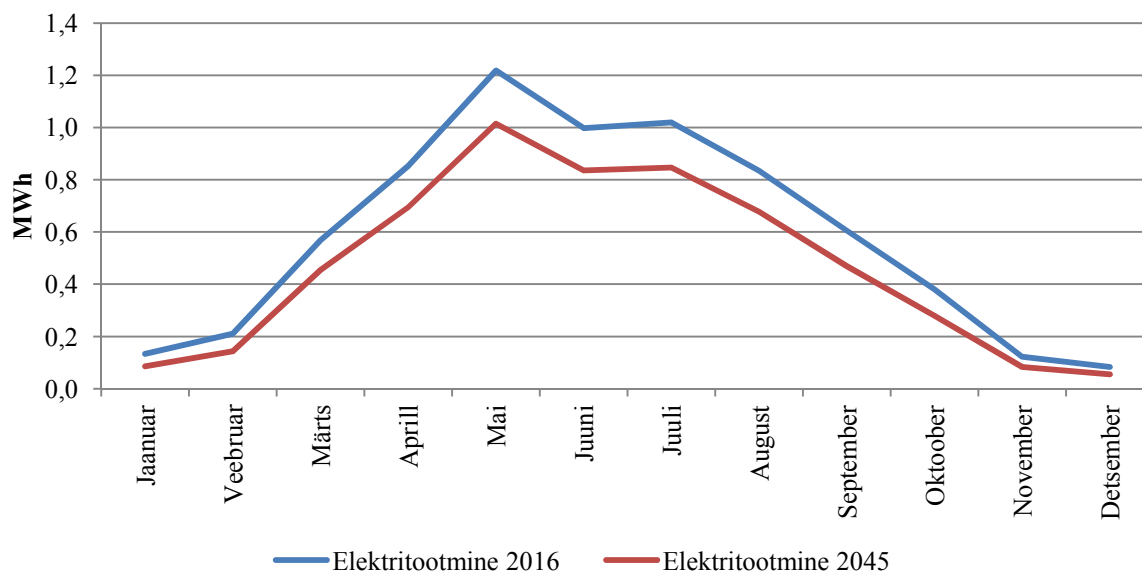
### 2.1.5. PV süsteemi tehnilised piirangud

Päikesepaneelide väljundvõimsus ei ole pidev karakteristik. Peale sõltuvust välistemperatuurist ja päikesekiirgusest on olemas ka sõltuvus elueast. Igal aastal ränimoodulid degradeeruvad ning nende väljundvõimsus kahaneb keskmiselt 0,6% võrra. See tähendab, et päikesepaneelide tootlikkus väheneb ka. Arvutuste käigus on vaja arvestada aastate jooksul muutuva päikesepaneelide reaalse väljundvõimsusega. Lisaks sellele päikesepaneelide tootja annab garantii, et paneeli reaalne võimsus ei erine nimivõimsusest 3% ulatuses esimese tööaasta jooksul (Joonis 2.8). [34]



**Joonis 2.8. Päikesepaneelide degradatsiooni kõver**

Kümme aasta pärast päikesepaneelide tootlikkus ei ületa 92% nimivõimsusest, peale kahekümne viie aastate on see juba 83,5%. Võrreldes teiste päikesepaneelidega projekti jaoks valitud seadmed püsivad oma tootlikkust paremini.



**Joonis 2.9. Päikesepaneelide tootlikkus aastates 2016 ja 2015**

Graafik näitab kuidas tegelikult muutub 7 kW-lise päikese süsteemi tootlikkus kolmekümne aasta jooksul (Joonis 2.9). Kõige märgatavalt muutuvad elektritootmise kogused suviti sest sellel ajal genereeritakse suurimad elektrikogused.

### 2.1.6. Modelleeritud süsteemi näitajad

Modelleerimise tulemusena on koostatud andmete koondtabel (Tabel 2.3).

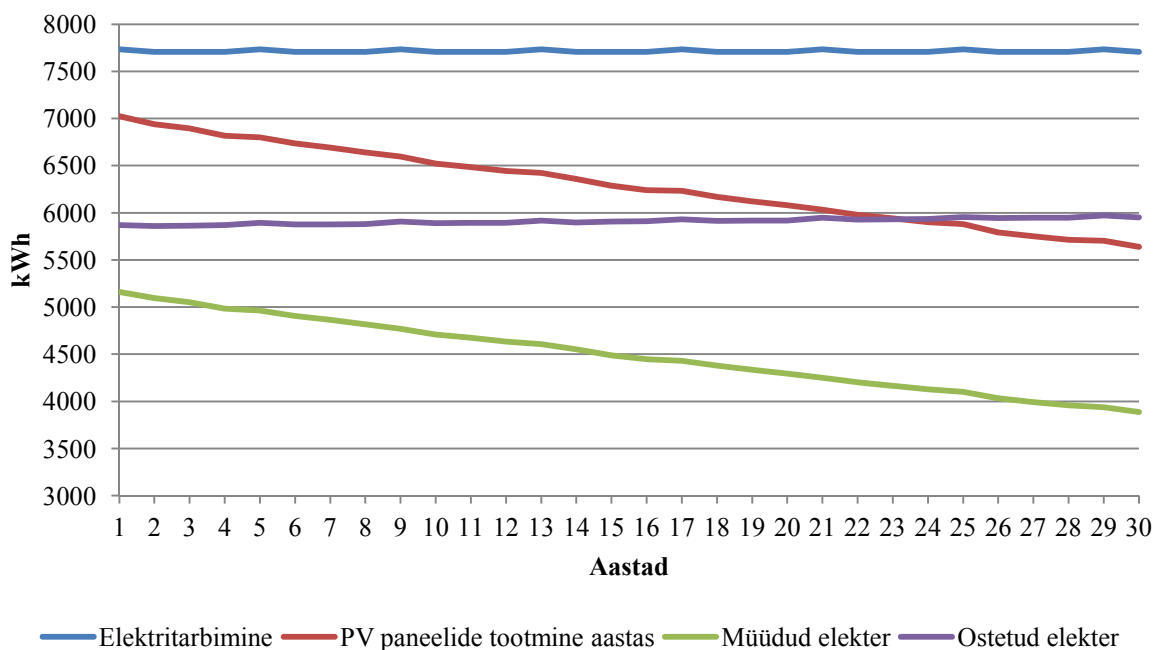
**Tabel 2.3. Lühendatud modelleerimise tulemuste tabel**

Aasta	2016	...	2026	...	2036	...	2045
Elektritarbimine (kWh)	7733	...	7705	...	7733	...	7705
PV paneelide toodang aastas (kWh)	7026	...	6485	...	6033	...	5640
PV paneelide maksimaalne tunnitoodang (kWh)	6,2	...	5,8	...	5,3	...	5,0
Müüdnud elekter (kWh)	5162	...	4673	...	4249	...	3888
Maksimaalne tunni jooksul müüdnud elektri kogus (kWh)	5,8	...	5,5	...	5,0	...	4,6
Takseeritud müüdnud elekter (kWh)	3147	...	2026	...	-	...	-
Võrgust ostetud elekter (kWh)	5870	...	5894	...	5949	...	5953
Töötundide arv	5006	...	4985	...	4997	...	4985



Tabelist on näha, et arvutused on tehtud aastate vahemikule 2016-2045. Selles ajavahemikus elektritarbimine on määratud olema püsiv ja võrdub 7700kWh aastas. Päikesepaneelide toodang esimesel aastal on 7026 kWh. Aastate jooksul toodang langeb ning peale kolmekümne aastate see langeb 5640 kWh-ni. Selline muutus on seotud päikesepaneelide ajalise väljundvõimsuse langemisega. Päikesepaneelide maksimaalne tunnitootmine esimesel aastal on 6,2 kWh, mis moodustab 89,1% teoreetilisest maksimaalsest tunnitootlikust. Aastal 2045 päikesepaneelide maksimaalne tunnitoodang langeb kuni 5 kWh.

Päikesepaneelide väljundvõimsuse ajalise langusega kahanevad ka võrku müüdüd elektrienergia kogused. Esimesel aastal mikrotootmisjaama omanik saab teenida 5162 kWh müüdüd elektrit, millest 3147 kWh eest saab veel lisaks taastuvenergiatoetust. Peale 30 aasta töötamist süsteem annab võrku juba 3888 kWh. Kuna elektritootmise kogused igal aastal langevad, suurenevad elektrivõrgust ostetud elektri kogused (Joonis 2.10).



**Joonis 2.10. 7kW päikese mikrotootmisjaama näitajad Eesti tingimustes**

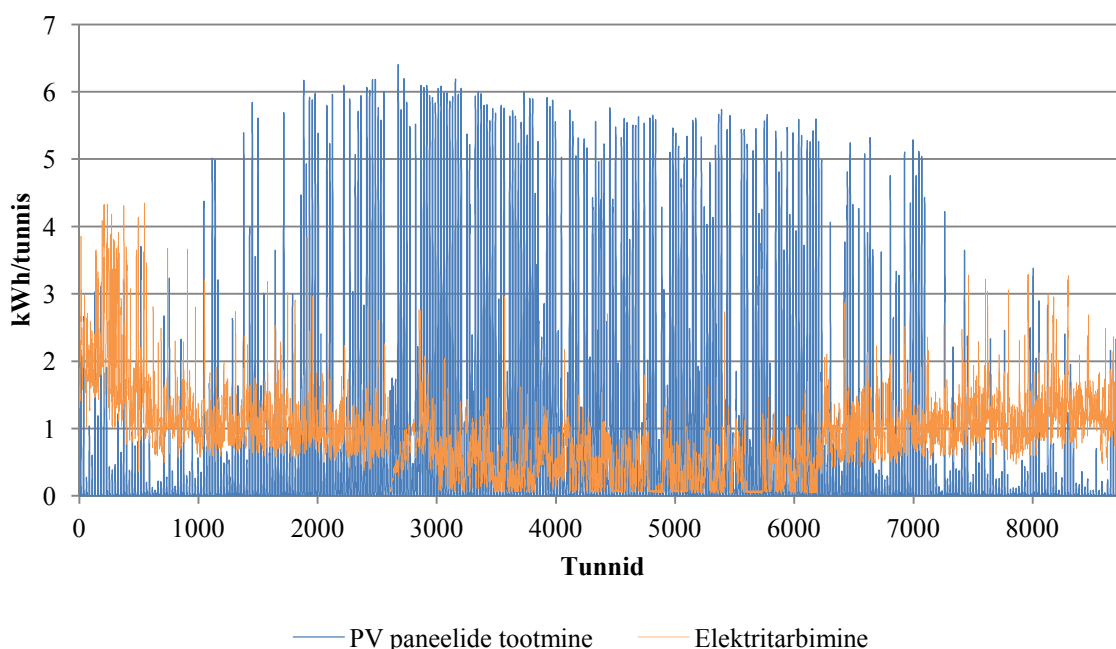
Graafikust on näha, et müüdüd elektri kogused langevad sünkroonselt päikese paneelidest toodetud elektri kogustega. Arvutused näitavad, et kogu päikesepaneelide tootmisest müüki läheb 71,4%, ehk omatarbimiseks jääb ainult 28,6%. Päikesepaneelidest tulenev elekter moodustab ainult 23,3% kogu majapidamise elektritarbimisest. Selle tõttu PV süsteemi tootlikuse langemine ei oma olulist mõju võrgust ostetud elektrienergia kogusele.

Aastal 2016 majapidamine kasutas 5870 kWh võrguelektrit, 2045-ndal aastal see kogus ulatub 5953 kWh, mis tähendab 1,5% kasvu.

Päikesepaneelide süsteemi töötundide arv on 5000. See tähendab, et päikeseelektrijaam töötab 57% ajast vahelduva väljundkarakteristikuga. Ülejäänud aeg süsteemi väljundvõimsus võrdub nulliga. Sellel ajal inverter tarbib elektrit võimsusega 1W.

### 2.1.7. PV süsteemi väljundkarakteristik

Päikesepaneelide mikrotootmisjaama energiatootmine on stohhastiline ning seda ei saa reguleerida ega ennustada. PV süsteemi toodangut ja majapidamise elektritarbimist saab näha alltoodud diagrammil (Joonis 2.11).



**Joonis 2.11. Majapidamise elektritarbimise ja mikrotootmisjaama tootmise graafikud**

Päikesepaneelide tootmine on hüppeline ja võrdub nulliga vähemalt kaks korda: päeva alguses ja lõpus. Hommikuti, kui päike hakkab paistma, tootmine järsult tõuseb ning õhtul sama kiiresti langeb. Selle tõttu mikrotootmisjaama võimsus on peaaegu alati kas vähem või suurem kui elektritarbimine. Päikeseenergia toodang on kõige suurem kevadest sügiseni. Sama perioodi jooksul tarbitava elektri kogused langevad soojemate välistemperatuuride tõttu. Päikesepaneelide tootmise kõvera osa, mis paikneb elektritarbimise kõverast kõrgem, näitab võrku müüdava elektrienergiakoguse.

### 2.1.8. Elektri hind turul

Võrku ühendatud mikrotootmisjaama kasutamine mõistab elektrienergiaga kauplemist. Elektri müük moodustab peamist osa tuludes. Vastavalt võrguettevõtjaga sõlmitud lepingule võrku lastud elektri eest makstakse kas tariifi alusel või elektrituru hinda. Eesti kuulub NPS elektrituru liikmete hulka ning Eesti tarbijate elektri hind otsustatakse seal. Käsitleva objekti võrguleping sätestab, et ostetud ja müüdud elektri eest tasutakse elektrituru hinna alusel tunniliste ajavahemike kaupa.

Elektrituru hinnad võivad kõikuda suures väärtuste diapsoonis. Tabelis 2.4 on toodud NPS turu elektri hindade statistika 2016. aastal.

**Tabel 2.4. Eesti elektri hinna statistika NPS turul aastal 2016 (EUR/MW)**

<b>Periood</b>	<b>Keskmine</b>	<b>Min.</b>	<b>Maks.</b>
Jaanuar	37,63	4,69	200,06
Veebruar	28,28	5,24	50,48
Märts	29,38	11,18	68,39
Aprill	29,72	14,93	51,50
Mai	28,26	6,01	95,04
Juuni	36,21	17,71	167,88
Juuli	30,97	12,14	55,05
August	31,39	8,12	51,99
September	32,40	14,46	57,68
Oktoober	37,53	22,87	79,97
November	40,87	9,03	104,96
Detsember	34,01	4,02	89,25
Aasta näitajad	33,06	4,02	200,06

Vastavalt Eesti ja rahvusvahelisele nõudlusele elektrienergia hind on kõrgem, kui tarbimine kasvab ja madalam, kui tarbimine langeb. Päeva tundide jooksul, kui tarbimine on suurem, elektri hind on kõrgem, öösel elektri hind turul on mitu korda madalam. Päikesepaneelidega elektritootmine toimub samal ajal kui elektri hinnad on kõrgel tasel.

Pimedamatel perioodidel, mil päikeseelektrijaamast tulenevat elektrit ei piisa, tuleb seda osta elektrivõrgust tagasi. Sellel juhul tarbija maksab mitte ainult elektrienergia eest, kuid ka võrgutasud, taastuvenergiatasu ja maksud. Vaatamata sellele, et elekter iseenesest võib olla odav, lõpptarbija peab maksma neljakordset summat, mis sisaldab kõike lisatasusid. Talveperioodil pimedate päevade jooksul elektri hinnad tavaliselt on kõige kõrgemad.

**Tabel 2.5. Eesti elektrihinna statistika lõpptarbijale aastal 2016 (EUR/MW)**

Periood	Keskmine	Min.	Maks.
Jaauar	151,80	112,27	346,72
Veebruar	140,58	112,93	167,22
Märts	141,90	120,06	188,71
Aprill	142,31	124,56	168,44
Mai	140,56	113,86	220,69
Juuni	150,10	127,90	308,10
Juuli	143,81	121,21	172,70
August	144,31	116,39	169,03
September	145,52	124,00	175,86
Oktoober	151,68	134,09	202,61
November	155,69	117,48	232,60
Detsember	147,46	111,47	213,74
Aasta näitajad	146,32	111,47	346,72

Tabel 2.5 näitab lõpptarbijate elektri hindu vastavalt tabelis 2.4 toodud elektri turuhindadele. Elektri ostmine sellel ajal, kui mikrotootmisjaama tootmine on nulli lähedal, on üks peamistest kulude punktidest.

### 2.1.9. Majanduslikud tulemused

Arvestades Eesti elektribörsi hindasid, taastuenergiatoetust, võrgutasu ning riiklikke makse olid koostatud mikrotootmisjaama rahavood kolmekümneks aastaks. Tabel 2.6 annab ülevaate päikeseelektrijaama rahavoogude kohta paigaldamise aastal kuude lõikes.

**Tabel 2.6. Mikrotootmisjaama rahavood kuude lõikes 2016 aastal**

Periood: 01.2016 - 12.2016													
Tulud	Jaau.	Veeb.	Märts	April	Mai	Juuni	Juuli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Det.	Kokku
Elektri müük	1	3	11	22	36	39	31	26	18	10	2	1	200
Taastuenergia toetus	0	0	0	14	43	35	40	30	7	0	0	0	169
Säästetud raha	173	91	93	72	48	43	32	34	59	95	109	117	966
Tulud kokku	174	94	105	107	128	117	103	90	84	105	111	117	
<b>Kulud</b>													
Elektri ost	158	77	63	41	22	18	14	17	39	74	98	109	726
Kulud kokku	158	77	63	41	22	18	14	17	39	74	98	109	
<b>Rahavoog</b>													
Rahavoog	16	17	42	66	106	99	89	72	44	31	13	9	604
Investeering	11000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11000
Summaarne rahavoog	-10984	17	42	66	106	99	89	72	44	31	13	9	-10396
<b>Kumulatiivne rahavoog</b>	<b>-10984</b>	<b>-10967</b>	<b>-10926</b>	<b>-10860</b>	<b>-10753</b>	<b>-10654</b>	<b>-10565</b>	<b>-10493</b>	<b>-10449</b>	<b>-10418</b>	<b>-10405</b>	<b>-10396</b>	

Esimese aasta elektrimüügi tulemusena on 200 EUR tulu. Sama elektrikoguse eest saab 169 EUR taastuenergiatoetusena. Aastane kulu ostetud energiale on 726 EUR. Mikrotootmisjaamata kulu sama aasta jooksul on 966 EUR. Seda saab pidada säästuks, sest see peegeldab võrgust ostmata jäänud elektrikogused. Esimesel aastal teostatakse suurt investeeringut PV süsteemi ehitamisesse, selle tõttu aastane summaarne rahavoog on negatiivne ja võrdub -10396 EUR.

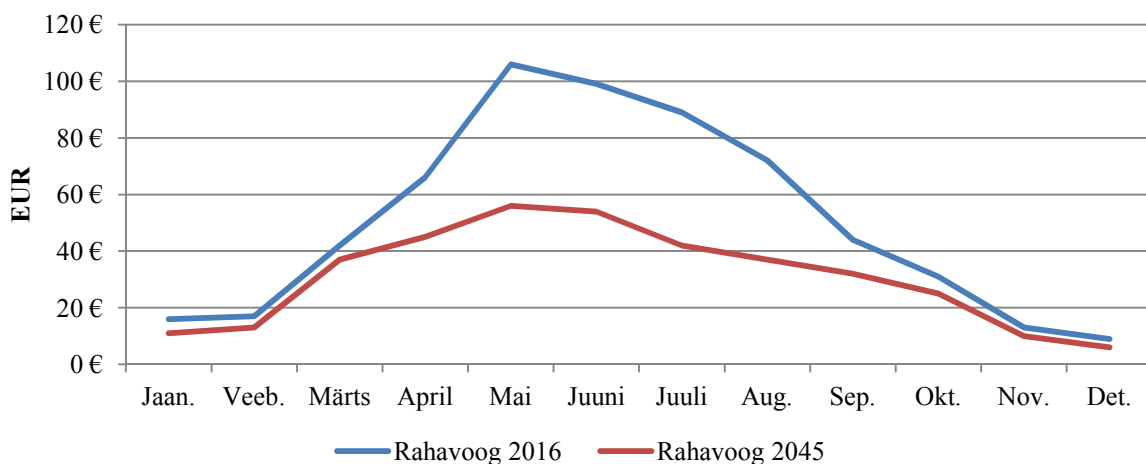
Kuna erinevates aastates rahavood muutuvad, võrdlemiseks on toodud 2045. aasta rahavoogude tabel (Tabel 2.7).

**Tabel 2.7. Mikrotootmisjaama rahavood kuude lõikes 2045 aastal**

Periood: 01.2045 - 12.2045													
Tulud	Jaan.	Veeb.	Märts	April	Mai	Juuni	Juuli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Det.	Kokku
Elektri müük	0	2	8	15	29	29	24	20	13	5	1	0	146
Taastuenergia toetus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Säästetud raha	176	88	93	72	49	43	32	34	59	96	110	117	969
Tulud kokku	176	90	101	87	78	73	56	54	72	101	110	117	
Kulud													
Elektri ost	166	77	65	42	21	18	14	17	40	76	100	111	747
Kulud kokku	166	77	65	42	21	18	14	17	40	76	100	111	
Rahavoog	11	13	37	45	56	54	42	37	32	25	10	6	368
Investeering	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summaarne rahavoog	11	13	37	45	56	54	42	37	32	25	10	6	368
<b>Kumulatiivne rahavoog</b>	<b>1507</b>	<b>1520</b>	<b>1557</b>	<b>1602</b>	<b>1658</b>	<b>1712</b>	<b>1755</b>	<b>1791</b>	<b>1823</b>	<b>1848</b>	<b>1858</b>	<b>1864</b>	

Aastal 2045 mikrotootmisjaama eluiga on 30 aastat. Seoses sellega tabelis on näha kuidas reageerivad rahavood päikesepaneelide väljundvõimsuse langemisele. Aasta tulemuseks on positiivne summaarne rahavoog summaga 368 EUR, mille taga on tulud elektrimüügist 146 EUR ulatuses, kulud seotud elektrienergia ostuga võrgust – 747 EUR ning sääst ostmata jäänud elektrikoguse eest – 969 EUR.

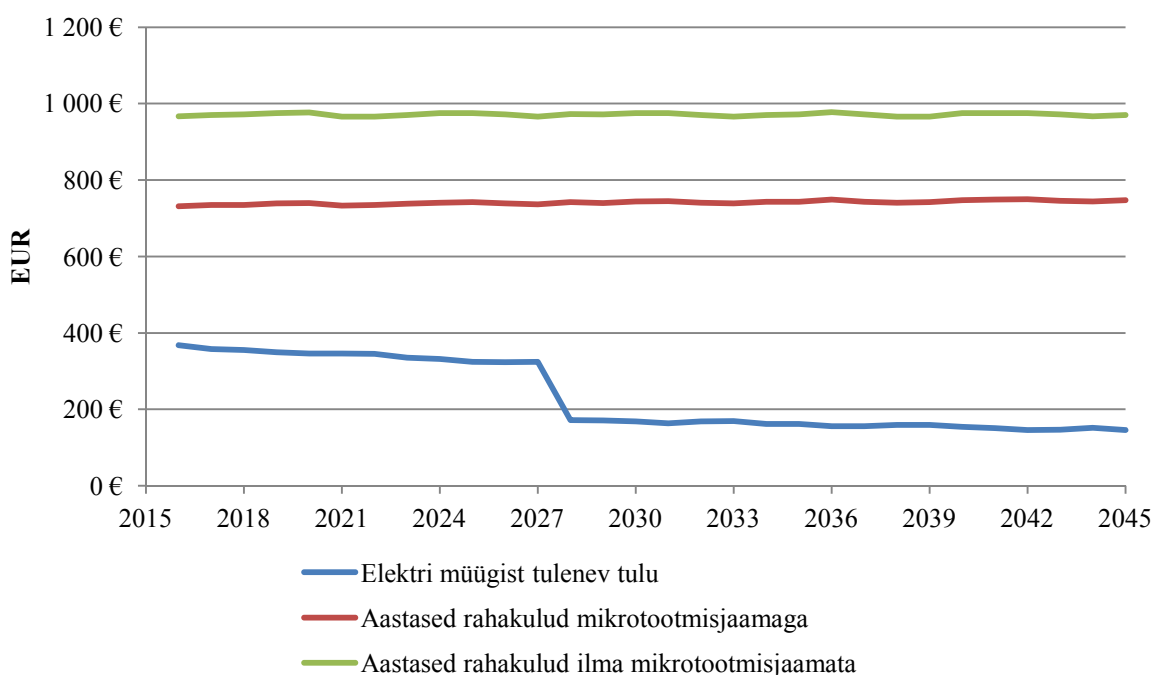
Rahavoogude erinevus tekitatud paneelide tootlikuse langemisest ja taastuenergia toetuse peatamisest on näidatud diagrammil (Joonis 2.12).



**Joonis 2.12. Rahavoogade erinevus 2016 ja 2045 aastates**

Graafikus on näha, et tulud mikrotootmisjaama kasutamisest süsteemi eluiga lõpus kahanevad kahekordselt. Kõige olulisem kahanemine on märgitud suve perioodi jooksul.

Tulude ja kulude muutmise dünaamika kolmekümne aasta jooksul on näidatud alltoodud diagrammil (Joonis 2.13).



**Joonis 2.13. Elektrienergia ostmisega ja müümisega seotud kulud aastate lõikes**

Elektri müügist tulenev tulu koosneb elektrienergia turuhinnast ja taastuvenergiatoetusest. Taastuvenergiatoetust makstakse esimeste 12 aastate jooksul, mille

tõttu graafiku joone peal on treppikujuline langus. Aastased rahakulud mikrotootmisjaamaga näitavad elektrivõrgust ostetud elektrikoguse väikest kasvu, mis asendab päikesemoodulite langevat tootlikust. Roheline kõver näitab majapidamise tavalist rahakulu elektrienergiale ilma mikrotootmisjaamata, mis jääb püsival tasemel kogu vaadeldava perioodi jooksul.

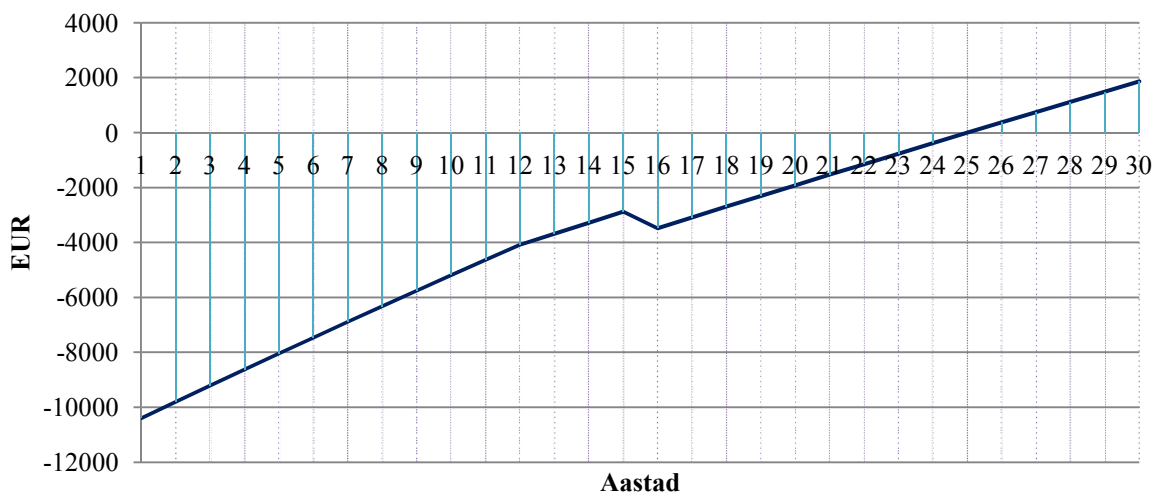
### 2.1.10. Mikrotootmisjaama tasuvusaeg

Lihttasuvuse arvutamine sobib sellel juhul, kui on vaja arvutada rentaablust kättesaadavate rahavoogude alusel. Lihttasuvus näitab aega millal investeeringu objekti tulud katavad investeeringu summat. Selles meetodis ei arvestata inflatsiooni, võimalikke tulusid ning investeeringu väärtuse ajalisi muutusi.

Lihttasuvuse meetod sobib hästi kodupäikeseelektrijaama arvutamiseks, sest omanik ei ole huvitatud jooksvates tuludes investeeringu summast, vaid ootab kumulatiivse rahavooga väärtuse positiivseks muutmist.

Mikrotootmisjaama kasutamisega majapidamises jääb sama elektrivõrgust ostmata energia kogus, mis oli kasutatud päikesepaneelide toodangust. Samuti osa päikesepaneelidega toodetud elektrienergiast läheb müüki elektrivõrku. Päikeseelektrijaama tasuvuse arvutamisel kasutatakse neid andmeid selleks, et näidata kui kasumlik on mikrotootmisjaama paigaldamine just olemasoleva majapidamise jaoks.

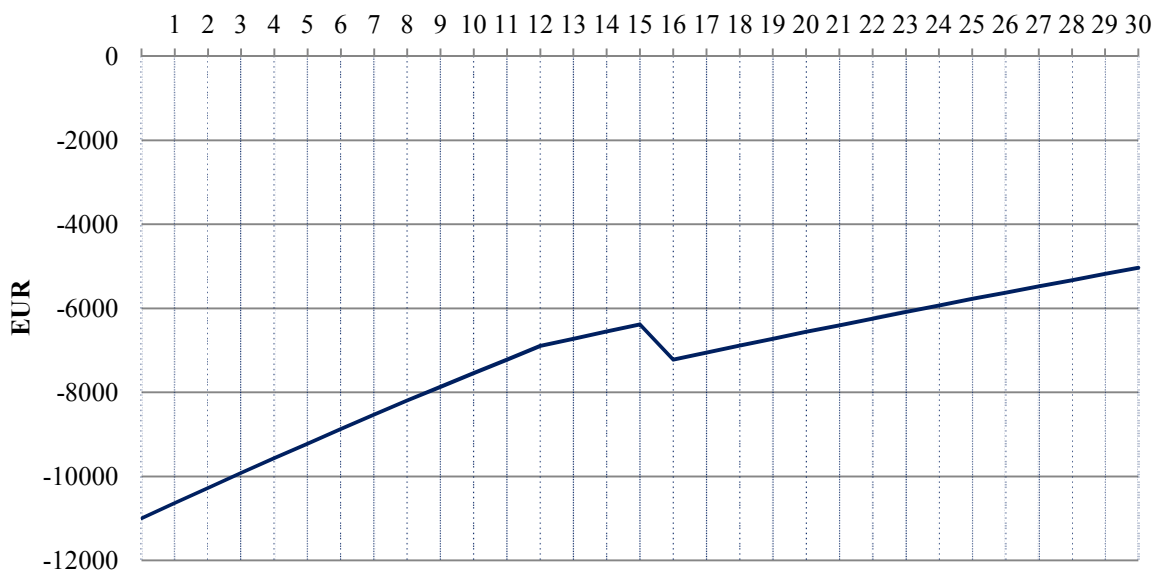
Käsitleva mikrotootmisjaama kumulatiivsed rahavood on toodud graafikul (Joonis 2.14).



**Joonis 2.14. 7kW päikesepaneelidega mikrotootmisjaama kumulatiivne rahavoog, juhul kui arvestatakse majapidamise tarbimisega**

Joonisest on näha, et süsteemi lihttasuvusaeg on 25 aastat. See tähendab, et investering tasub end ära ainult juhul, kui päikeseelektrijaama eluiga on reaalselt pikem kui 25 aastat. Tuleb arvestada sellega, et selles stsenaariumis on ettenähtud üks remont väärtusega 1000 EUR. Süsteemi erakorraliste seisakute, süsteemi tehniliste karakteristikute muutmise ning suuremate remondikulude tekkimise juhul lihttasuvusaeg võib olla märgatavalt pikem.

Kui elektrijaam ehitatakse mitte majapidamise elektritarbimise katmiseks vaid kogu genereeritud elektrikoguse võrku müümiseks, siis sellel juhul puuduvad majandusarvutustes sellised rahavood nagu ostetud elektrienergia ja säästetud elektrienergia. Siis investeeringu kompensatsiooniks on ainult müüdud elektri eest tasutud raha ning taastuenergiatoetus. Vastava kumulatiivse rahavooga graafik on toodud joonisel 2.15.



**Joonis 2.15. 7 kW päikesepaneelidega mikrotootmisjaama kumulatiivne rahavoog, juhul kui kogu toodetud elekter müüakse võrku**

Graafikust on näha, et raha aastane sissetulek on väiksem ja investeeringu kompenseerimine toimub aeglasemini. See on seotud puuduva säästuga päikeseenergia kasutamisest. Käsitlev mikrotootmisjaam ei ole majanduslikult tasuv, päikesepaneelide eluiga lõpus investering ei ole tagastatud.

Vaatamata sellele, et käsitlev elektrijaam ei ole tasuv kogu toodetud elektrienergia võrku müümise puhul, seda lülitusskeemi kasutatakse suuremate päikeseelektrijaamade ehitamisel.



### 2.1.11. NPV, IRR

Investeeringu nüüdispuhasväärtus (ingl. – Net Present Value, NPV) on rahaline väärtus, mis näitab millisel määral muutub projekti väärtus investeeringu teostamise tõttu. Nüüdispuhasväärtust kasutatakse äriprojektide hindamisel selle pärast, et selles meetodis on ette nähtud tulukuse norm. NPV arvutamiseks on vaja selgeks teha diskontomäär, mille alusel diskonteeritakse investeeringu rahavood. Projekti väärtus kahaneb diskontomäära suurenedes ja perioodi pikenedes. Intressimääraks võib esineda pangaintress krediidi võtmise juhul, oma kapitali hind või investori poolt nõutav tulumäär.

Nüüdispuhasväärtust arvutatakse valemiga [35]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{rahavood_t}{(1+diskontomäär)^t} \quad (2.1)$$

Projekti sisemine tulunorm (ing. – Internal Rate of Return, IRR) on protsendiline arv, mis näitab kui suurt tulu saab investeeringult. Projekti sisemine tulunorm näitab diskontomäära, mille kasutamise puhul projektist tulenevad tulud võrduvad esialgse investeeringuga. Nüüdispuhasväärtuse valem kasutades IRR-i [35]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{rahavood_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (2.2)$$

Majanduslikud arvutused on koondatud tabelisse 2.8.

**Tabel 2.8. Majandusarvutuse tulemused**

Diskontomäär	6,00%
NPV (EUR)	-4192
IRR	1,19%
Lihttasuvusaeg (a)	25

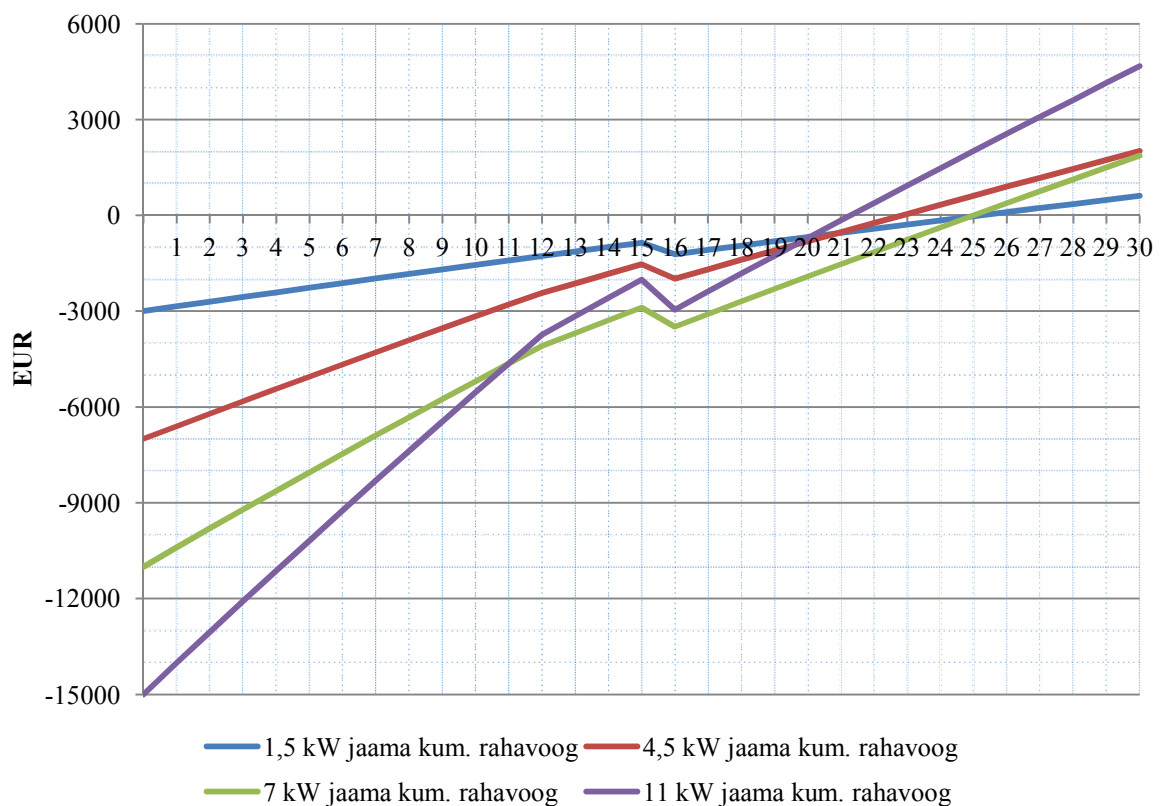
Tabelist on näha, et olemasolevale eramule käsitleva päikeseenergia mikrotootmisjaama ehitamiseks kuuluva investeeringu lihttasuvusaeg on 25 aastat tulusumääraga 1,19%. Investeeringu allikaks sobivad omavahendid või investori kapital juhul, kui kapitali hind ei ületa tulusumäära. Projekti nüüdisväärtus valitud diskontomääraga on negatiivne. Diskontomääraks oli valitud 6%. Tulemusest saab järeldada, et mikrotootmisjaama ehitamise eesmärgiks ei sobi tulu saamine elektrienergia müügist, vaid toodetud elektrienergia tarbimine kulude vähendamiseks.

### 2.1.12. Mikrotootmisjama tasuvuse sensitiivusanaalüüs

Käsitleva majapidamise hoone katusele mahub päikesepaneelide väli maksimaalse nimivõimsusega 7kW. See tähendab, et päikeseelektrijaama nimivõimsus võib olla ka väiksem. Seega enne ehitamist tuleb otsustada milline võimsus sobib majapidamisele kõige paremini.

Tihti päikesepaneelide edasimüüjad võrdlevad majapidamise elektritarbimine päikesepaneelide toodanguga vaatamata sellele, millisel ööpäeva ajal toimub elektritarbimine. Tavaliselt majapidamise elektritarbimine omab kaks tippu: hommikul ja õhtul, ning õhtune elektritarbimine on tavaliselt kõrgem (peatükk 2.1.3). Lisaks sellele suurem osa tarbimisest toimub talvel, pimedal aasta ajal. Suur osa elektritarbimisest ei ole kaetud päikeseenergiaga, sest pimeduses päikesepaneelide tootlikkus on nulli lähedane. Seega saab järeldada, et päikesepaneelide nimivõimsuse valimisel ei saa lähtuda elektritarbimisest.

Selleks, et oleks võimalik võrrelda erinevate võimsustega päikeseelektrijaamu, on tehtud majanduslike tulemuste arvutused. Mikrotootmisjaamade nimivõimsusteks on valitud 1,5 kW, 4,5 kW, 7 kW ja 11 kW. Rahavoogade kõverad on toodud joonisel 2.16.



Joonis 2.16. Erinevate võimsustega mikrotootmisjaamade rahavood

Graafikust on näha, et päikeseelektriijaama nimivõimsuse suurenemisega tõuseb ka investeeringu summa. Samuti tõusevad planeeritud remonditasud. Tulemused näitasid, et 1,5 kW mikrotootmisjaama puhul taastuenergia toetust ei maksta, sest võrku müüdüd elektrienergia kogused on väiksemad kui võrgust ostetud elektri maht. 7 kW ja 1,5 kW nimivõimsusega mikrotootmisjaama tasuvusaeg on 25 aastat. Päikeseelektriijaam nimivõimsusega 4,5 kW tasub end ära 23 aasta pärast. Kõige parem tulemus on 11 kW päikeseelektriijaamal, selle tasuvusaeg on 21 aastat, kuid tuleb arvestada sellega, et selle süsteemi paigaldamine käsitleva hoone katusele ei ole võimalik.

Teised majanduslikud näitajad on toodud tabelis 2.9.

**Tabel 2.9. Erinevate võimsustega mikrotootmisjaamade majanduslikud tulemused**

Mikrotootmisjaama võimsus (kW)	1,5	4,5	7	11
Diskontomäär	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
NPV (EUR)	-1194	-2380	-4192	-4426
IRR	1,30%	1,89%	1,19%	2,22%
Tasuvusaeg (a)	26	23	25	22

Tulemustest nähtub, et kõikide nimivõimsuste puhul investeeringu nüüdispuhasväärtused on negatiivsed, mis tähendab, et investeering ei tasu ära valitud diskontomäära rakendamisel. Kuna erinevate päikeseelektriijaamade investeeringud on erinevad, ei saa neid võrrelda otseselt nüüdispuhasväärtuse alusel. Investeeringu tulunormid näitavad, et 11 kW nimivõimsusega mikrotootmisjaam on kõige tulusam ning töö alguses valitud 7 kW mikrotootmisjaama tulunorm on kõige madalam.

Majapidamises asuva päikeseelektriijaama puhul kõige suuremat rolli mängib lihttasuvusaeg, sest see otseselt annab teada kui kaua tuleb oodata investeeritud raha tagastamiseks. Arvutused näitavad, et erinevate nimivõimsustega päikeseelektriijaamade tasuvusajad ei erine oluliselt omavahel ning on võrdsad päikesepaneelide elueaga. Erinevate suurustega investeeringute tasuvusajade võrdsus on seotud sellega, et tagasimaksete suurus otseselt sõltub mikrotootmisjaama suuruselt ja selle genereeritava elektrienergiakogusest.

### 2.1.13. Kokkuvõte

Käsitlevale objektile paigaldatakse päikeseenergia mikrotootmisjaam nimivõimsusega 6,96kW. Investeeringu maksumus on 11000 EUR. Majapidamise aastakeskmise elektritarbimine on 7700 kWh. Päikesepaneelide aastane toodang esimesel aastal on 7733 kWh maksimaalse tunnitootmisega 6,2 kWh. Sellel perioodil võrku müüdüd

elektrikogus on 5162k Wh, võrgust ostetud on 5850 kWh. Taastuenergiatoetust saab 3147 kWh takseeritud müüdud elektrienergia eest. Arvestades päikeselepaneelide muutuvat väljundkarakteristikut peale 30 aasta töötamist mikrotootmisjaama toodang langeb 5640 kWh-ni, maksimaalse tunnitootmisega 5 kWh. Aastal 2045 müüakse võrku 3888 kWh ja ostetakse 5953 kWh elektrienergiat. Päikesepaneelide tootmisest 71,4% müüakse võrku, ülejäänud kasutatakse majapidamises. Päikeseenergia moodustab majapidamise kogu elektritarbimisest 23,3%. Süsteemi aastakeskmise töötundide arv on 5000.

Esimesel aastal võrku müüdud elektrienergia eest saab 200 EUR ning taastuenergiatoetusena 169 EUR. Täiendava elektri eest tuleb maksta 604 EUR. Ilma päikeseelektrijaamata tuleks elektri eest maksta 726 EUR. Seega esimese aasta summaarne rahavoog on 604 EUR.

Peale 30 aasta töötamist teenib mikrotootmisjaam 146 EUR müüdud elektri eest. Taastuenergiatoetust ei saa, sest seda makstakse ainult esimese 12 aastate jooksul. Võrgust ostetava elektrienergia eest tuleb maksta 747 EUR. Mikrotootmisjaamata tegutsemisel see summa võrdub 969 EUR. Aasta summaarne rahavoog on 368 EUR.

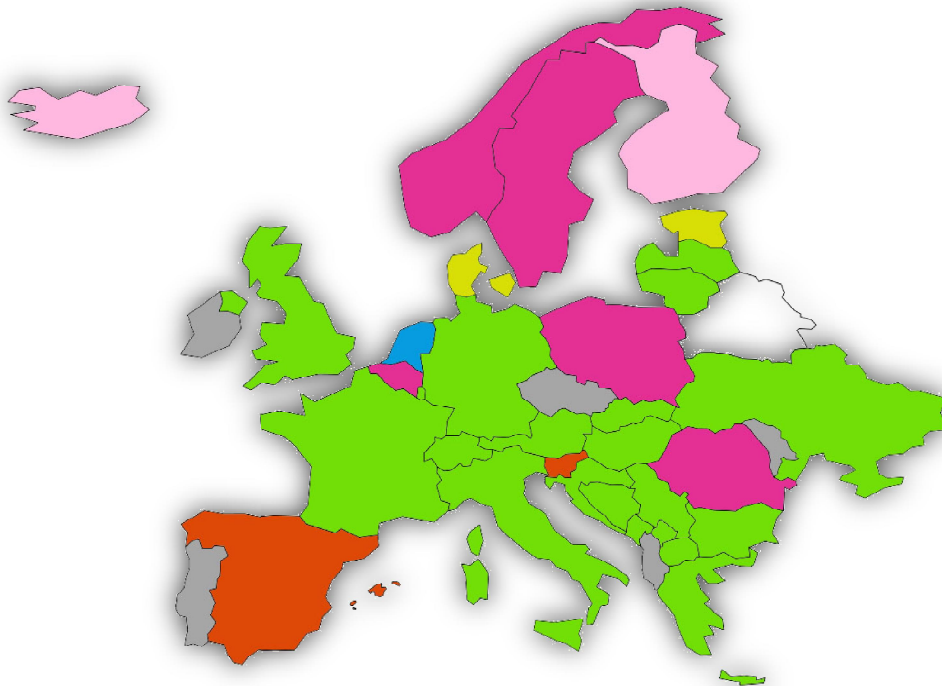
Projekti jaoks valitud 7 kW mikrotootmisjaama investeringu lihttasuvusaeg Eesti tingimustes on 25 aastat, nüüdispuhasväärtus on -4192 EUR, tulunorm on 1,19%.

Sensitiivsusanalüüs näitab kuidas muutuvad mikrotootmisjaama majanduslikud näitajad erinevate nimivõimsuste valimisel. 1,5 kW mikrotootmisjaama lihttasuvusaeg on 26 aastat, NPV on -1194 EUR, IRR – 1,30%. 4,5 kW mikrotootmisjaama lihttasuvusaeg on 23 aastat, NPV on -2380 EUR, IRR – 1,89%. 11kW mikrotootmisjaama lihttasuvusaeg on 22 aastat, NPV on -4426 EUR, IRR – 2,22%.

## 2.2. Mikrotootmisjaama tasuvus teiste riikide tingimustes

Selleks, et saada aru millistes tingimustes on Eesti mikrotootjad, on tehtud päikeseelektrijaama tasuvusarvutused erinevate Euroopa Majanduspiirkonna riikide kohta. Tuleb arvestada sellega, et igas riigis on oma taastuvenergeetika poliitika, millest sõltuvad sellised faktorid nagu: toetamise võimalused ja viisid, jooksvatoetuse kestus, mikrotootjalt elektri ostmise kord, mikrotootja liitumise võimalused, võimsusepiirangud, arvelduse kord jm. Analüüs hõlmab 18 riiki (k.a. Eesti), kelle kohta on täpselt defineeritud kõik arvutamiseks vajalikud andmed.

Analüüsi käigus olid valitud need riigid, kelle kohta on teada mikrotootmisjaama majanduslike näitajate andmed. Suurel määral valik sõltus võrku müüdüd elektrienergia eest maksetest. Kuna mõnedel riikidel ei ole võimalik ette teada müüdüd elektrienergia maksumust, analüüsis figureerivad ainult FiT ja FiP taastuvenergia toetuskeemidega riigid. Kaardi peal on märgitud need riigid, kus toetakse projektis käsitlevaid mikrotootmisjaamasid (Joonis 2.17).



*Joonis 2.17. Euroopa riigid ja nende mikrotootmisjaamade toetuskeemide liigitus*

Kaardil roheline värviga on märgitud riigid, kus rakendatakse FiT tariife; kollase värviga on märgitud riigid, kus mikrotootmisjaamal toodetud elektri eest tasutakse turuhinda

ning FiP tariifi alusel; riigid, kus elektritariifi määratakse tenderite või oksjonide abil on markeeritud heleroosa ja punase värvidega; tumeroosa värviga on märgitud riigid, kus müüdüd elektri eest makstakse kvoodi alusel; Hollandis (sinine) kasutatakse spetsiaalset ümberarvutust; hall värviga märgitud riikides mikrotootmisjaamade toetuskeemid puuduvad.

Kui mingis valitud riigis kasutatakse FiT või FiP taastuvenergia toetust, siis selle riigi kohta on ette määratud toetuse reeglid ja tariifimäärad. See tähendab, et nende toetuse liikide puhul on võimalik teostada tasuvusarvutusi. Teiste toetuskeemide puhul on vajalik taotluse esitamine elektrimüügi tariifi määramiseks. Kuna tariifi määramine toimub mikrotootmisjaama parameetrite, liitumispunkti asukoha ning teiste riigi, võrguettevõtja ja mikrotootja tingimuste alusel, ei ole võimalik pakkuda kasutuskõlblikut arvutuste meetodit.

### 2.2.1. Elektrimüügi tariifid mikrotootjatele

Kui riigis rakendub FIT tüüpi taastuvenergiatoetus, siis seda nimetatakse lülitustariifiks ning tariif rakendub kõigile võrku müüdüd elektrienergia kogusele, kui ei ole määratud teisiti. Selle tariifi järgi tulenev tulu on mikrotootmisjaama ainus raha sissetulek. FiP toetuse tüübi puhul müüdüd elektrienergia eest makstakse nii turuhinda kui ka lisanduva toetust, mis võib rakenduda kas kogu võrku müüdüd elektrienergia kogusele või selle osale.

Järmises tabelis (Tabel 2.10) on toodud vaadeldavate riikide toetuse määrad ja toetuse rakendamise tingimused päikeseenergia mikrotootmisjaamadele. Neid andmeid kasutatakse projekti kasumlikkuse hindamiseks erinevate riikide kohta.

**Tabel 2.10. Euroopa riikide toetuse määrad**

Riik	Toetuse kestus (a)	Toetuse liik	Toetuse määr EUR/kWh	Toetuse ajaline muutus
Austria	13	FIT	0,0791	-
Bosnia ja Hertsogoviina	12	FIT	0,195	-
Bulgaaria	20	FIT	0,1091	-
Eesti	12	FiP	0,0537 (makstakse takseeritud elektrienergia koguse eest)	-
Holland	Tähtajatu	Ümberarvutus	Jooksva kuu tarbimisest lahutatakse võrku müüdüd elektrienergia kogus	Rakendub esimesele 5000kWh

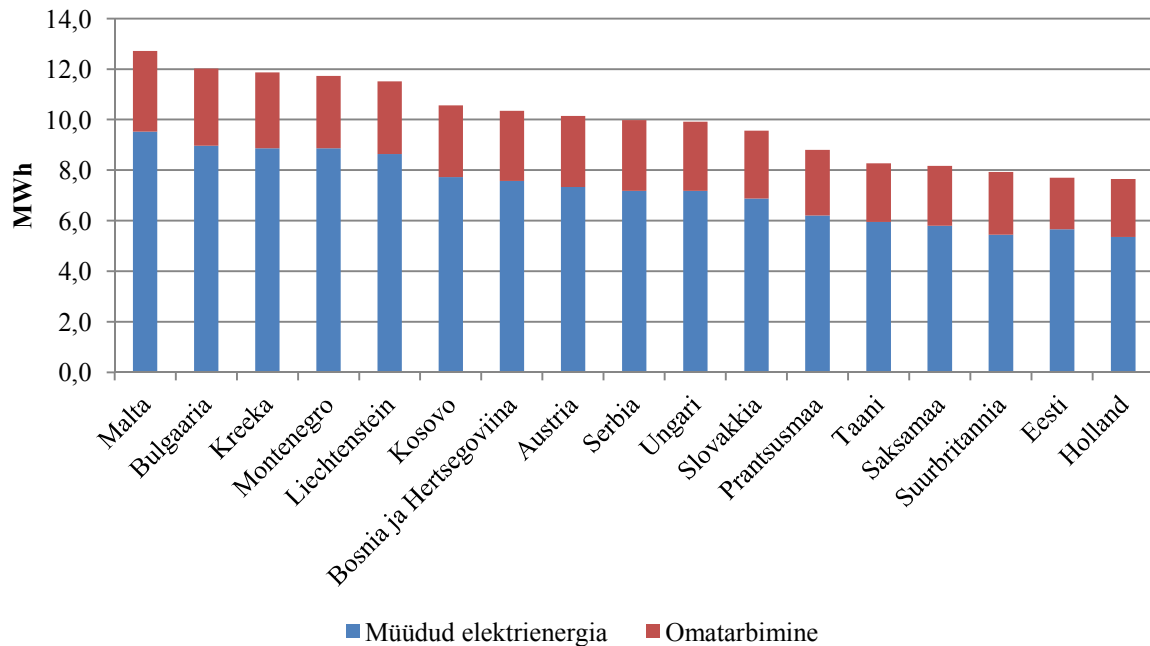
Riik	Toetuse kestus (a)	Toetuse liik	Toetuse määr EUR/kWh	Toetuse ajaline muutus
Kosovo	12	FIT	0,1364	-
Kreeka	25	FIT	0,105	Kahaneb 4,5% iga 6 kuu tagant
Liechtenstein	10	FIT	0,09	-
Malta	20	FIT	0,155	Rakendub esimesele 1600kWh aastas
Montenegro	12	FIT	0,12	-
Prantsusmaa	20	FIT	0,1382	Kahaneb 2,7% iga 3 kuu tagant
Saksamaa	20	FIT	0,127	Kahaneb 0,5% iga kuu
Serbia	12	FIT	0,146	-
Slovakkia	15	FIT	0,085	-
Suurbritannia	20	FIT	0,0436	Kahaneb 7% aastas
Taani	10	FIP	0,130	Kahaneb 0,02 EUR aastas
Ungari	13	FIT	0,1031	-

Tabelist on näha, et tavaliselt toetus kestab 12-20 aastat, kuid on olemas riigid, kelle toetuskeem on pikem (nt. Holland, Kreeka) või lühem (nt. Taani). Toetuse määrad võivad sõltuda ajast ja muutuda aastate jooksul, nii näiteks Hollandi ja Malta mikrotootjad saavad toetust ainult esimese teatud hulga võrku müüdüd elektrienergia eest (vastavalt 5000kWh ja 1600 kWh); Kreekas, Prantsusmaal, Saksamaal, Suurbritannias ja Taanis toetuse määr kahaneb ettenähtud ajavahemiku pärast. Need toetuse muutused on seotud taastuenergeetika planeerimisega. Taastuenergia osakaal tootmises pidevalt kasvab ning toetusfondide väljamaksete hulk suureneb ja sissemaksete kogused vähenevad. Selle tõttu taastuenergeetika toetamine peab langema.

Hollandi puhul mikrotootjad saavad toetust kogu tootmisperioodi jooksul, kuid toetusemäär puudub. Selle asemel kasutatakse spetsiaalset ümberarvutusskeemi. Ühe valitud kuu jooksul mõõdetakse kui palju elektrit mikrotootja on tarbinud võrgust ja kui palju elektrit ta müüs võrku, ning müüdüd kogus lahutatakse tarbitud kogusest. Mikrotootja peab maksma ainult resulteeriva ostetud energiakoguse eest. See reegel kehtib kuni võrku müüdüd elektri kogus on alla 5000 kWh aastas. Üle selle piiri toetust ei rakendata. See tähendab, et mikrotootmisjaamast ei saa oodata tulu, vaid ainult säästu. [36]

## 2.2.2. Päikesepaneelide tootlikkuse võrdlus

Võrdleme ühesama päikesepaneelidega mikrotootmisjaama toodangut erinevates riikides 2016. aasta andmete alusel (Joonis 2.18). Punktideks, mille kohta olid tehtud arvutused ja modelleerimine, olid valitud riikide pealinnad. See tähendab, et saadud tulemused annavad ülevaate läbi kogu Euroopa piirkonna.

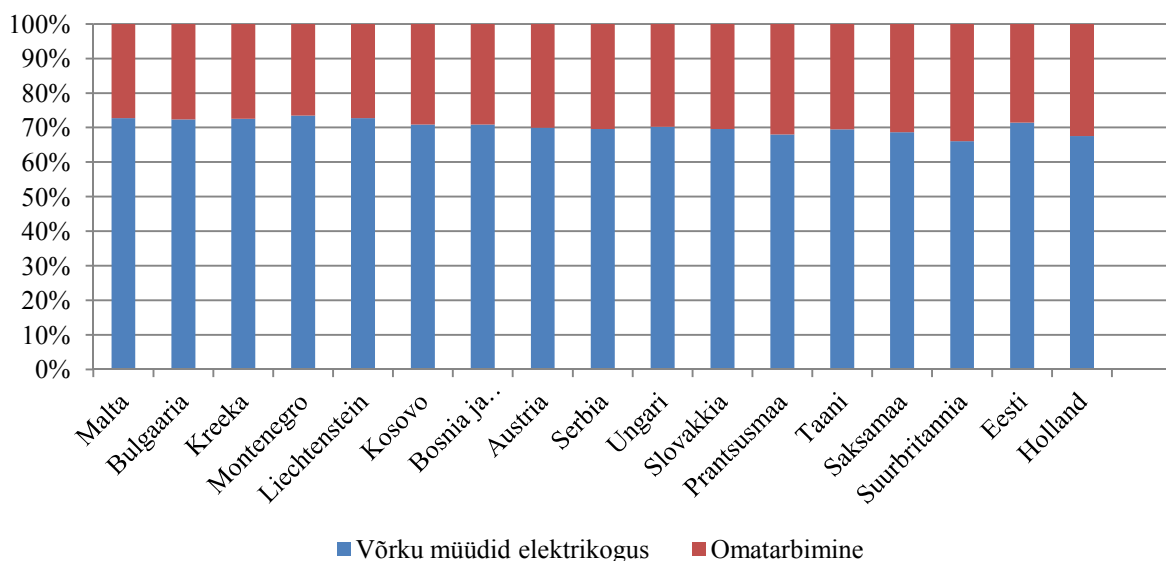


**Joonis 2.18. Tarbitud ja võrku müüdnud elektrienergia kogused 2016. aastal**

Graafikust on näha, et sama parameetritega mikrotootmisjaam vastavalt oma asukohale toodab erinevaid elektrienergia koguseid. Kõige suurem elektritoodang tekib Maltas (12,7 MWh), Bulgaarias (12 MWh), Kreekas (11,9 MWh), Montenegros (11,7 MWh). Need on lõuna riigid ning seal on kõrgem päikese kiirguse võimsus. Kõige väiksema toodanguga on Holland (7,6 MWh), Eesti (7,7 MWh), Suurbritannia (7,9 MWh). Nendes riikides on tihti pilvised ilmad ning päikese kiirgus on nõrgem. Päikesepaneelide toodang lõunamaades on keskmiselt 55-65% suurem kui Eestis. Seega võib järeldada, et mikrotootmisjaama asukoha ilmastikuolud mõjutavad tugevalt päikesepaneelide tootlikkust.

Tähelepanuväärne on asjaolu, et kohapeal tarbitava ja võrku müüdnud elektrienergia osakaalud erinevate riikide vahel on sarnased. Täpsemalt seda saab näha graafikus, kus on toodud päikesepaneelidega toodetud energia osakaalud protsentides (Joonis 2.19).





**Joonis 2.19. Tarbitud ja võrku müüdüd elektrienergia koguste osakaalud**

Diagramm näitab, et omatarveks jääb keskmiselt 30% mikrotootmisjaama poolt toodetud elektrienergia kogusest. Elektrist ülejäänud 70% lähevad müüki elektrivõrku. See asjaolu on seletatav sellega, et majapidamise päevane elektritarbimine on märgitavalt madalam kui päikesepaneelide tootmine ning tundide arv, millal tootmine on tarbimisega võrdne, on väike.

### 2.2.3. Modelleerimise tulemused

Iga käsitleva riigi kohta oli koostatud võrku ühendatud mikrotootmisjaama mudel EnergyPRO tarkvara abil. Modelleerimise käigus olid määratud välisõhutemperatuurid ning päikeseikiirguse tugevus ja nende ajaline muutus ühetunniliste intervallidega iga käsitleva riigi pealinna kohta. Päikesepaneelide tüüp, paigaldamise viis, kaldenurk ja suunamine on identsed selleks, et nende omavaheline võrdlus oleks rakendatav. Majapidamise elektritarbimine on määratud olema võrdne reaalse Eestis oleva majapidamisega vaatamata sellele, mille jaoks elektrit tarbitakse. Elektritarbimise andmed on arvestatud ühetunniliste intervallidega.

Majanduslike arvutuste teostamiseks on kasutatud Euroopa Majandustsooni riikide elektrihindade ja nende koostisosade keskmised väärtused, taastuenergiatoetuste määrad ning nende kestus ja ajaline muutus, investeeringu summa ning remondikulud.

Päikeseenergia mikrotootmisjaama tehnilised näitajad kogu eluea jooksul on toodud tabelis (Tabel 2.11).

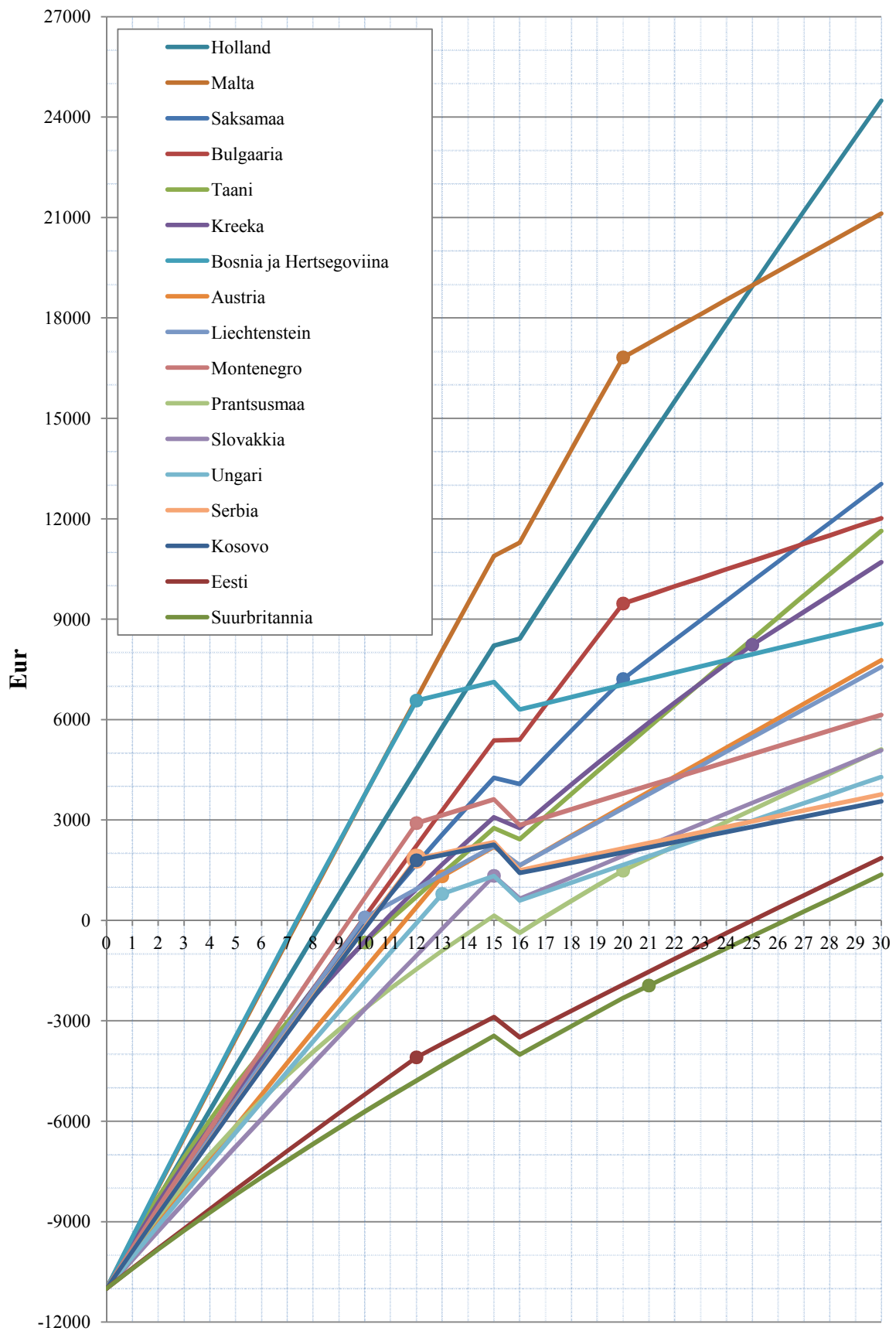
**Tabel 2.11. Mikrotootmisjaama talitluse tulemused 30 aasta jooksul riikide kaupa**

	Mikrotootmis- jaama toodang (MWh)	Elektri- tarbimine (MWh)	Võrku müüdnud elektri kogus (MWh)	Võrgust ostetud elektrienergia kogus (MWh)	Aasta töötundide arv	Keskmine tunnitootlikkus (kWh)
Malta	317	231	230	145	4855	2,17
Bulgaaria	297	231	215	149	4722	2,10
Kreeka	295	231	214	150	4742	2,08
Montenegro	290	231	213	154	4857	1,99
Liechtenstein	284	231	207	154	4923	1,92
Kosovo	261	231	185	155	4749	1,84
Bosnia ja Hertsegoviina	256	231	182	157	4884	1,75
Austria	250	231	175	156	4907	1,70
Serbia	246	231	171	156	4834	1,70
Ungari	245	231	172	159	4922	1,66
Slovakkia	236	231	164	160	4916	1,60
Prantsusmaa	217	231	147	162	4928	1,47
Taani	203	231	141	169	4934	1,37
Saksamaa	201	231	138	168	4912	1,36
Suurbritannia	194	231	128	165	4895	1,32
Holland	189	231	128	170	5047	1,25
Eesti	189	231	135	177	5006	1,26

Vaadeldavatest riikidest kõige tootlikum koht mikrotootmisjaama paigaldamiseks on Malta, kus 7 kW võimsusega päikepaneelidega jaam 30 aasta jooksul toodab 317 MWh elektrit. Eestis asuva mikrotootmisjaama toodang on kõige madalam (189 MWh). Tabelist on näha, et riikides, kus on suurem tootlikkus on ka suuremad võrku müüdnud ning väiksemad võrgust ostetud elektrienergia kogused. Kolmekümne aasta jooksul erinevates kohtades võrku müüakse 66-73% mikrotootmisjaama poolt toodetud elektrienergiast. Päikesepaneelide keskmine tunnitootlikkus on lõunariikides samuti kõrgem kui Kesk- ja Põhja-Euroopas. See näitaja jääb 1,26-2,17 kWh vahemikku. Majapidamise keskmine elektritarbimine on 0,9 kWh tunnis.

#### 2.2.4. Tasuvusarvutuste tulemused

Mikrotootmisjaama kumulatiivsed rahavood iga riigi kohta on toodud diagrammil (Joonis 2.20).



Joonis 2.20. Mikrotootmisjaama kumulatiivsed rahavood riikide kaupa

Punktidega on märgitud aeg, millal lõpetatakse mikrotootmisjaama toetamist või lõpeb sisseostu tariifi leping. Graafikust on näha, et murdepunktis tekib kõvera muutmine ning rahavoogude sissetulek aeglustub. Kõverate trepikujuline langemine kuueteistkümnendal aastal tekib seoses inverteri ja päikesepaneelide plaanilise remondiga. Mikrotootmisjaama remondikulud on määratud 1000 EUR ulatuses.

Graafiku järgi Euroopa Majandustsooni riike saab liigitada mitmesse gruppidesse:

- Hollandis ja Maltal on üleliigselt tulukas taastuenergeetika poliitika. See väljendub selles, et nende elektrienergia ostutariifid on teiste riikidega võrreldes suuremad ning toetuse kestus on nii pikk, et mikrotootja saab teenida lisaraha elektrienergia tootmisel.
- Saksamaal, Bulgaarias, Bosnia ja Hertsegoviinas ning Kreekas on keskmise suurusega taastuenergiatoetused, kuid toetuse kestus on kauem, kui mikrotootmisjaama tasuvuse periood.
- Teiste riikide (Taani, Austria, Liechtenstein, Montenegro, Prantsusmaa, Slovakkia, Ungari, Serbia ja Kosovo) toetuste poliitika on kõige mõistlikum sest toetused lõppevad just sellel ajal, kui mikrotootmisjaama tasuvusaeg on saavutatud ning planeeritud remonditööd on tehtud.
- Viimases grupis on Eesti ja Suurbritannia. Mõlemas riigis päikeseenergia mikrotootmisjaamade toetamine ei ole võimeline katta investeringumaksumust. Suurbritannia toetuse kestus on kauem kui Eesti oma, ja selle tõttu toetuse perioodi lõpus mikrotootmisjaama kumulatiivne rahavoog on suurem kui Eestis. Graafikus on näha, et mõlema riigi kõverad on paralleelsed ning toetuse lõppemise punktis kõvera muutus ei ole märkimisväärne. Seega saab järeldada, et Eestis ja Suurbritannias taastuenergeetika toetuse panus päikeselektrijaama tasuvusaja saavutamisse jääb märkamatuks.

Majandusarvutuste tulemused on toodud tabelis 2.12.

**Tabel 2.12. Mikrotootmisjaama majandusarvutuste tulemused riikide kaupa**

Riik	Lihttasuvusaeg (a)	NPV (EUR)	IRR
Holland	9	5 919	12,0%
Malta	8	5 515	10,9%
Kreeka	11	1 826	8,8%
Bulgaaria	10	1 571	7,8%

Riik	Lihttasuvusaeg (a)	NPV (EUR)	IRR
Bosnia ja Hertsegoviina	8	1 443	7,5%
Saksamaa	11	722	6,8%
Taani	11	542	6,6%
Austria	12	-341	5,5%
Liechtenstein	10	-460	5,4%
Montenegro	12	-764	5,1%
Slovakkia	14	-1 410	3,8%
Prantsusmaa	17 (15)	-1 487	3,6%
Ungari	13	-1 904	3,4%
Kosovo	11	-1 953	3,6%
Serbia	11	-1 959	3,6%
Eesti	25	-4 193	1,2%
Suurbritannia	27	-4 523	0,9%

Tulemused näitavad, et Euroopas mikrotootmisjaama tasuvusaeg on üldjuhul 8-15 aastat, välja arvatud Eesti ja Suurbritannia, kus tasuvusaeg on üle 25 aasta ning on võrdeline päikesepaneelide elueaga. Holland ja Malta päikeseelektrijaama nüüdispuhasväärtuse arvutus näitab investeringu suurt kasumlikust, vastavalt 5919 ja 5515 EUR. Nende riikide maksimaalne võimalik tulunorm on 12% ja 10,9%. Kreeka, Bulgaaria, Bosnia ja Hertsegoviina, Saksamaa ja Taani mikrotootmisjaamade nüüdispuhasväärtused on positiivsed, kuid on väiksemad kui Hollandis ja Maltas asuva päikeseelektrijaama oma. Austria, Liechtenshteini, Montenegro, Slovakkia, Prantsusmaa, Ungari, Kosovo, Serbia, Eesti ja Suurbritannia puhul on NPV negatiivne. Diskontomääraks on valitud 6%. Eesti ja Suurbritannia investeringu tulunormid on teiste riikidega võrreldes väga väikesed ja võrduvad vastavalt 1,2% ja 0,9%. Teiste riikide puhul see väärtus jääb 3,6-8,8% vahemikku.

### 2.2.5. Kokkuvõte

Mikrotootmisjaama tootlikuse erinevates tingimustes võrdlemiseks olid valitud mitu Euroopa riiki. Valiku teostamise kriteeriumiteks olid riikliku taastuvenergia toetamise programmid ning majanduslikke andmete kättesaadavus. FIT ja FIP toetuse tüüpide puhul saab ette teada elektrienergia sisseostu tariife, mille tõttu võrdlemiseks olid valitud need riigid, kus rakendatakse neid skeeme. Igas käsitletavas riigis kehtivad oma reeglid taastuvenergeetika toetamiseks. Toetuste erinevused riikide vahel seisnevad toetuse kestuses, suuruses, ajalisel muutuses ning sõltuvad taastuvenergia tüübist, kasutatavast tehnoloogiast ning mikrotootmisjaama väljundvõimsuse suurusest.

Modelleerimine näitab, et Lõuna-Euroopa riikides asuvate päikeseelektrijaamade toodangud on märgitavalt suuremad kui teistes Euroopa riikides. Vahemere kaldal asuvates riikides 7kW päikeseelektrijaam toodab aastas keskmiselt 12 MWh elektrienergiat. Sama elektrijaama toodang Läänemere lähedal on keskmiselt 8 MWh, ehk 1,5 korda väiksem. Sõltumatult asukohast majapidamises kasutatakse keskmiselt 30% mikrotootmisjaamal toodetud elektrist, ülejäänud 70% müüakse võrku. Üldjuhul müüdüd elektrienergia eest mikrotootjale makstakse taastuenergiatoetuse alusel fikseeritud tasu või elektrituruhinda.

Päikeseelektrijaama eluiga sõltub suurel määral päikesepaneelidest ning on prognooseeritud olema 30 aastat. Selle perioodi kohta on tehtud mikrotootmisjaama parameetrite ja majanduslike tulemuste arvutused. Arvutuste käigus olid võetud arvesse päikese kiirguse ja välistemperatuuri andmed käsitlevate riikide pealinnades, majapidamise tegelik elektritarbimine, päikesepaneelide väljundvõimsuse ajaline langus, kõikides kohtades sama päikesepaneelide kaldenurk ja suunamine, elektrienergia keskmine turuhind ja hinnakomponendid lõpptarbijale, investeeringu suurus, remondikulud, taastuenergiatoetuse tariifid, nende ajaline muutus ja kestus.

Kolmekümne aasta jooksul 7 kW väljundvõimsusega päikeseenergia mikrotootmisjaam toodab 189 MWh (Eesti) kuni 317 MWh (Malta) elektrienergiat. Võrku müüdüd elektri kogused on vastavalt 135MWh ja 230MWh ning moodustavad keskmiselt 70-71% kogu toodangust. Majapidamise elektrienergia tarbimine 30 aasta jooksul on 231 MWh, millest 145 MWh (Malta) kuni 177MWh (Eesti) ostetakse elektrivõrgust. Majapidamise tarbimises mikrotootmisjaamaga toodetud elektri osakaal on 23% (Eesti) kuni 37% (Malta). Euroopas asuva päikeseelektrijaama töötundide arv on keskmiselt 4850 aastas.

Mikrotootmisjaama tasuvusaeg Euroopa riikides on 8-27 aastat. Hollandi päikeseelektrijaama nüüdispuhasväärtus on 5919 EUR. Positiivset nüüdispuhasväärtust omavad Kreeka, Bulgaaria, Bosnia ja Hertsegoviina, Saksamaa ja Taani mikrotootmisjaamad. Austria, Liechtensteini, Montenegro, Slovakkia, Prantsusmaa, Ungari, Kosovo, Serbia, Eesti ja Suurbritannia puhul on NPV negatiivne. Diskontomääraks on valitud 6%. Mikrotootmisjaamade investeeringute tulunormid jäävad vahemikku 0,9-12%.

Kõikidest käsitlevatest riikidest päikeseelektrijaama väiksema tootlikust omavad Eesti ja Holland, kuid nende riikide majanduslikud tulemused on polaarselt erinevad. Mõlemas riigis asuvate 7 kW päikeseelektrijaamade aastased toodangud esimese aasta jooksul on 7,6 MWh, mis on 1,6 korda väiksem kui lõuna laiustel asuvatel mikrotootmisjaamadel.

Hollandis mikrotootjate toetamiseks kasutatakse ümberarvutuskeemi, mille põhimõtteks on see, et tarbitud elektrienergia arvest lahutatakse võrku müüdüd elektri energia kogused. Selle skeemi abil Hollandi mikrotootja sääst on kõige suurem, investeeringu tasuvust saavutatakse 8 aasta jooksul ning tulunorm on 12%. Eestis kasutatakse FIP toetuskeemi ning makstakse müüdüd elektrienergia eest turuhinda ning 12 aasta jooksul takseeritud elektrienergia koguse eest ka taastuenergiatoetust. Eesti mikrotootmisjaama majanduslikuks tulemuseks on päikesepaneelide elueaga võrdeline tasuvusaeg ning tulunorm alla 1%.

# Lõputöö kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärk seisnes selles, et uurida mikrotootmisjaama tasuvust ja kasumlikust Eesti ja teiste Euroopa riikide tingimustes.

Tööülesanne koostamise käigus olid püstitatud järgmised tähtsad küsimused:

- Kas mikrotootmisjaama kasutamisest tulenev sääst katab investeeringu ära?
- Kas mikrotootjal on võimalus saada tulu kodupäikeselektrijaamast?
- Kas taastuvenergia toetust piisab mikrotootmisjaama investeeringu katmiseks?
- Millistes Euroopa riikides on paremad tingimused mikrotootjate jaoks?

Lõputöö sissejuhatuses oli antud ülevaade taastuvenergeetika ajaloost ja selle kasutusele võtmise põhjustest; olid defineeritud taastuvenergia mõiste ja alternatiivsete energiaallikate omapärad; oli üles võetud taastuvenergeetika populariseerimise teema; oli seletatud taastuvenergeetika lahenduste tasuvuse arvutuste vajadus. Sissejuhatuses lõpus olid määratud töö uurimisobjektiks päikesepaneelide mikrotootmisjaamad, samuti oli defineeritud mikrotootja mõiste.

Käesolevas töös oli vaadeldud Nõmme linnaosas asuv eramaja, millele võiks potentsiaalselt paigaldada päikeseenergia mikrotootmisjaama. Uuringu tulemused pidid andma ülevaadet mikrotootmisjaama tehnilistest näitajatest ja tasuvusest.

Mikrotootmisjaama peamised komponendid on päikesepaneelid ja inverter. Nendest komponentidest sõltuvad sellised päikeseelektrijaama parameetrid nagu nimivõimsus, elektrivõrguga ühendamise viis ning süsteemi ehitamiseks vajalik pindala. Lisakomponentideks on juhtmed, pistikud, pesad, kaitselülitid jne.

Päikeseelektrijaama kogumaksumus koosneb komponentide hinnast, kohaletoimetamise ja paigaldamise maksumusest ja elektrivõrguga liitumistasust. Projekti jaoks olid valitud polükristalsed päikesepaneelid Qcells Q.PLUS BFR G4.1 Poly võimsusega 290W ja inverter SMA Inverter Sunny Tripower 7000TL-20. Komponentide hind on 8785,45 EUR. Süsteemi paigaldamine, seadistamine ja majavõrguga ühendamine maksab kuni 1000 EUR. Elektrivõrgu liitumistasu on 800 EUR. Kokku süsteemi maksumus võimalike lisakuludega on kuni 11000 EUR.

Mikrotootmisjaama tehniliste näitajate ja majandusliku tasuvuse arvutamiseks oli kasutatud litsenseeritud modelleerimise tarkvara EnergyPRO 4.4. Modelleerimise käigus olid



määratud kõik vajalikud algandmed ühetunniliste intervallidega. Arvutused olid teostatud päikeseelektrijaama eluea perioodile – 30 aastat.

Päikeseelektrijaama tehnilised näitajad esimese aasta jooksul: päikesepaneelide toodang – 7026 kWh; maksimaalne tunnitootmine – 6,2 kWh; võrku müüdud elektrienergia kogus – 5162 kWh, sh takseeritud elektrienergia kogus – 3147 kWh; elektrivõrgust ostetud elektrienergia kogus – 5870 kWh; töötundide arv – 5006. Päikeseelektrijaama tehnilised näitajad viimase tööaasta jooksul on madalamad päikesepaneelide väljundvõimsuse langemise tõttu: päikesepaneelide toodang – 5640 kWh; maksimaalne tunnitootmine – 5,0 kWh, võrku müüdud elektrienergia kogus – 3888 kWh; võrgust ostetud elektrienergia kogus – 5953 kWh; töötundide arv – 4985.

Mikrotootmisjaama majanduslikud näitajad Eesti tingimustes: lihttasuvusaeg – 25 aastat; NPV – -4192 EUR (diskontomääraks valitud 6%); IRR – 1,19%. Mikrotootmisjaama tasuvuse sensitiivsusanalüüs näitab kuidas muutuvad mikrotootmisjaama majanduslikud näitajad teise nimivõimsuse valimise korral. 1,5 kW mikrotootmisjaama lihttasuvusaeg – 26 aastat, NPV – -1194 EUR, IRR – 1,30%. 4,5 kW mikrotootmisjaama lihttasuvusaeg – 23 aastat, NPV – -2380 EUR, IRR – 1,89%. 11kW mikrotootmisjaama lihttasuvusaeg – 22 aastat, NPV – -4426 EUR, IRR – 2,22%.

Teiste Euroopa Majandustsooni riikidega võrdlemiseks olid kasutatud 7 kW päikeseelektrijaama tehnilised parameetrid ning välisriikide aastakeskmised majanduslikud andmed. Sellise mikrotootmisjaama kõige kõrgemad majanduslikud tulemused on Hollandi tingimustes: tasuvusaeg – 9 a., NPV – 5919 EUR, IRR – 12%. Teisel kohal on Malta tingimused: tasuvusaeg – 8 a., NPV – 5515 EUR, IRR – 10,9%. Kreeka, Bulgaaria, Bosnia ja Hertsegoviina, Saksamaa ja Taani puhul on NPV positiivne, IRR>6%. Austria, Liechtensteini, Montenegro, Slovakkia, Prantsusmaa, Ungari, Kosovo, Serbia, Eesti ja Suurbritannia puhul on NPV negatiivne, IRR<6%. Võrreldes teiste Euroopa riikidega Eesti paikneb eelviimasel kohal. Euroopa keskmine investeeringu tasuvusaeg on 12,8 aastat.

Tasuvusaja arvutuste tulemused näitasid, et osa riikidest (Malta, Holland, Saksamaa, Kreeka, Bulgaaria ning Bosnia ja Hertsegoviina) pakuvad liigtulust mikrotootmisjaamade toetamise poliitikat. Toetuse kestuse jooksul mikrotootmisjaama investeering ülekompenseeritakse 1,6 kuni 3,2 korda. Eesti mikrotootjate investeeringud allakompenseeritakse: tasutakse tagasi ainult 63% päikeseelektrijaama maksumusest. Suurbritannia puhul on ka tegemist investeeringu allakompenseerimisega, kuid seal

tagastatakse 82% mikrotootmisjaama maksumusest. Teiste riikide (Montenegro, Liechtenstein, Kosovo, Austria, Serbia, Ungari, Slovakkia, Prantsusmaa, Taani) mikrotootmisjaamade tasuvusajad on ligidased toetuste kestusega, mis tähendab, et nendes riikides toetamise mehhanismid suurepäraselt täidavad oma funktsiooni investeeringute katmiseks.

Vastavalt lõputöö uuringu tulemustele saab teha järgmisi järeldusi:

- Mikrotootmisjaama kasutamisest tulenev sääst katab investeeringu ära, kuid tuleb arvestada pika tasuvusajaga. Eestis päikeseelektrijaama tasuvusaeg võib olla võrdne päikesepaneelide elueaga.
- Peale tasuvusaja saavutamist päikeseelektrijaam on võimeline tuua tulu, kui tuluks tunnistatakse positiivset rahavoogu.
- Mikrotootmisjaama investeeringust võib saada tulu tulunormi ulatuses.
- Eesti taastuvenergia toetust ei piisa mikrotootmisjaama investeeringu katmiseks.
- Päikeseelektrijaama toodang suurel määral sõltub päikesekiirgusest. Lõuna-Euroopas asuva mikrotootmisjaama tootlikus on 1,6 korda suurem kui Eestis asuva oma.
- Kõige paremad tingimused mikrotootjatele on Hollandis ja Maltal, kuid ka Saksamaal, Kreekas, Bulgaarias ning Bosnia ja Hertsegoviinas päikeseelektrijaama investeeringud võivad olla tulusad.

Lõputöö tulemuste alusel päikesepaneelide mikrotootmisjaamade huvilistele saab anda järgmisi soovitusi:

- Reklaamikuulutuste lugemisel tuleb ettevaatlikult hinnata pakutavat teenust selleks, et vältida arusaamatusi.
- Enne mikrotootmisjaama ehitamist on soovitatav teostada mitu tasuvusarvutusi erinevate komponentidega. Nende tulemused võivad mängida rolli süsteemi suuruse valimisel või komponentide valikul.
- On soovitatav komponentide tehniliste andmete selgeks tegemine. Päikesepaneelide tegelik väljundvõimsus sõltub erinevatest tingimustest.
- Maksimaalse tulu või säästu saavutamiseks on soovitatav mikrotootmisjaama toodangu täielik ära kasutamine. Süsteemi tulusus langeb kui genereeritud elektrienergia müüakse võrku ja pärast ostetakse tagasi.

# Kirjandus

- [1] „The History of Electricity,“ Code Electrical Classes Inc., [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.code-electrical.com/historyofelectricity.html>. [Kasutatud 12 04 2017].
- [2] E. Twagirayezu, „Impact of electricity access on population welfare progress in rural area,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.academia.edu/10828109/impact\\_of\\_electricity\\_access\\_on\\_population\\_welfare\\_progress\\_in\\_rural\\_area](http://www.academia.edu/10828109/impact_of_electricity_access_on_population_welfare_progress_in_rural_area). [Kasutatud 16 05 2017].
- [3] „Population Growth Is Still The Biggest Problem Facing Humanity,“ 04 07 2010. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.businessinsider.com/population-growth-must-stop-2010-7>. [Kasutatud 15 04 2017].
- [4] Columbia University, NY, „The Greenhouse Effect and Global Warming,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.columbia.edu/~vjd1/greenhouse.htm>. [Kasutatud 20 03 2017].
- [5] Albert L. Winseman, D. Min., „Electricity Retains Power as Greatest Invention,“ Gallup, 15 08 2005. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gallup.com/poll/17881/electricity-retains-power-greatest-invention.aspx>. [Kasutatud 15 04 2017].
- [6] Elering AS, „Taastuenergia toetus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/taastuenergia-toetus/>. [Kasutatud 15 03 2017].
- [7] P. Daniel Ciolkosz, „Renewable and Alternative Energy,“ The Pennsylvania State University, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://extension.psu.edu/natural-resources/energy/what>. [Kasutatud 2017 04 05].
- [8] D. Bartlett, „Global trends in renewable energy,“ RSM, 11 05 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rsm.global/insights/economic-insights/global-trends-renewable-energy>. [Kasutatud 16 04 2017].
- [9] „Päikesepaneelid on tulus investeering,“ Energogen OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <http://energogen.ee/>. [Kasutatud 17 04 2017].

- [10] Eesti Energia AS, „Tooda Ise,“ Eesti Energia AS, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/tark-tarbimine/tooda-ise>. [Kasutatud 10 03 2017].
- [11] „Solar PV Technologies,“ Microgeneration, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.microgeneration.com/Learn-more/Solar-PV-Technologies>. [Kasutatud 20 04 2017].
- [12] K. Pickerel, „What are the different types of solar modules?,“ WTW Media, 30 07 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.solarpowerworldonline.com/2015/07/what-are-the-different-types-of-solar-modules/>. [Kasutatud 12 04 2017].
- [13] „Why are Polycrystalline Solar Cells so Popular?,“ Solar facts and advice, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.solar-facts-and-advice.com/polycrystalline.html>. [Kasutatud 23 04 2017].
- [14] „Which Thin Film Solar Technology is the Best?,“ Solar facts and advice, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.solar-facts-and-advice.com/thin-film.html>. [Kasutatud 24 04 2017].
- [15] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, „Photovoltaics report,“ 17 11 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>. [Kasutatud 03 04 2017].
- [16] „What Is a Solar Inverter & How Does It Work?,“ Solar power world, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.solarpowerworldonline.com/2013/04/how-do-solar-inverters-work/>. [Kasutatud 24 04 2017].
- [17] Eesti Standardikeskus, „EVS-EN 50438:2013,“ Eesti Standardikeskus, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-50438-2013>. [Kasutatud 04 10 2017].
- [18] Elektrilevi AS, „Liitumine mikrotootjale,“ Elektrilevi AS, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/liitumine-mikrotootjale>. [Kasutatud 05 02 2017].
- [19] „Send your package, suitcase or pallet,“ Eurosender, [Võrgumaterjal]. Available:

- <https://www.eurosender.com/>. [Kasutatud 28 04 2017].
- [20] Elering AS, „Eesti elektrituru täielik avanemine,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://elering.ee/public/Elektritur/Elektrituru\\_avanemine/elektrituru\\_brosuur\\_est\\_september.pdf](http://elering.ee/public/Elektritur/Elektrituru_avanemine/elektrituru_brosuur_est_september.pdf). [Kasutatud 11 05 2017].
- [21] „Võrguteenuse hind,“ Elektrilevi AS, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/hind>. [Kasutatud 1 05 2017].
- [22] „Elektripaketide võrdlus,“ Datahouse OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <http://elektrihind.ee/paketid>. [Kasutatud 2 05 2017].
- [23] „Taastuenergia tasu,“ Elering AS, [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/taastuenergia-tasu/>. [Kasutatud 02 05 2017].
- [24] „Alkoholi-, tubaka-, kütuse- ja elektriaktsiisi seadus,“ Riigi Teataja, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/124122016020?leiaKehtiv>. [Kasutatud 29 04 2017].
- [25] Eurostat, „Electricity prices components for domestic consumers - annual data (from 2007 onwards),“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>. [Kasutatud 04 05 2017].
- [26] „What countries use the most Solar Panels?,“ Solar Panel Guide, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.solarpanel.guide/countries-use-solar-panels/>. [Kasutatud 12 05 2014].
- [27] C. Klessmann, „Renewable electricity support schemes in Europe. Trends and perspectives.,“ ECOFYS, Brussels, 2014.
- [28] M. Latour, „European PV support schemes overview,“ European Photovoltaic Industry Association, Brussels, 2012.
- [29] Mario Ragwitz, Jenny Winkler, Corinna Klessmann, Malte Gephart, Gustav Resch, „Recent developments of feed-in systems in the EU – A research paper for the International Feed-In Cooperation,“ Fraunhofer ISI, EU, 2014.
- [30] C. McNaught, „The UK Contracts for Difference Market and Renewable Electricity,“ The European Energy Centre, [Võrgumaterjal]. Available:

- <https://www.euenergycentre.org/press-releases-and-news/284-major-changes-for-the-renewable-electricity-market-a-focus-on-uk-contracts-for-difference-cfd>. [Kasutatud 22 04 2017].
- [31] „Quota System for Renewables,“ Regulation Body of Knowledge, [Võrgumaterjal]. Available: <http://regulationbodyofknowledge.org/glossary/q/quota-system-for-renewables/>. [Kasutatud 23 04 2017].
- [32] C. Klessmann, „Synthesising opportunities and challenges for RE tenders from international experience and from a theoretical perspective,“ ECOFYS, Brussels, 2013.
- [33] Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Kuueteistkümnenda konverentsi kogumik., Tartu: Eesti Maaulikool, 2014.
- [34] „Q.PLUS BFR-G4.1 270-280 Datasheet,“ Q-Cells, [Võrgumaterjal]. Available: [https://d3g1qce46u5dao.cloudfront.net/data\\_sheet/hanwha\\_q\\_cells\\_data\\_sheet\\_qplus\\_bfr\\_g4\\_1\\_270\\_280\\_2016\\_03\\_rev03\\_na\\_print\\_\\_1\\_.pdf](https://d3g1qce46u5dao.cloudfront.net/data_sheet/hanwha_q_cells_data_sheet_qplus_bfr_g4_1_270_280_2016_03_rev03_na_print__1_.pdf). [Kasutatud 3 05 2017].
- [35] „Understanding the Difference Between NPV vs IRR,“ Property Metrics, 28 06 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.propertymetrics.com/blog/2013/06/28/npv-vs-irr/>. [Kasutatud 5 05 2017].
- [36] „Renewable energy policy database and support. Compare support schemes,“ RES LEGAL Europe, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.res-legal.eu/compare-support-schemes/>. [Kasutatud 25 04 2017].
- [37] „Liitumine mikrotootjale,“ Elektrilevi AS, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/liitumine-mikrotootjale>. [Kasutatud 21 02 2017].

## **Lisade nimikiri**

L.1. PV paneelide hinnad

L.2. Vaadeldatud internetipoodide nimekiri

L.3. Eesti suurimate päikesepaneelide edasimüüjate nimekiri

L.4. Päikesepaneelide tehnilised andmed

L.5. Inverteri tehnilised andmed

L.6. Lõputöö kokkuvõte

# L.1. PV paneelide hinnad

Tabel L1.1. Polükristalsete päikesepaneelide hinnad

Tüüp	Tootja	Riik	Võimsus (W)	Päikesepaneelide jaehind internetipoest ostes (EUR/tk)	EUR/W
Polükristalne	Qcells	Saksamaa	270	175	0,65
Polükristalne	Qcells	Saksamaa	275	180	0,65
Polükristalne	Qcells	Saksamaa	290	204	0,70
Polükristalne	Qcells	Saksamaa	300	214	0,71
Polükristalne	Heckert Solar	Saksamaa	260	181	0,70
Polükristalne	Heckert Solar	Saksamaa	265	187	0,71
Polükristalne	Heckert Solar	Saksamaa	270	194	0,72
Polükristalne	UNIMEN SOLAR	Saksamaa	260	169	0,65
Polükristalne	BENQ	Saksamaa	260	190	0,73
Polükristalne	BENQ	Saksamaa	260	175	0,67
Polükristalne	Solarworld	Saksamaa	260	195	0,75
Polükristalne	IM PREMIUM SOLAR	Prantsusmaa	260	190	0,73
Polükristalne	Trina	USA	265	196	0,74
Polükristalne	Sharp	Jaapan	250	183	0,73
Polükristalne	Sharp	Jaapan	255	186	0,73
Polükristalne	Sharp	Jaapan	260	191	0,73
Polükristalne	Astroenergy	Hiina	260	190	0,73
Polükristalne	Astroenergy	Hiina	265	196	0,74
Polükristalne	Astroenergy	Hiina	270	207	0,77
Polükristalne	REC	Hiina	260	194	0,75
Polükristalne	REC	Hiina	265	200	0,75
Polükristalne	REC	Hiina	280	224	0,80
Polükristalne	GWL	Hiina	270	182	0,67
Polükristalne	GWL	Hiina	270	171	0,63
Polükristalne	Canadian Solar	Canada/Hiina	265	177	0,67
Polükristalne	Amerisolar	Hiina	265	156	0,59
Polükristalne	Amerisolar	Hiina	270	160	0,59

<b>Kokku</b>	<b>0,70</b>
Euroopa	0,70
Muud maad	0,71

Andmed on kogutud avalikutest EL internetipoodidest ja võivad muutuda ajas. Andmete kättesaamise kuupäev on 25.03.2017. Allikad:



Tabel L1.2. Monokristalsete päikesepaneelide hinnad

Tüüp	Tootja	Riik	Võimsus (W)	Päikesepaneelide jaehind internetipoest ostes (EUR/tk)	EUR/W
Monokristalne	Heckert Solar	Saksamaa	270	209	0,77
Monokristalne	Heckert Solar	Saksamaa	275	211	0,77
Monokristalne	Heckert Solar	Saksamaa	280	214	0,76
Monokristalne	BENQ	Saksamaa	275	202	0,73
Monokristalne	BENQ	Saksamaa	280	206	0,74
Monokristalne	BENQ	Saksamaa	290	219	0,76
Monokristalne	BENQ	Saksamaa	300	235	0,78
Monokristalne	SolarWorld	Saksamaa	275	202	0,73
Monokristalne	SolarWorld	Saksamaa	280	206	0,73
Monokristalne	SolarWorld	Saksamaa	290	219	0,76
Monokristalne	SolarWorld	Saksamaa	300	235	0,78
Monokristalne	Bisol	Sloveenia	280	219	0,78
Monokristalne	Bisol	Sloveenia	300	225	0,75
Monokristalne	Trina	USA	270	220	0,81
Monokristalne	Astroenergy	Hiina	280	218	0,78
Monokristalne	Astroenergy	Hiina	300	254	0,85
Monokristalne	LG	Jaapan	280	252	0,90
Monokristalne	LG	Jaapan	285	265	0,93
Monokristalne	LG	Jaapan	300	290	0,97
Monokristalne	LG	Jaapan	310	330	1,07
Monokristalne	LG	Jaapan	315	338	1,07
Monokristalne	LG	Jaapan	320	362	1,13
Monokristalne	Sharp	Jaapan	280	241	0,86
Monokristalne	Sharp	Jaapan	285	247	0,87
Monokristalne	Sharp	Jaapan	290	252	0,87
Monokristalne	Sharp	Jaapan	295	257	0,87
Monokristalne	Sharp	Jaapan	300	260	0,87

<b>Keskmine</b>	<b>0,84</b>
Euroopa	0,76
Muud maad	0,92

Andmed on kogutud avalikutest EL internetipoodidest ja võivad muutuda ajas. Andmete kättesaamise kuupäev on 25.03.2017. Allikad:

## L.2. Vaadeldatud internetipoodide nimekiri

Alma Solar ( <https://www.alma-solarshop.com/> )

Pvshop ( <http://pvshop.eu/> )

Photovoltaik Shop ( <http://www.photovoltaik-shop.com/> )

Photovoltaik4all ( <http://www.photovoltaik4all.de/en/> )

Alte store ( <https://www.altestore.com/store/> )

Europe solarstore ( <http://www.europe-solarstore.com/> )

GWL Power ( <https://www.ev-power.eu/Solar-Panels/> )

Photon Solar ( <http://www.photon-solar.eu/> )

Ecodirect ( [www.ecodirect.com](http://www.ecodirect.com) )

Solar power supply ( <https://www.solarpowersupply.eu/> )

Mysolarshop ( <http://www.mysolarshop.co.uk> )

Sunelec ( <https://sunelec.com/> )

Sunshine solar ( <http://www.sunshinesolar.co.uk/> )

Panasonic ( <https://eu-solar.panasonic.net/en/> )

## L.3. Eesti suurimate päikesepaneelide edasimüüjate nimekiri

ArevaSolar Estonia OÜ (<http://paikesepaneel.ee/>)

Bakeri OÜ (<http://bakeri.ee/>)

Bisontesolar OÜ (<http://www.paikesepaneel.com/et>)

Elenor Solutions OÜ (<http://paikesejaam.ee/>)

Energiaekspert OÜ (<http://www.energiaekspert.ee/>)

Energiapartner OÜ (<http://energiapartner.ee/>)

Energogen OÜ (<http://energogen.ee/>)

Küttesalong OÜ(<http://www.xn--kttosalong-9db.ee/>)

Powtec OÜ (<http://www.powtec.ee/>)

Päikesekatus OÜ (<http://www.xn--pikesekatus-18a.ee/>)

Sigmasystems OÜ (<http://sigmasystems.ee/>)

Smartecon OÜ (<https://smartecon.ee/>)

Solar4you OÜ (<http://solar4you.ee/paikesepaneelide-paigaldus/>)

Solarest OÜ (<http://solarest.eu/>)

Taastuenergia OÜ (<http://www.taastuenergia.ee/index.html>)

Tavako Elekter OÜ (<http://www.xn--pikeselekter-bfb.ee/>)

## L.4. Päikesepaneelide tehnilised andmed



The new high-performance module **Q.PLUS BFR-G4.1** is the ideal solution for all applications thanks to its innovative cell technology **Q.ANTUM**. The world-record cell design was developed to achieve the best performance under real conditions – even with low radiation intensity and on clear, hot summer days.



#### LOW ELECTRICITY GENERATION COSTS

Higher yield per surface area and lower BOS costs thanks to higher power classes and an efficiency rate of up to 17.7%.



#### INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY

Optimal yields, whatever the weather with excellent low-light and temperature behavior.



#### ENDURING HIGH PERFORMANCE

Long-term yield security with Anti-PID Technology<sup>1</sup>, Hot-Spot-Protect and Traceable Quality Tra.Q™.



#### EXTREME WEATHER RATING

High-tech aluminum alloy frame, certified for high snow (5400Pa) and wind loads (4000Pa) regarding IEC.



#### MAXIMUM COST REDUCTIONS

Up to 10% lower logistics costs due to higher module capacity per box.



#### A RELIABLE INVESTMENT

Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance guarantee<sup>2</sup>.



#### THE IDEAL SOLUTION FOR:



Engineered in **Germany**

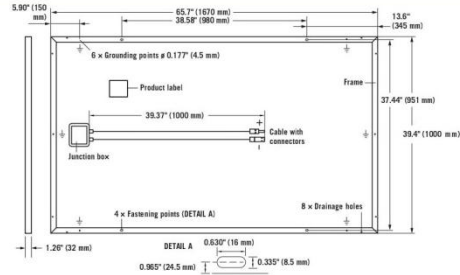
<sup>1</sup> APT test conditions: Cells at -1500V against grounded, with conductive metal foil covered module surface, 25°C, 168h

<sup>2</sup> See data sheet on rear for further information.

**Q CELLS**

## MECHANICAL SPECIFICATION

<b>Format</b>	65.7 in × 39.4 in × 1.26 in (including frame) (1670 mm × 1000 mm × 32 mm)
<b>Weight</b>	41.45 lbs (18.8 kg)
<b>Front Cover</b>	0.13 in (3.2 mm) thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
<b>Back Cover</b>	Composite film
<b>Frame</b>	Black anodized aluminum
<b>Cell</b>	6 × 10 Q.ANTUM solar cells
<b>Junction box</b>	3.54-4.33 in × 2.99-3.03 in × 0.59-0.75 in (90-110 × 76-77 × 15-19 mm), Protection class IP67, with bypass diodes
<b>Cable</b>	4 mm <sup>2</sup> Solar cable; (+) ≥ 39.37 in (1000 mm), (-) ≥ 39.37 in (1000 mm)
<b>Connector</b>	MC4, IP68



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER CLASS		280	285	290	
<b>MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC<sup>1</sup> (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)</b>					
Minimum	Power at MPP <sup>2</sup>	$P_{MPP}$ [W]	280	285	290
	Short Circuit Current*	$I_{SC}$ [A]	9.41	9.46	9.52
	Open Circuit Voltage*	$V_{OC}$ [V]	38.97	39.22	39.48
	Current at MPP*	$I_{MPP}$ [A]	8.84	8.91	8.98
	Voltage at MPP*	$V_{MPP}$ [V]	31.67	31.99	32.29
	Efficiency <sup>2</sup>	$\eta$ [%]	≥ 16.8	≥ 17.1	≥ 17.4
<b>MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NOC<sup>3</sup></b>					
Minimum	Power at MPP <sup>2</sup>	$P_{MPP}$ [W]	207.0	210.7	214.4
	Short Circuit Current*	$I_{SC}$ [A]	7.58	7.63	7.68
	Open Circuit Voltage*	$V_{OC}$ [V]	36.37	36.61	36.84
	Current at MPP*	$I_{MPP}$ [A]	6.93	6.99	7.05
	Voltage at MPP*	$V_{MPP}$ [V]	29.87	30.15	30.42

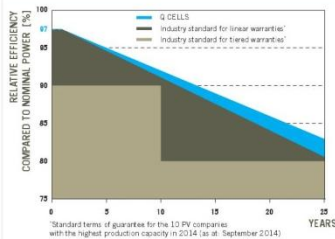
<sup>1</sup> 1000 W/m<sup>2</sup>, 25 °C, spectrum AM 1.5G

<sup>2</sup> Measurement tolerances STC ± 3%; NOC ± 5%

<sup>3</sup> 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, spectrum AM 1.5G

\* typical values, actual values may differ

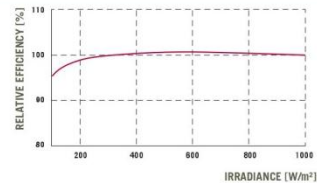
### Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY



At least 97% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.6% degradation per year. At least 92% of nominal power up to 10 years. At least 83% of nominal power up to 25 years.

All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.

### PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25 °C, 1000 W/m<sup>2</sup>).

### TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature Coefficient of $I_{SC}$	$\alpha$ [%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of $V_{OC}$	$\beta$ [%/K]	-0.29
Temperature Coefficient of $P_{MPP}$	$\gamma$ [%/K]	-0.40	Normal Operating Cell Temperature	NOCT [°F]	113 ± 5.4 (45 ± 3 °C)

### PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN

Maximum System Voltage $V_{SYS}$	[V]	1000 (IEC) / 1000 (UL)	Safety Class	II
Maximum Series Fuse Rating	[A DC]	20	Fire Rating	C (IEC) / TYPE 1 (UL)
Design load, push (UL) <sup>2</sup>	[lbs/ft <sup>2</sup> ]	75 (3600 Pa)	Permitted module temperature on continuous duty	-40 °F up to +185 °F (-40 °C up to +85 °C)
Design load, pull (UL) <sup>2</sup>	[lbs/ft <sup>2</sup> ]	55.6 (2666 Pa)		<sup>2</sup> see installation manual

### QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

UL 1703; VDE Quality Tested; CE-compliant;  
IEC 61215 (Ed.2); IEC 61730 (Ed.1) application class A



### PACKAGING INFORMATION

Number of Modules per Pallet	32
Number of Pallets per 53' Container	30
Number of Pallets per 40' Container	26
Pallet Dimensions (L × W × H)	68.7 in × 45.3 in × 46.1 in (1745 × 1150 × 1170 mm)
Pallet Weight	1435 lbs (651 kg)

**NOTE:** Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS America Inc.

300 Spectrum Center Drive, Suite 1250, Irvine, CA 92618, USA | TEL +1 949 748 59 96 | EMAIL inquiry@us.q-cells.com | WEB www.q-cells.us

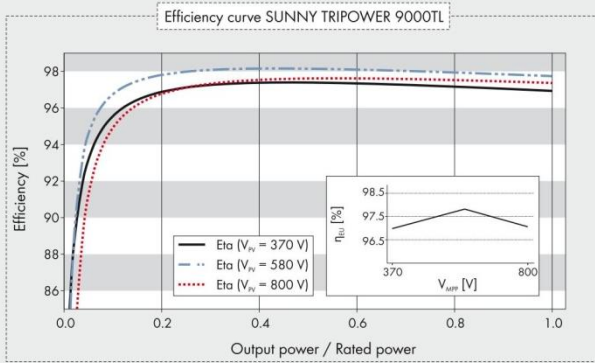
Specifications subject to technical changes © Hanwha Q CELLS Q.PLUS BFR-G4-L-280-290-2016-08\_Rev01\_NA

# L.5. Inverteri tehnilised andmed

## SUNNY TRIPower

### 5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL

Technical data	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ $\cos \phi = 1$ )	5100 W	6125 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V ... 800 V / 580 V	295 V ... 800 V / 580 V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. apparent AC power	5000 VA	6000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 V - 280 V	160 V - 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A	8.7 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European Efficiency	98 % / 97.1 %	98 % / 97.4 %
<b>Protective devices</b>		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	● / ● / -
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>General data</b>		
Dimensions (W/H/D)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)
Weight	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
Operating temperature range	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)
Noise emission (typical)	40 dB(A)	40 dB(A)
Self-consumption (night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
<b>Features</b>		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485 / Bluetooth / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Multi-function relay / Power Control Module	● / ○	● / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates and approvals (additional on request)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21 (>6 kWp), EN 50438*, G83/1-1, IEC 61727, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD1699, RD 661/2007, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1	
Type designation	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20



### Accessories



Interface RS485  
485BRD-10



Power Control Module  
PWCBRD-10

\* Does not apply to all national appendices of EN 50438

\*\* Planned

● Standard features ○ Optional features – Not available

Preliminary information – last updated: April 2013

Data at nominal conditions

Sunny Tripower 7000TL	Sunny Tripower 8000TL	Sunny Tripower 9000TL	
7175 W	8200 W	9225 W	
1000 V	1000 V	1000 V	
290 V ... 800 V / 580 V	330 V ... 800 V / 580 V	370 V ... 800 V / 580 V	
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A	
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A	
2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	
7000 W	8000 W	9000 W	
7000 VA	8000 VA	9000 VA	
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	
160 V - 280 V	160 V - 280 V	160 V - 280 V	
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	
10.2 A	11.6 A	13.1 A	
1	1	1	
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	
3 / 3	3 / 3	3 / 3	
98% / 97.5%	98% / 97.6%	98% / 97.6%	
●	●	●	
● / ●	● / ●	● / ●	
● / ● / -	● / ● / -	● / ● / -	
●	●	●	
I / III	I / III	I / III	
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	
37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)	
-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	
40 dB(A)	40 dB(A)	40 dB(A)	
1 W	1 W	1 W	
Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool	
IP65	IP65	IP65	
4K4H	4K4H	4K4H	
100%	100%	100%	
SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal	
Graphic	Graphic	Graphic	
○ / ● / ●	○ / ● / ●	○ / ● / ●	
● / ○	● / ○	● / ○	
● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	
AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438*, G83/1-1, IEC 61727, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD1699, RD 661/2007, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1			
STP 7000TL-20	STP 8000TL-20	STP 9000TL-20	

## L.6. Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Jevgeni Zabegajev	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> PÄIKESEPANEELIDEL PÕHINEVA MIKROTOOTMISJAAMA TASUVUSE VÕRDLUS EESTIS JA TEISTES EUROOPA MAJANDUSPIIRKONNA RIIKIDES	
<i>Kuupäev:</i> 24.05.2017	81 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool, Tartu Maaülikool <i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond <i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja:</i> professor Juhan Valtin	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Töö eesmärgiks on päikesepaneelidega mikrotootmisjaama tehniliste ja majanduslike näitajate arvutus ning võrdlus teistes riikides asuva mikrotootmisjaama näitajatega.  Töö teoreetilises osas antakse ülevaade kasutatavatest tehnoloogiatest ning päikeseelektrijaama komponentidest; tuuakse komponentide hinnad; selgitatakse mikrotootja liitumise protsessi, elektrienergia hinna kujunemist, toetuse liikide omapärasid.  Arvutuste põhiosa esimeses peatükis määratakse päikeseelektrijaama peamised parameetrid ja talitluse tingimused, selgitatakse välja modelleerimise meetodika ning tuuakse arvutuste tulemused Eestis asuva mikrotootmisjaama kohta. Teise peatüki sisuks on taastuvenergia tariifide, päikeseelektrijaama tootlikuse, energiavoogude ja majanduslike näitajate võrdlus Eesti ja teiste Euroopa riikide vahel.  Mikrotootmisjaama tulemuste arvutamiseks on kasutatud EnergyPRO modelleerimise tarkvara. Arvutused on tehtud päikesepaneelide eluea perioodile. Algandmeteks on reaalse majapidamise andmed, elektrimajanduse andmed, taastuvenergeetika majanduse andmed.  Lõputöö tulemuseks on mikrotootmisjaama majanduslike näitajate analüüs ja soovitusel taastuvenergeetika huvilistele.	
<i>Märksõnad:</i> päikesepaneel, mikrotootja, taastuvenergia, roheline energia, tootmine, kodulahendus, toetus, tasuvus, tariif, Eesti, Euroopa.	



## L.7. Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Jevgeni Zabegajev	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> COMPARISON OF PV PANEL BASED MICRO-SCALE POWER GENERATION UNIT PROFITABILITY IN ESTONIA AND OTHER COUNTRIES OF EUROPEAN ECONOMIC AREA	
<i>Date:</i> 24.05.2017	<i>81 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology, Estonian University of Life Sciences School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor of the work:</i> Associate Professor Juhan Valtin	
<i>Abstract:</i> The aim of the work is photovoltaics based micro-generation unit technical and economic indicators calculation and comparison between different European countries.  In the explanatory part of the work there is an overview of the technologies and solar plant components, components prices, micro-producer connection process, electricity price components, support schemes.  In the first chapter of calculation part solar plant properties are determined, operating conditions are set, modelling methods are explained and result of calculations is provided for Estonia conditions. The subject of second chapter is comparison of renewable energy tariffs, solar plant productivity and economic indicators between European countries.  PV plant calculations were made considering PV panels lifetime period using EnergyPRO modelling software. The initial data is the real household data, electricity sector data, renewable energy sector data.  The summary represents the result of analysis of micro-generation plant production and economic performance. Recommendations for renewable energy enthusiasts are given in the end.	
<i>Keywords:</i> solar panels, micro-scale, generation, renewable energy, home solution, green energy, subsidy, profitability, tariff, Estonia, Europe.	