



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT



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

**Eesti Maaülikool**

Estonian University of Life Sciences

# Erinevate päikesepaneeli süsteemide konfiguratsioonide efektiivsuse

## võrdlus

Elektroenergeetika instituut  
Soojusenergeetika õppetool  
Hajaenergeetika õppekava  
**Magistritöö**

Õppetooli juhataja      Juhan Valtin

Juhendaja                      Ülo Kask

Lõpetaja                        Janar Kulp

**Tallinn 2015**

# Töö kaitsmine

Lõputöö on kaitsstud ..... hindele.....

Kaitsmiskomisjoni esimees (nimi ja allkiri).....

# Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks hajaenergeetika erialal. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) \_\_\_\_\_

## LÕPUTÖÖ KOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> <b>Janar Kulp</b>	<i>Lõputöö liik:</i> <b>Magistritöö</b>
<i>Töö pealkiri:</i> <b>Erinevate päikesepaneeli-süsteemide konfiguratsioonide efektiivsuse võrdlus</b>	
<i>Kuupäev:</i> <b>27.05.15</b>	67lk
<i>Ülikool:</i> <b>Tallinna Tehnikaülikool</b>	
<i>Teaduskond:</i> <b>Energeetikateaduskond</b>	
<i>Instituut:</i> <b>Elektroenergeetika</b>	
<i>Õppetool:</i> <b>Soojusenergeetika</b>	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Ülo Kask	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i>	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Käesolevas lõputöös tutvustab autor erinevaid tehnoloogiaid ja seadmeid, millega on võimalik päikeseenergiat muundada elektrienergiaks või soojuseks. Autor selgitab mis on fotogalvaaniline element, kuidas neid toodetakse ja kuidas on neid võimalik kasutada.</p> <p>Töö eesmärk on selgitada kui erinevad on päikesepaneelide kasutamise konfiguratsioonid ja kui palju erinevad nende tasuvusajad. Võrreldakse ka erinevaid tasuvusaegade mudeleid kasutades erineva karakteristikuga tarbijaid. Kolmandaks võrreldakse erinevate süsteemide poolt toodetud energia omahinda.</p> <p>Töös on kasutatud kohalike süsteemide tootmisandmeid mis pärinevad süsteemi inverterist. Hinnad on saadud nii süsteemide paigaldajate kui süsteemide omanike käest. Elektri hinna komponendid on saadud võrguettevõttelt.</p> <p>Töös selgub et kõik päikesepaneelisüsteemid tasuvad end oma eluea jooksul ära kuigi kõige kiirema tasuvusajaga on optimeeritud süsteem. Kõige rohkem elektrienergiat võimsusühiku kohta toodab <i>tracker</i>’iga süsteem, aga tema soetusmaksumus on palju kõrgem kui teistel süsteemidel.</p>	
<i>Märksõnad:</i> Hajaenergeetika, mikrotootja, fotogalvaanilised elemendid	

## SUMMMARY OF THE DIPLOMA WORK

<i>Author:</i> <b>Janar Kulp</b>	<i>Kind of the work:</i> <b>master thesis</b>
<i>Title:</i> <b>Efficiency comparison between different solar panel system configurations</b>	
<i>Date:</i> <b>27.05.15</b>	<i>67 pages</i>
<i>University:</i> <b>Tallinn University of Technology</b>	
<i>Faculty:</i> <b>Faculty of Power Engineering</b>	
<i>Department:</i> <b>Electrical Power Engineering</b>	
<i>Chair:</i> <b>Thermal Engineering</b>	
<i>Tutor(s) of the work:</i> <b>Ülo Kask</b>	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> In the following thesis, author will explain different technologies for converting solar radiation to heat or electricity. Author will explain what is photogalvanic solar cell, how they are made and how they are used.  The aim of this thesis is to explain how different are different available solar cell configurations and how different are their payback periods. Payback periods are being compared by two different payback period models. Third comparison is self-cost of system generated energy.  Energy yield data for comparisons is taken from local system inverters. System prices are obtained from either installers or users. Electricity grid price is obtained from network operator.  As a result of this thesis, it appears that all used solar systems are profitable in their life expectancy. The optimized system has the fastest payback period, however solar tracker system has the biggest energy yield per power unit but it's cost is also the highest.	
<i>Key words:</i> <i>Solar power, solar cells, photovoltaic cells, microproducer</i>	

## Sisukord

Lõputöö kokkuvõte .....	4
Summary of the diploma work.....	5
Lõputöö ülesanne .....	8
Eessõna.....	9
Sissejuhatus .....	10
1. Päikesekiirgus elektriks või soojuseks.....	12
1.1. Päikesekiirgust elektrienergiaks muundavad paneelid .....	12
1.1.1. Monokristalsed paneelid .....	14
1.1.2. Polükristalsed paneelid.....	16
1.2. Päikesenergiat soojuseks muundavad paneelid .....	18
1.2.1. Lamekollektorid .....	19
1.2.2. Vaakumkollektorid .....	21
2. PV-paneelide tootmine Eestis .....	23
2.1. I etapp - PV-paneeli elementide jootmine .....	23
2.2. II etapp - Paneeli lamineerimine.....	24
2.3. III etapp – paneeli raamimine .....	25
3. PV-süsteemi Paigaldamise etapid .....	28
3.1. Süsteemi planeerimine.....	28
3.1.1. PV-GIS ja muude programmidega.....	28
3.1.2. Planeerimine erinevate seadmetega .....	30
3.1.2.1. Heliodon .....	30
3.2. Süsteemi elektrivõrku liitmise võimalused.....	32
3.2.1. Mikrotootjad .....	32
4. Erinevad konfiguratsioonid.....	34
4.1. Fikseeritud ja liikumatu süsteem .....	34
4.2. Päikest jälgiv süsteem (ingl.k. <i>tracker</i> ) .....	36
4.2.1. Passiivsed jälgivad süsteemid .....	37
4.2.2. Aktiivsed jälgivad süsteemid .....	37
4.3. Ühe teljega jälgiv süsteem.....	41
4.4. Kahe teljega jälgiv süsteem .....	42
5. Võrreldavad objektid .....	43
5.1. Katusele fikseeritud .....	43

5.1.2. Optimeeritud süsteem.....	43
5.1.1.2. Lehe 4 PV-süsteem .....	46
5.1.3. Optimeerimata süsteem .....	47
5.2. Päikest jälgiv süsteem ehk <i>tracker</i> .....	49
5.3. Konfiguratsioonide võrdlus .....	51
5.3.1. Tasuvusaegade mudel 1 .....	51
5.3.2. Tasuvusaegade mudel 2 .....	54
5.3.3. Toodetud elektrienergia omahind.....	56
5.4. Võrdlus välismaiste süsteemidega.....	58
6. Magistritöö kokkuvõte .....	60
Kasutatud kirjandus.....	62
Lisa 1: Hinnapakumine optimeerimata süsteemile.....	65
Lisa 2: Elektrilevi mikrotootja liitumistaotlus.....	66

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Erinevate PV-süsteemide konfiguratsioonide efektiivuste võrdlus</b>
Üliõpilane:	<b>Janar Kulp, 132811AAHM</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Ülo Kask</b>
Õppetool:	<b>Soojusenergeetika</b>
Kõrgepinge õppetooli juhataja:	<b>Juhan Valtin</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>27.05.2015</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppetooli juhataja (allkiri)

Viimastel aastatel on Eestis hoogustunud päikesepaneelide (PV-paneelide) paigaldamine osalt nende odavnemise, kuid ka seetõttu, et alla 11 kW paigaldiste rajamine on tehtud lihtsamaks. Toodetud energiat on võimalik müüa elektrivõrku ja saada iga toodetud kWh eest 5,37 senti taastuvenergia toetust. PV-paneele tuuakse Eestisse mitmetelt tootjatelt ja mitmetest riikidest, ülevaade nende tõhususest ja kasutuskogemustest on katkendlik või puudub osalt üldse. Töö autor on võtnud vaatluse alla mõned PV-paneelide elluviidud projektid ja püüab analüüsida nende tõhusust ja edastada kasutuskogemusi Eesti tingimustes.

Töö eesmärk on uurida kui palju erinevad põhiliste PV-süsteemide efektiivsused ja tasuvusajad Eesti tingimustes.

Võrreldakse erinevaid PV-paneelide süsteeme ühenduse konfiguratsiooni ja päikesele orienteerituse alusel. Kõik toodangud on taandatud võimsusühiku peale et süsteemid oleks võrreldavad. Võrreldakse saadud andmeid omavahel ning tuuakse välja iga süsteemi poolt- ja vastuargumendid.

Lähteandmetena on kasutatud PV-süsteemide asukohta ja asendit, PV-süsteemide konfiguratsioonide andmeid mis on saadud hinnapakkumistest ja omanikelt, PV-süsteemide toodangt mis on saadud inverteritest ja elektriarvestitest.

Lõputöö konsultandid (vajadusel):

---

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

---

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)



## EESSÕNA

Autor soovib tänada lõputöö valmimise juhendamise eest Ülo Kaske. Lisaks soovib autor tänada kõiki, kellelt saadud andmed aitasid kaasa lõputöö valmimisele. Tänan Veiko Pedoskit firmast Solar4you, Arvo Türnerit, Mati Rändvat Tipsolarist ja Taavi Klaost firmast Solarest.

## SISSEJUHATUS

Energia on elu aluseks Maal, paljud olulised funktsioonid ei toimiks ilma energiata, seega võib ütelda et energia on osa meie elust. Energia ühest liigist teise muundamise protsesse on mitmeid, kas või laialdlaselt teada olev nafta, gaasi või kivisöe põletamine. Kuna eelpool mainitud energiaallikate varud on piiratud, arendab inimkond uusi tehnoloogiaid, et oleks võimalik energiat muundada teistest allikatest. Lahendust on pikalt otsitud taastuvatest energiaallikatest. Energiaallikad, mis taastuvad inimeluea jooksul, loetakse taastuvateks energiaallikateks, nagu näiteks hüdroenergia, tuuleenergia ja päikeseenergia. Kui taastuvat energiaallikat kasutada rohkem kui ta jõuab taastuda, muutub taastuv energiaallikaks taastumatuks.

Esmaseks taastuvaks energiaallikaks Maal loetakse Päikest, mille energia jõuab siia elektromagnetilise kiirgusena ja footonitena. Päikesekiirgus on elu aluseks Maal, käivitades erinevaid protsesse nagu näiteks fotosüntees. Päikesekiirguse hulk sõltub aastaajast, päeva pikkusest, ilmastikutingimustest ning geograafilisest asukohast, Eesti pinnale langeva päikesekiirguse hulk on ligikaudu  $1000 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ . Selline päikesekiirguse hulk on piisav, et Eestis kasutada erinevaid päikeseenergia muundamise seadmeid.

Lõputöö ülesanne tuleneb Eestis päikesepaneelide paigaldamise populaarsuse suurest kasvust ning süsteemide hinna odavnemisest, lisaks puudub mitme eri konfiguratsiooni omavaheline võrdlus Eesti oludes. Autor võttis vaatluse alla kolm populaarseimat päikesepaneelide konfiguratsiooni ning võrdles nende parameetreid omavahel. Töö autori ülesanne on leida selgust milline populaarsetest valikutest on Eesti oludes kõige efektiivsem, majanduslikult tasuvaim ning kui suured on erinevused süsteemide talitluses

Teema on aktuaalne sest päikesepaneele müüvad väga mitmed ettevõtted ning nende poolt pakutakse mitmeid eri lahendusi. Mitmed lahendused võivad eelteadmisteta inimestele palju segadust tekitada sest valik on suur. Lisaks oleks ettevõtetel palju lihtsam klientidele pakkumisi teha, kui kliendil oleks paremad algteadmised süsteemidest. Käesoleva lõputöö eesmärk on anda võrdlus erinevate süsteemide võimalustest, nende talitluste eripäradest ning võrrelda nende süsteemide majanduslikke parameetreid. Lõputöö tulemusena selgub milline enamlevinud päikesepaneelide süsteemidest on kiireima tasuvusega.

Lõputöö koosneb viiest peatükist. Esimene punkt tutvustab viise, kuidas Päikeselt saabuvat energiavoogu muundada nii soojuseks kui ka elektriks. Tuuakse välja erinevate seadmete head omadused, puudujäägid ja eripärad. Järgmisena antakse ülevaade päikesepaneelide tootmisprotsessist etappide kaupa. Peale tootmisprotsessi tutvustamist, selgitab autor, kuidas

toimub väikesemõõduliste PV-süsteemide planeerimine. Selgitatud on arvutiprogrammidega planeerimist ja erinevate seadeldistega planeerimist. Kolmandas punktis antakse samm-sammuline ülevaade elektri mikrotootjaks saamise käikudest Eestis ning sellega kaasnevatest kohustustest. Neljandas punktis võrreldakse kahte põhilist PV-süsteemi tüüpi: liikumatute paneelidega süsteem, ja muudetava asendiga süsteem mis järgib päikese teekonda. Viimases peatükis võrreldakse erineva konfiguratsiooniga süsteeme ja nende süsteemide tasuvusaegu, võrreldakse kas oleks majanduslikult säästlikum müüa kogu toodetud elektrienergia võrku, või kas tarbida see ära oma majapidamises. Kogutud andmete alusel prognoositakse ka elektrienergia omahinda, võrreldakse seda võrgust ostetava elektri hinnaga, ning leitakse kas tehnoloogiasse investeeritud kapital on tootlik..

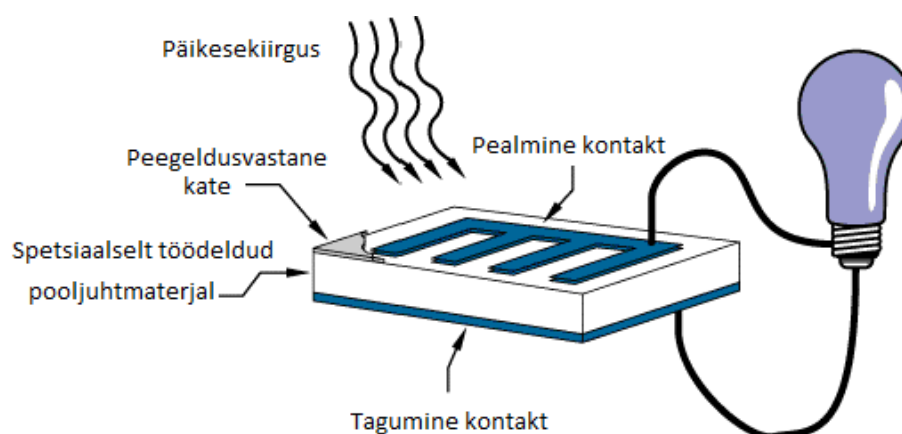
# 1. PÄIKESEKIIRGUS ELEKTRIKS VÕI SOOJUSEKS

Päikesekiirgust fotoelektrilise muundamise teel elektriks muundavate paneelide (edaspidi PV-paneelid) kasutamine Eestis järjest kasvab. Seda soodustavad seadmete odavnemine, teadmistaasi suurenemine, ning mitmed artiklid mis tõestavad tehnoloogia tasuvust. PV-paneele toodetakse nii mono- kui polükristallilistest elementidest. Süsteeme on olemas mitmeid, nii päikest kontsentreerivaid kus mitmest eri peegeldajast suunatakse valguskiirgus ühe punkti kokku, aga ka mittekontsentreerivaid kus seade ise on otseses kokkupuutes valgusega.

## 1.1. Päikesekiirgust elektrienergiaks muundavad paneelid

Elektrit muundavad päikesepaneelid (edaspidi PV-paneelid) muundavad valgust elektriks aatomitasemel. Osadel materjalidel on omadus nimega fotoelektriline efekt mis valguse neeldumise korral põhjustab neid vabastama elektrone. Kui need vabad elektronid on kinni püütud, tekib elektrivool mida saab kasutada elektrienergiana (joonis 1.1.)

Fotoelektrilise efekti avastas esimesena Prantsuse füüsik, Edmund Bequerel, kes aastal 1839 avastas, et teatud materjalid toodavad päikese käes väikestes kogustes elektrivoolu. Alfred Einstein on kirjeldanud valguse olemust ja fotoelektrilist efekti, millel baseerub fotoelektriline tehnoloogia, hiljem, aastal 1954 võitis ta selle eest ka Nobeli preemia. Esimene fotoelektriline moodul ehitati Belli Laboratooriumis aastal 1954. Seda nimetati päikeseplatareiks ja ehitati lihtsalt uudishimust, kuna üldsuse jaoks oli see veel liiga kallis. 1960. võeti tehnoloogia tõsisemalt kasutusele kosmosetööstuses et toota energiat kosmoselaeval. Läbi kosmoseprogrammide tehnoloogia arenes, paranes töökindlus ja kulud vähenesid. 1970. aastate energiakriiside ajal kogus fotoelektriline tehnoloogia tuntust kui energiamuundamise võimalus, mida ei peaks kasutama ainult kosmoses. [13]



Joonis 1.1 PV-paneeli tööpõhimõte [13]

Joonis 1.1. iseloomustab tavalise fotoelektrilise elemendi tööpõhimõtet. Fotoelektrilised elemendid on valmistatud samade omadustega ränist, mida kasutatakse mikroelektronikatööstuses. Elementide vahvlilaadne pind on spetsiaalselt töödeldud et moodustuks elektriväli, positiivne ühel pool ja negatiivne teisel pool. Kui valgusenergia jõuab elemendini, lüüakse elektronid aatomitest pooljuhtmaterjalis lahti. Kui positiivsele ja negatiivsele poolele on ühendatud elektrijuhid, tekib vooluring ja elektronid püütakse kinni elektrivooluna mis ongi elekter. Seda elektrienergiat saab seejärel kasutada et toita koormust, kas siis valgust või tööriista.

Kui fotoelektrilised elemendid omavahel ühendada, on neist võimalik valmistada fotoelektriliste elementide riba ning kui paneelid kõrvuti asetada ja ühendada, valmibki PV-paneel. Mida suurem pindala elemente ( sama kehtib ka paneelide ja moodulite kohta), seda rohkem elektrienergiat on võimalik muundada. PV-paneelid toodavad alalisvoolu.

Tänapäevased kõige tavalisemad PV-seadmed kasutavad üht p-n-siiret (ingl. k. *junction*) et tekitada elektriväli pooljuhis, ehk ränielemendis. Ühe p-n-siirdega PV-elementis võivad vooluringi jaoks elektroni vabastada ainult need footonid, kelle energia on suurem või võrdne kui neil, kes asuvad energiavahemiks kus elektronolekuid ei eksisteeri (ingl k *band gap*), teisisõnu fotoelektriline reageerimine ühe p-n-siirdega elementidel on piiratud päikese spektrumile, kelle energiat üle soovitud energiavahemiku ja väiksema energiaga footoneid ei kasutata. Sellise ühe p-n-siirdega elementi kasutava teoreetiline maksimaalne efektiivsus ilma päikesevalgust ühe punkti kontsentreerimata on 33,5 %, põhiliselt päikese poolt eraldatud footonite laialdasele spektrumile. Piirav efektiivsus on tuntud ka kui Shockley-Quesseri piirang, tuleb esile faktist et lahtise vooluringi (*Voc*) pinget päikeseelemendis on piiratud elemendi materjali energiavahemikuga (ingl. k. *bandgap*) . Footonid, mis omavad suuremat energiat kui energiavahemikku sobib, absorbeeritakse ja üleliigne energia läheb kaotsi soojusena ning väiksemaga energiaga footoneid ei absorbeerita.

Üks viis kuidas seda piirangut eemaldada, on kasutada kahte (või enam) erinevat elementi rohkem kui ühe energiavahemiku ja siirdega, et tekitada pinget. Neid elemente nimetatakse multiregioonseteks elementideks (ingl. k. *multijunction*, lisaks ka *cascade* või *tandem*).

Muitiregioonsed paneelid on võimelised saavutama kõrgemat efektiivsust sest nad suudavad muundada suuremat päikese spektrimit elektrienergiaks. Nendes elementides kasutatakse suure energiavahemikuga elementi pealmises kihis et neeldada kõrge energiaga footoneid, samas lastes läbi väiksema energiaga footoneid. Materjal pisut madalama energiavahemikuga on asetatud eelnevast materjalist allapoole et neeldada madalama energiaga footoneid (pikem lainepikkus).

Tüüpilised *multijunction* elemendid kasutavad kahte või kolme kihti erinevate energiavahemikega materjale. Teoreetiline maksimaalne efektiivsus suureneb ühendusregioonide arvuga. Varajased uurimustööd on näidanud et kui kasutada perioodilisustabeli III ja V veergude elemente või nende ühendeid, nagu GaInAs, GaInP ja Ge, siis on võimalik saavutada paremaid tulemusi. Kolme ühendusregiooniga seadmed, mis kasutavad III-V veeru pooljuhtmaterjale on jõudnud efektiivsuseni 43% kasutades kontsentreeritud päikesekiirgust. [13][14][25]

Pea 90% kogu maailma PV-paneelidest baseeruvad ränil. Kõige olulisemaks aspektiks on kasutatava räni puhtus, ehk mida paremini on räni molekulid joondu, seda efektiivsemalt PV-element muundab päikeselt tulevat energiat elektrienergiaks. Ränielemendi tööpõhimõtte baseerub p-n regioonil (ingl.k. *p-n junction*).Tavaliselt on PV-elementide paksuseks 160 kuni 240 mikromeetrit. Mida puhtamat räni PV-element kasutab, seda efektiivsem ta on, kuigi räni puhastamisprotsessid on kulukad.

PV-elemendid jagunevad üldiselt monokristall- ja polükristallelementideks. Järgnevad alapunktid kirjeldavad nende omadusi ja erinevusi.

### 1.1.1. Monokristalsed paneelid

#### 1.1.1.1.Tootmine

Monokristalsed PV-elemendid (ingl. k. *mono-Si cells*) on kõige kallimad ja kõige efektiivsemad PV-elemendid. Kuju poolest on tegu kaheksanurgaga, millel on nurgad lõigatud, mis tuleneb sellest et materjal on lõigatud silindrilisest valandist (silindriline kuju tuleneb Czochralski protsessist). Iga moodul on toodetud ühest ränikristallist, ning see annabki neile ühtlase värvitooni mis jääb musta ja sinise vahele.

Nagu nimigi ütleb, on sellist tüüpi PV-element unikaalne oma ehituses, sest seal kasutatakse väga puhast ränikristalli. Kasutades sarnast protsessi pooljuhtide tootmiseks, asetatakse ränidoksiid, kvartsiiv või purustatud kvarts elektrikaarahju. Kui seda segu soojendada on tulemuseks süsinikdioksiid ja sulanud räni. Selle lihtsa protsessi saagikuseks on räni puhtusega 99%, kasulik paljudes tööstustes, kuid mitte päikesepaneelitööstuses, kus vajatakse palju kõrgemat räni puhtusetaset. Kõrgem puhtusetase saavutatakse kui ebapuhast ränist koosnev silindrikujuline objekt läbistada mitmest kuumutatud alast mitu korda. Selle protsessi tulemusena liiguvad ebapuhast osakesed silindri otsa poole iga liigutusega. Kui protsessi piisavalt palju korrata, on räni piisavalt puhas ja ebapuhaste osakestega ots eemaldatakse.

Järgnevalt paigaldatakse ränikristall Czochralski kasvuaparaati kus see kristall kastetakse sulanud polükristallilisse ränisse. Tavapärase boori lisamise meetod on lisada väike kogus boori

Czochralski protsessi ajal. Algupärane kristall pöörleb kui ta välja tõmmatakse, moodustades väga puhta ränivalandi.

Saadud ümmargusest valandist lõigatakse välja kaheksanurksed PV-elementid (joonis 1.2.), mis asetatakse ahju ja köetakse 1410 °C kraadini fosforgaasi juuresolekul, mis on veidi alla räni sulamistemperatuuri. Fosforiaatomid läbistavad ränielemendi mis on poorne, kuna ta on peaaegu veeldumas. Protsessi temperatuur ja aeg on hoolikalt valitud et kindlustada piisavate elektriliste omaduste teke.



Joonis 1.2. Monokristalne PV-element

#### 1.1.1.2. Efektiivsus

Juunis 2010 oli kõige efektiivsem laiatarbekasutuses oleva monokristallilise PV-paneeli efektiivsus 24,2 %. Teoreetiline maksimum arvati olevat 29%, aga arvestades soojakadusid, võib see number osutada väiksemaks. [10]

#### 1.1.1.3. Monokristalse PV-elementi eelised

**Eluiga** - Monokristalsed päikesepaneelid olid esimese põlvkonna päikesetehnoloogia ja on olnud olemas tükk aega, mis tõestab nende vastupidavust ja eluiga. Tehnoloogia, paigaldus ja sooritusvõime alane teave on kättesaadav. Paljud varajased moodulid, mis on paigaldatud 1970. aastatel toodavad siiani elektrit, osad neist on üle elanud isegi kosmosereisid.

Paneeli toodang väheneb iga aasta ligikaudu 0,5%, mis tähendab et peale selle et paneeli eluiga on pikk, võib olla majanduslikult mõistlik mingi hetk uuemate ja efektiivsemate paneelide vastu välja vahetada. Paneelide garantii on tavaliselt 20-30 aastat, kuid seni kuni ta hoitakse puhtana, toodab ta elektrienergiat edasi.

**Efektiivsus** - Monokristallilisest ränist toodetud PV-elementid on võimelised muundama suurimat kogust päikeseenergiat elektrienergiaks, võrreldes teiste lamedate päikesepaneelidega. Tegu on hea valikuga linnas või piiratud ruumiga oludes, eriti kui kasutava pinna eest tuleb maksta renti, on oluline toota võimalikult palju võimalikult väikeselt alalt.

**Keskkonnamõjud** - Osad õhukesed päikesepaneelid kasutavad kaadmiumtelluriidi. Kaadmium on raskemetall, mis akumulereub loomses ja taimses koes, ning on võimalik kantserogeen, mis tähendab et ta võib tekitada vähki. Seni kuni paneel on terve ja töötab, ei ole see ühend ohtlik, aga toote eluea lõpus on vaja neist jäätmetest vabaneda. Monokristalsed elementid ei ole keskkonnale ohtlikud.

**Suurem kuumakindlus** – Nagu teised PV-elementide tüübidki, tekivad monokristallilises PV-moodulis kaod kui elemendi temperatuur tõuseb üle 50 kraadi °C .Kadu võib ulatuda 15 protsendini, kuigi see on vähem kui polükristallilistel elementidel.[10]

#### 1.1.1.4. Monokristalliliste PV-paneelide puudused

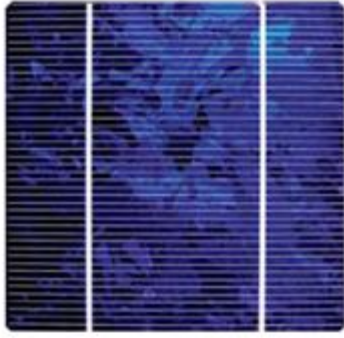
**Kogukulu** – Kuna üksikust ränikristallist valmistatud PV-elementide tootmisprotsess on kõige keerulisem ja kulukam, on ka nende hind suurim. Ráni lähteaine on kallis ja ühest puhta kristalli tootmine on aeganõudev ja seetõttu ka kulukas.

**Haprus** - Tuleks arvestada et PV-paneele võivad lõhkuda nii puuoksad kui tuule poolt liigutatud objektid. Tavaliselt on paneelid kaetud turvaklaasiga mis kaitseb paneele kahju eest, ning survetugevus on nii suur et ka paks lumi ei tohiks neid lõhkuda.[10]

#### 1.1.2. Polükristalsed paneelid

Polükristalsed või multikristalsed ränielemendid toodetakse nelinurksetest valanditest, - suurtest sulanud ränikuubikutest mis on ettevaatlikult jahutatud tahenemiseni. Nelinurkne elemendi kuju on toodud joonisel 1.3. Nad koosnevad pisikestest kristallidest mis läigivad nagu väikesed metalliosakesed, väljanägemiselt võivad nad meenutada mosaiiki, mis on põhjustatud kõikidest erinevatest kristallidest mis on selle elemendi moodustanud. Polükristalsed ränielemendid on kõige enim kasutatavad PV-elementidena kuna nad on odavamad kui monokristalsed PV-elementid ja kõrgema efektiivsusega kui õhukese kile peal (painduvad) PV-elementid.[10]





Joonis 1.3. Polükristalne PV-element [10]

#### 1.1.2.1. Tootmine

Põhjus, miks polükristalsed PV-paneelid on odavamad kui monokristalsed, peitub viisis kuidas sellist räni toodetakse. Sulanud räni valatakse vormi, selle asemel et sealt toota üksik kristall. Materjal on võimalik sünteesida kergelt kasutades vastavat kristallstruktuuriga kristalli. Lisaks on võimalik amorfset räni kristalliseerida polükristalseks räniks kasutades kõrge temperatuuril keemilise auru sadestamist (ingl. k. CVD)

Valamisprotsessis sulatatakse ränitükid keraamilises tiiglis ja seejärel kasutatakse grafiidist vormi et saada valand. Kui sulanud räni jahtub, kasutatakse soovitud kristallstruktuuriga idukristalli et saavutada soovitud struktuur. Kuigi mitme erineva kristalli kasutamine vähendab tootmiskulusid, vähendab see ka PV-paneelide efektiivsust.[10]

#### 1.1.2.2. Efektiivsus

Üldiselt on polükristalliliste paneelide efektiivsus ligikaudu 70% kuni 80% võrreldavatest monokristallilistest paneelidest. Aastal 2010 Oli Mitsubishi Electricu käes maailmarekord praktilise suurusega polükristalse PV-elementi kõige efektiivsema fotoelektrilise muundamise osas, tulemuseks oli 19,3 % Rekordi püstitanud elememdi mõõtmed olid ligikaudu 150x150 millimeetrit ja paksus 200 mikromeetrit. Tulemus oli 0,2 punkti kõrgem kui firma eelmine rekord 19,1%.

Päikesepaneelide tööstus investeerib suuri summasid arendustöösse et vähendada töökuluseid ja tõsta üldist efektiivsust PV-moodulitel. Nagu eelnev tulemus näitab, on tulemus pea märkamatu ja põhiarendus toimub pigem tootmise kui efektiivsuse poole peal.[10]

### 1.1.2.3.Polükristalsete paneelide eelised

**Madalam kulu paneeli kohta** – Palju odavam toota ja seega odavam valmistada, See teeb nad ostjatele odavamaks, eriti väikeste kuni keskmise suurustega katuste jaoks.

**Vastupidavus ja eluiga** - Vastupidavus ja eluiga on võrreldavad monokristalste paneelidega, ligikaudu 25 aastat.

**Keskkonnamõjud** – Peale võimekuse toota energiat otse päikesest ja seetõttu vähendada kasvuhoonegaase ja seotud keskkonnamõjusid mis kaasnevad fossiilsete kütuste töötlemisega ja õnnetustega, on osad tootjad (nagu Mitsubishi) üritanud muuta tootmist erinevatel viisidel keskkonnasõbralikumaks. Näiteks eemaldasid nad kuluka jootmise mis sisaldab tina, muutes need paneelid eriti keskkonnasõbralikuks.

**Väiksem elektriarve** - Iga päikeseenergiasüsteem peaks endaga kaasa tooma kulude vähenemise elektrienergiele. Isegi kui toodetud elektrienergia kogus on väiksem kui monokristalstel paneelidel, on väiksem ka kulu. Seetõttu on oluline vaadata üle majanduslik hinnang, kumb tasub ennast eluea jooksul paremini ära.[10]

### 1.1.2.4.Polükristalsete paneelide puudused

**Madalam efektiivsus**- Polükristalsed PV-moodulid on vähemefektiivsed kui need, mis on toodetud üksikust kristallist.

**Haprus** – Polükristalsed paneelid on samuti õrnad puu otsast kukkuvatele okstele või objektidele mida võib tuul lennutada.

**Konkurents** - Polükristalste elementide tootjate vahel toimub tugev võistlus hinna üle, mis võib olla hea ( kui hinnad langevad) kuid see võib olla ka halb kui osad tootjad ei suuda konkurentsile vastu panna ja ei suuda tagada oma toote garantiid [10]

## 1.2. Päikeseenergiat soojuseks muundavad paneelid

Päikesekollektorite all mõeldakse tavaliselt paneele mis toodavad sooja vett või õhku, aga võivad viidata ka keerukamatele kollektoritele mis toodavad elektrit ajades soojendatud vedelikku läbi turbiini et toota elektrienergiat kasutades generaatorit. Lihtsamaid kollektoreid kasutatakse tavaliselt kodudes või tööstuses ruumide kütmise jaoks. Laialdasemalt kasutatavaid

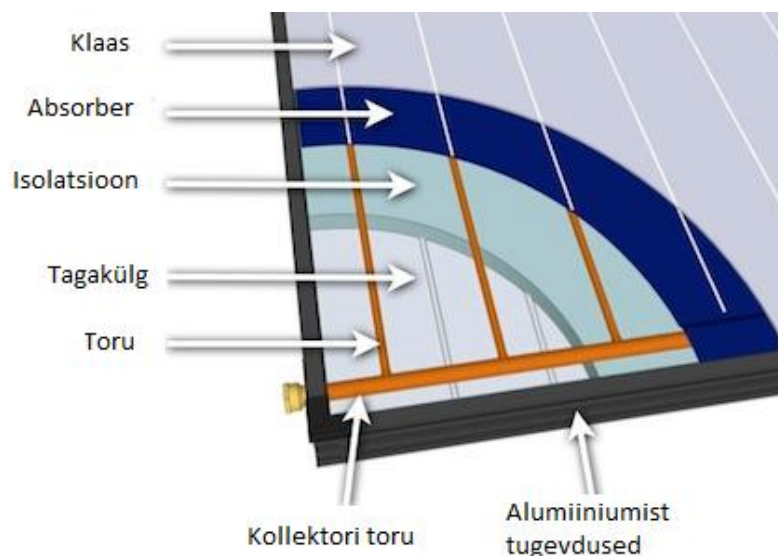
päikesekollektoreid on kahte tüüpi: vaakumkollektorid ja lamekollektorid. Nende peamised erinevused on järgmised:

- Lamekollektorid ning nende paigaldus on odavam
- Vaskplaatidega lamekollektor ei vaja akumulatsioonipaaki, kuna süsteemis ringleb vesi
- Vaskplaatidega lamekollektor on madalama efektiivsusega
- Lamekollektorid on madalama efektiivsusega kui neid võrrelda vaakumkollektoritega

Mõlemad kollektorite tüübid on kajastatud järgnevates punktides. [16][17]

### 1.2.1. Lamekollektorid

Lamekollektori töö põhimõte on vägagi erinev elektrit tootvast päikesepaneelist. Lamekollektori puhul soojendab päikesekiirgus plaati, mis omakorda soojendab vett. Vesi juhitakse kollektorist mahutisse ning sealt edasi tarbimisse. Tuleks meeles pidada et plaatidega lamekollektorid on ehitatud spetsiaalselt ainult ühe eesmärgi tarbeks- sooja vee tootmiseks. Plaatide materjaliks on tavaliselt vask ning raamid valmistatakse alumiiniumist ja/või ilmastikukindlalt töödeldud puidust. Lamekollektorid leiutati Hotteli ja Whilleri poolt 1950. aastatel. Nende ehitus on toodud joonisel 1.4. [16][17]



Joonis 1.4. Lamekollektori ehitus

**Klaas-** Tugevdatud klaas kaitseb absorbeerijat välismõjude eest, samas laseb läbi üle 90% päikesevalgusest.

**Absorbeerija-** Õhuke leht alumiiniumi on töödeldud materjaliga mis neeldab väga efektiivselt päikesekiirgust ja muundab selle kasutatavaks soojuseks. Alumiiniumleht on ultraheliga joodetud vasest torude külge.

**Isolatsioon-** Isolatsioon aitab vähendada soojakadusid kollektori tagant ja külgedelt. Tavaliselt kasutatakse ülikerget melamiinvahtu, ning seetõttu vähendatakse suuresti kollektori kaalu.

**Tagakülg-** Alumiiniumist tagakülg suleb paneeli tagakülje ja lisab kollektorile jäikust.

**Torustik-** Torustik on omavahel kinni joodetud harfilaadseks ühenduseks mida mööda soojusvahetina kasutatav vedelik vooldab. Absoreeriv leht on ultraheliga joodetud torustiku külge, seega edastatakse ka sealt soojust vedelikku. Vedelikuks on tavaliselt külmumiskindel vedelik.

**Alumiiniumreeling-** Kõrge tugevusega alumiiniumsulamist tugevdused moodustavad kollektori raamistiku ja on abiks lihtsamale paigaldusele.

Paljud tootjad kasutavad kogu absorbeerija pinda ära et maksimeerida efektiivsust läbi pindala suurenemise, kus toimub soojusvahetus. Päikesevalgus, mis läbib klaasi, soojendab üles absorbeeriva plaadi ja muutes päikeselt tuleva energia soojusenergiaks. Soojusvahetus toimub läbi absorberplaadile joodetud torude mis soojendavad neis voolavat vedelikku. Absorberplaadid on tavaliselt kaetud spetsiaalsete katetega mis neeldavad ja hoiavad sooja paremini kui tavaline must värv, tehtud on nad metallist, reeglina alumiiniumist või vasest- tänu nende materjalide heale soojusjuhtivusele. Vask on kulukam kuid parem (soojus)juht ja on korrosioonikindlam kui alumiinium. Keskmise päikese kiirgusega kohtades kasutatakse ligikaudu 1 kuni 2  $m^2$  kollektori pindala et toota 40 liitrit sooja vett majapidamise tarbeks.

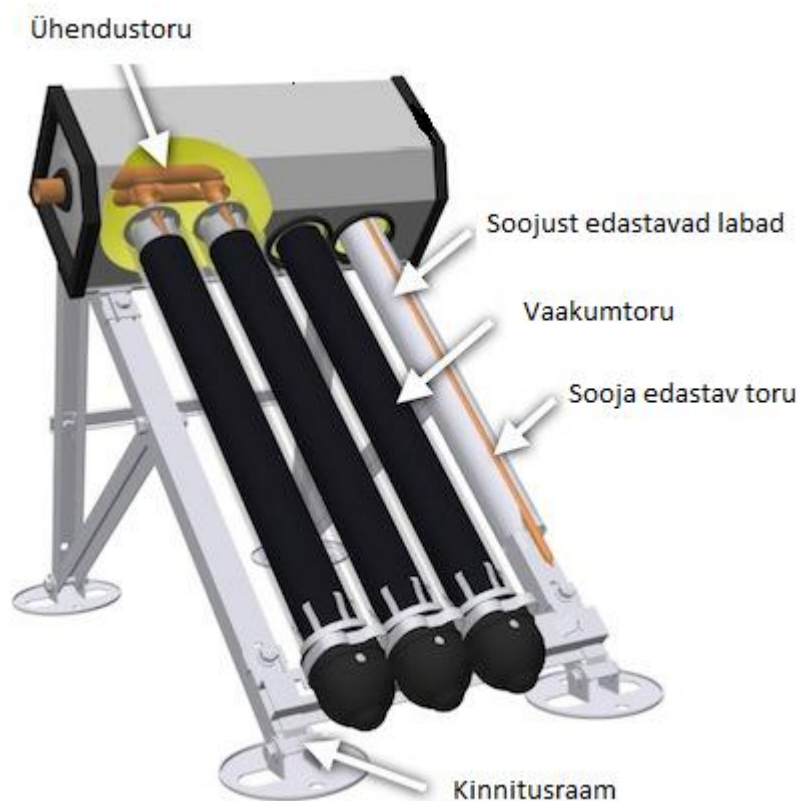
Lamekollektoreid toodetakse ka polümeeridest, nad on alternatiiviks metallkollektoritele. Ning nad võivad olla toodetud üleni polümeeridest, või võivad kasutada külmale vastuvõtlikke kummivoolikuid mis lubavad kasutada neis vett, eemaldades seetõttu süsteemist soojusvaheti ning võimaldades seetõttu pumbata soojendatud vett otse veepaaki, suurendades seeläbi efektiivsust.

Kui süsteemist jäetakse välja soojusvaheti, on võimalik süsteemi toodang ka madala päikese kiirgusega. Varajaste polümeerkollektorite probleemiks oli isoleeritusest tekkinud ülekuumenemine, kuna kollektorites tekkiv temperatuur ületas polümeeride sulamistemperatuuri. Näiteks polüpropüleen sulamistemperatuur on 160 °C, kui isoleeritud kollektori temperatuur võis ületada 180 °C, kui ei olnud kasutaud juhtimisprogramme. Seetõttu tuleb kasutada kõrgema sulamistemperatuuriga polümeere, lisaks on võimalik muuta ka absorberi värvi et tekiks väiksem temperatuur.

Teine oht on külmumine, külmatolerants (võime külmuda korduvalt ilma mõranemata) on võimalik kui kasutada painduvaid ja venivaid materjale. Inglismaal kasutatakse aastast 1999 silikoonist kummivoolikuid. Teine võimalus on kasutada külmumiskindlaid vedelikke, nagu propüleenglükool. Kuigi glükooli kasutamine vähendab vee võimet kanda edasi soojust ja tuleb kasutada soojusvahetit mis viib samuti kasuteguri madalamale.[16][17][21]

## 1.2.2. Vaakumkolektorid

Teine tüüp päikesest soojuse muundamise seadmeid on vaakumkolektorid. Selles seadmes kasutatav päikeseenergia neeldaja asub rõhukindlas klaastorus, milles on omakorda vaakum. Läbi absorbeerija voolab U-kujulises torus soojust vahetav vedelik, mis aurustub väga madalal temperatuuril. Aur tõuseb mööda toru üles ja soojendab vedeliku peatorus soojusvaheti tööpõhimõttel. Vedeliku kondenseerumisel voolab vedelik tagasi soojust edastava toru põhja. Torud peavad olema asetatud piisava nurga all et tekiks kondenseerumis- ja aurustumisprotsessid. Ühendusi on kahte liiki: ühe ühendusliigi korral ühendatakse soojust vahetav toru otse peatoruga ja teise ühendusliigi korral on ühenduskohas soojusvaheti, mis tähendab et vedelikud kokku ei puutu, ning on võimalik vahetada individuaalseid torusid ilma kogu süsteemi vedelikust tühjaks tegemata. Vaakumtorid toimivad efektiivselt madala päikese kiirguse ja kõrge absorbeerija temperatuuride juures. Vaakumkolektori ehitus on toodud joonisel 1.5. ning tööpõhimõtte joonisel 1.6. [19][21]



Joonis 1.5. Vaakumkolektori ehitus [19][21]

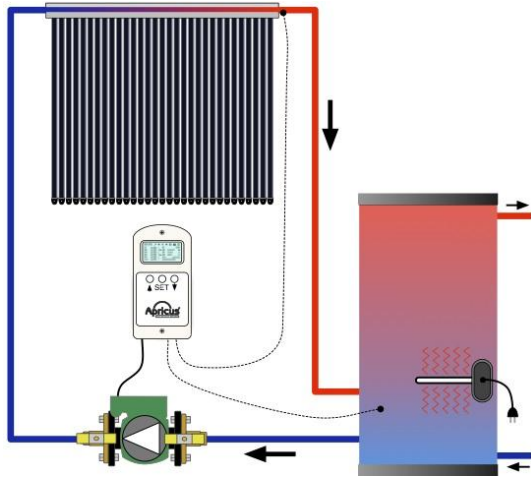
Vaakumkolektor koosneb põhiliselt neljast osast:

**Vaakumtoru**- Neelab soojusenergiat ja muundab selle kasutatavaks soojuseks. Vaakum kahe klaasikihi vahel isoleerib soojakadude vastu.

**Soojust edastav toru** – Vasest soojust edastav toru edastab soojust vaakumtorust seadme ülalosas asuvasse ühendustorusse.

**Ühendustoru**- Isoleeritud karbis asub vasest ühendustoru. Ühendustoru on paar kontuuridega vasktoru mis omavad kuivalt ühendatud pistikuid millesse ühendatakse soojust juhtuvad torud.

**Kinnitusraam**- Sobivaks paigalduseks loodud kinnitusraam.



Joonis 1.6. Vaakumkollektori tööõhimõtte [19][21]

**I etapp** – Absorbeeriv kate sisemisel klaastorul neelab päiksevalgust ja muundab selle soojuseks

**II etapp** - Soojust juhtivas torus tekib aur mis edastab kiirelt soojust ühendustorudesse

**III etapp** -Pump tsirkuleerib vett või soojusvahetina kasutatavat vedelikku, kandes soojust paisupaaki. Kogu päeva vältel soojendatakse paisupaaki. Paisupaaki võib lisada elektrielemendi et kiiremini vett soojendada, või on võimalus kasutada katelt. Lisaks võib kollektor eelsoojendatud vett lisada olemasolevasse paisupaaki. [19][21]

## 2. PV-PANEELIDE TOOTMINE EESTIS

PV-paneele toodetakse ka Eestis, nimelt asub Tartumaal Tõrvandis Solaresti tehas mis toodab juba mitmendat aastat PV-paneele. Tootevalikus on ka painduvad paneelid. Lisaks toodab eestis PV-paneele ka Naps Solar OÜ. Mõlemas tehases on valmidus toota tavapärase paneeli, kus PV-elementid jäävad klaasi ja läbipaistva kilest tagakülje vahele, asemel ka klaas-klaas paneele, millede puhul jäävad paneelid klaasi ja läbipaistva kile vahele. Selline lahendus sobib hästi büroofoonete klaasist välisseinade asemele. Järgnevatel punktides on kirjeldatud kõige lihtsama PV-paneeli valmimine.

### 2.1. I etapp - PV-paneeli elementide jootmine

Kogu päikesepaneeli valmimine algab PV-paneeli elementide (inglise keeles *cell*) kontrollimisega masina poolt. Masin kontrollib elemente et ei esineks (mikro)mõrasid ja muid vigastusi. See käik ei välista, aga vähendab oluliselt võimalust et esinev viga on põhjustatud elemendi poolt. PV-paneeli elementid koosnevad ränist ja on väga haprad, mistõttu on õigesti seadistatud masina elementide käitlemine neile ohutu.

Kontrollitud lülid laotatakse masina poolt ühte ritta et need omavahel infrapunaga kokku joota. Tekkinud elemendirida nimetatakse inglise keeles *string*-iks. Lülide omavahel kinni jootmise viis on kujutatud joonisel 2.1. Elemendirea pikkus sõltub tellitavast paneelitüübist ja partiist.



joonis 2.1. PV-paneeli elementide masina poolt jootmise algoritm

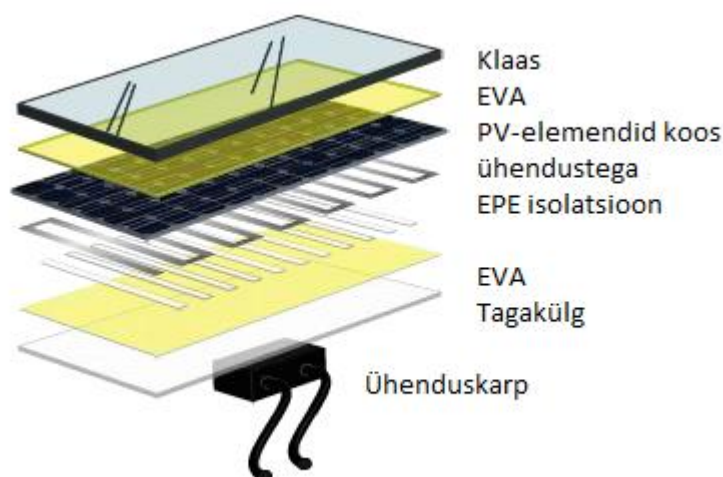
Joonisel 2.1. kujutab roheline lõik kinni jootmata osa mis jookseb üle elemendi ja punane lõik kinni joodetud osa mis on joodetud elemendi külge. Masin joodab elemente kinni infrapunakiirgusega.

## 2.2. II etapp - Paneeli lamineerimine

Kui elemendiread on valmis joodetud, tuleb neid kuidagi kaitsta ilmastikumõjude eest.

Ilmastikumõjude vastu saab elemente kaitsta kui nad lamineerida karastatud klaasiga üheks osaks.

Lamineerimise puhul kasutatakse mitut tüüpi erinevaid kilesid erinevateks otstarveteks, erinevate kilede tüübid on toodud joonisel 2.2.



Joonis 2.2. PV-paneelide kihid

**EVA kiht** – EVA kile on termoplastik, mis sisaldab etüleenvinüül atsetaati mida kasutatakse et PV-paneeli elementid paika sulatada, reeglina hea läbipaistvusega.

**EPE kiht** – EPE kilet kasutatakse elektrilise isolaatorina ja füüsilise tõkendina PV-paneelide kriitiliste alade puhul, reeglina läbipaistev.

**Tagakülje kile** – Tagakülje kile kaitseb paneeli UV-kiirguse, niiskuse ja ilmastiku eest, olles samaaegselt ka elektriline isolaator. Tagakülje kile värvi on võimalik valida, populaarseimad on must ja valge. Büroohoonete akendesse integreeritud süsteemide puhul kasutatakse läbipaistvat tagumist kilet et säilitada maksimaalne läbipaistvus aknana. [11][12]

Kui kõik kiled olid mõõtu lõigatud, tõsteti klaas koos elementide ja kiledega laminaatorisse (joonis 2.3.), kus kõik osad kõrgel temperatuuril üheks lamineeriti.





Joonis 2.3. Laminaator

### 2.3. III etapp – paneeli raamimine

Kolmandaks etapiks paneeli valmimisprotsessis on paneeli raamimine ja ühenduskarbi lisamine. Peale paneeli lamineerimist lõigatakse mööda klaasi ära kogu üle ulatuv kile. Paneel asetatakse hüdropressile kus talle surutakse külge alumiiniumraamid (joonisel 2.4.), mille värv sõltub kliendi soovist. Populaarseimad on mustad ja valged (reeglina valitakse ka vastav tagumine kile). Raamid koosnevad tavaliselt neljast küljest, igale küljele enda detail, ning kinnitatakse silikooni või muu hermeetikuga.

Raamimisel tuleb olla hoolikas, sest hüdropress on välja kalibreeritud paneeli mõõtude järgi ning raami soonte ja paneeli vahele jäävad võõrkehavad võivad karastatud klaasi terves ulatuses rikkuda. Kui raamid on paneeli külge kinnitatud, kinnitatakse paneeli tagaküljele ühenduskarp elektriliste ühenduste jaoks. Ühenduskarp kasutab standardseid MC (*multi-connect*) pistikuid et paneele oleks omavahel objektil mugavam ühendada

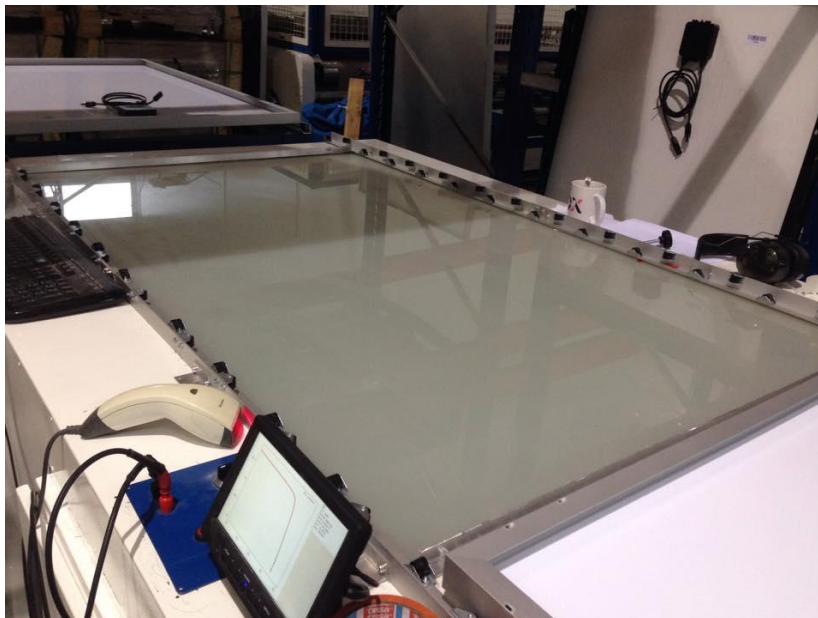


Joonis 2.4. PV-paneelide raamide detailid ja ühenduskarp

#### 2.4. IV etapp – paneelide katsetamine

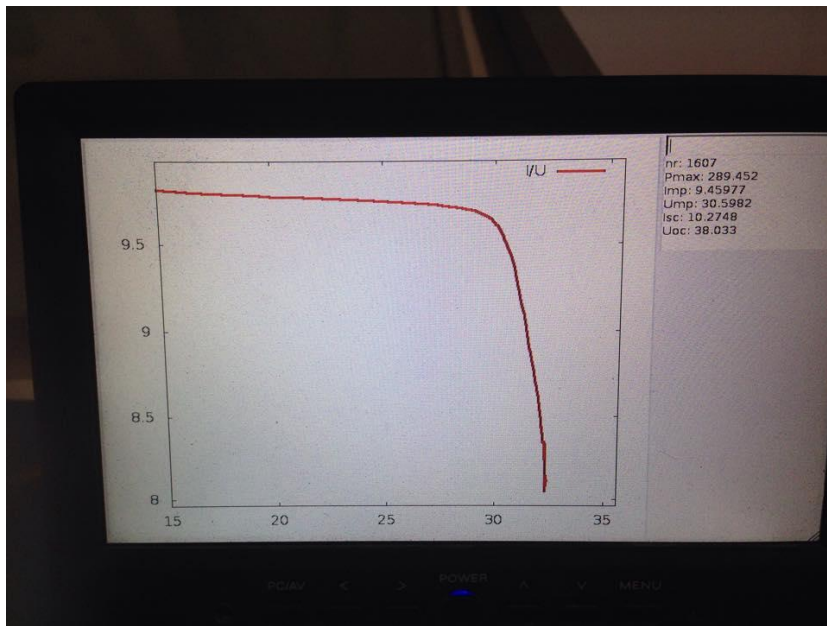
Viimaseks etapiks paneelide valmistamise protsessis on paneelide korrasoleku kontroll.

Kontrollimiseks kasutatakse suurt LED ekraani, millega on võimalik kontrollida nii väljundvõimsust kui ka pinget ja voolu. Kontrollimiseks tõstetakse paneel suure LED ekraani peale ning ühendatakse mõõteseadmega (joonis 2.5.)



Joonis 2.5. PV-paneelide katseseade

Kui paneeli andmed vastavad nõudmistele, ja omavad sarnast võimsuskõverat kui toodud joonisel 2.6. on paneel korras ja valmis pakkimiseks, kui paneeli parameetrid ei vasta nõudmistele, kontrollitakse võimalikke vea allikaid.



Joonis 2.6. Töökorras paneeli võimsuskõver

### 3. PV-SÜSTEEMI PAIGALDAMISE ETAPID

Kui ei ole kasutusel päikest jälgiv süsteem, peaksid olema paneelid orienteeritud optimaalsesse suunda, Eesti asukohta arvestades on selleks suunaks lõuna. Paneelid tuleks asetada kohta, kus päeva jooksul neile varju ei lange. Lisaks sõltub parim kaldenurk paneeli geograafilisest asendist. Põhjapoolkeral on rusikareegliks tavaliselt kaldenurga seadistamine laiuskraadi järgi, ning suund jääb tavaliselt põhja poole. Kuigi, optimaalsema asendi ja kaldenurga jaoks on võimalik moodustada teoreetiline mudel päikesekiirgusest, kasutades näiteks Tõravere observatooriumist pärinevaid andmeid või heliodoni. Lisaks on olemas mitmeid programme millega on võimalik läbi modelleerimise leida optimaalne asend.[1]

Süsteemi planeerides on vajalik oleks täidetud järgnevad punktid:

- PV-süsteemi poolt kasutatav pind peab olema päikesele avatud suurema osa päevast, ning süsteemile ei tohiks tekkida suuri varje nii päeva, kuu kui aasta lõikes.
- Katusele paigaldamise puhul peab olema piisavalt ruumi katusel ning maha paigaldades tuleb arvestada et päikese liikumisel erinevatel aastaegadel ei tohi paneelid üksteisele varje tekitada
- Arvestades eelpoolmainitud punkte peab süsteem olema tasuv
- Süsteemi üles seadmiseks on vaja kohaliku omavalituse kooskõlastust et muuta hoone tehno seisundit või kas süsteem sobib muinsuskaitsealustele objektidele või miljooväärtuslikele objektidele. Kui on soov müüa üle jäävat elektrienergiat võrku, on lisaks vaja ka lepingut võrguettevõttega.

Nende nelja punkti täitumisel on antud head eeldused tasuva PV-süsteemi rajamiseks.[27]

#### 3.1. Süsteemi planeerimine

##### 3.1.1. PV-GIS ja muude programmidega

PV-GIS on internetis olev tasuta päiksepaneelide süsteemi modelleerimisprogramm nii eraldiseisvale kui ka võrku ühendatud süsteemidele, ta on toimiv Euroopas, Aafrikas ja Aasias. PV-GIS loodi Euroopa komisjoni teadusuuringute ühiskeskuses. PV-GIS modelleerib etteantud andmete ja asukoha järgi PV-süsteemi aastase energiatoodangu. Fotoelektrilise geograafilise informatsioonisüsteemina kasutab ta *Google*-i kaarte, ning seetõttu on kaardid täpsed ning kasutamine lihtsam. Süsteem on võimeline arvutama iga kuu ja aasta kohta potentsiaalse elektrienergia toodangu PV-süsteemi kohta kasutades kasutaja poolt sisestatud andmeid nagu kaldenurk ja suund.

PV-GIS on kasulik programm arvutamaks eeldatavat päikeselt saadavat energiahulka, mis on väga abiks kohtades, kus puudub ühendus elektrivõrguga. Võimalus on kasutada veel programme nagu Homer, Retscreen ja palju muid.

PV-GIS kasutajaliidese aken on lihtne ja mõistetav. PV-süsteemi andmete sisestamiseks tuleb valida *PV estimation* aken.

Järgnevalt valitakse kiirgusandmete andmebaas ehk inglise keeles ***Radiation Database***, Eestis toimib andmebaas *Classic PVGIS*

***PV technology*** tähistab tehnoloogia valikut, nii mono- kui polükristall paneeli puhul toimib valik *Crystalline silicon*

***Installed peak PV power*** määrab päikesepaneelide süsteemi võimsuse kilovattides.

***Estimated system losses*** määrab süsteemi kaod, mis tulenevad näiteks inverteritest. Kaod on võimalik leida süsteemi elementide tehnilistest andmetest ning kogemuste põhjal.

Edasi tuleb valida vastavalt süsteemile, kui planeeritakse jälgivat-liikuvat süsteemi, tuleb jätkata valikust ***Tracking options***, kus on võimalik defineerida *tracker*-i parameetrid, kui aga kasutatakse fikseeritud süsteemi võib jätkata punktist ***Mounting position***, mis teeb kindlaks paigalduse tüübi. Kui süsteem on paigaldatud katusele, tuleb valida ***Building integrated***, kui maapinnal, siis ***Free-standing***.

Süsteemi kaldenurk määratakse lahtris *Slope*, seinale paigalduse puhul on kalle 90°, lameda katuse puhul 0°.

***Azimuth*** ehk suund asimuudi suhtes määrab paneelide täpse suuna, optimaalne Eestis on paneelid suunata lõunasse. Sisestamisel on lõuna 0°, lääts 90°, kagu 45°, edel -45° ja ida -90°

Kui kasutusel oli *tracker*-süsteem, tuleks valida kas liigub vertikaaltelg (***Vertical axis***) või horisontaaltelg (***Inclined axis***)

Graafikute kuvamiseks on vaja linnkuesega aktiveerida lahter *Show graphs*

The screenshot shows the 'PV Estimation' software interface. At the top, there are four tabs: 'PV Estimation' (selected), 'Monthly radiation', 'Daily radiation', and 'Stand-alone PV'. Below the tabs, the title is 'Performance of Grid-connected PV'. The interface includes several input fields and checkboxes:

- Radiation database: [dropdown menu] [What is this?]
- PV technology: [Crystalline silicon dropdown]
- Installed peak PV power: [1] kWp
- Estimated system losses [0;100]: [14] %
- Fixed mounting options:**
  - Mounting position: [Free-standing dropdown]
  - Slope [0;90]: [35] °  Optimize slope
  - Azimuth [-180;180]: [0] °  Also optimize azimuth
  - (Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)
- Tracking options:**
  - Vertical axis Slope [0;90]: [0] °  Optimize
  - Inclined axis Slope [0;90]: [0] °  Optimize
  - 2-axis tracking
- Horizon file: [Vali fail] Pole valitud
- Output options:**
  - Show graphs  Show horizon
  - Web page  Text file  PDF

At the bottom, there is a blue 'Calculate' button and a blue '[help]' link.

Joonis 3.1. PV-GISi kasutaja parameetrite sisestamise aken [29]

### 3.1.2. Planeerimine erinevate seadmetega

Peale programmide, on võimalik paigaldatava süsteemi talitlust katsetada erinevate seadelistega.

#### 3.1.2.1. Heliodon

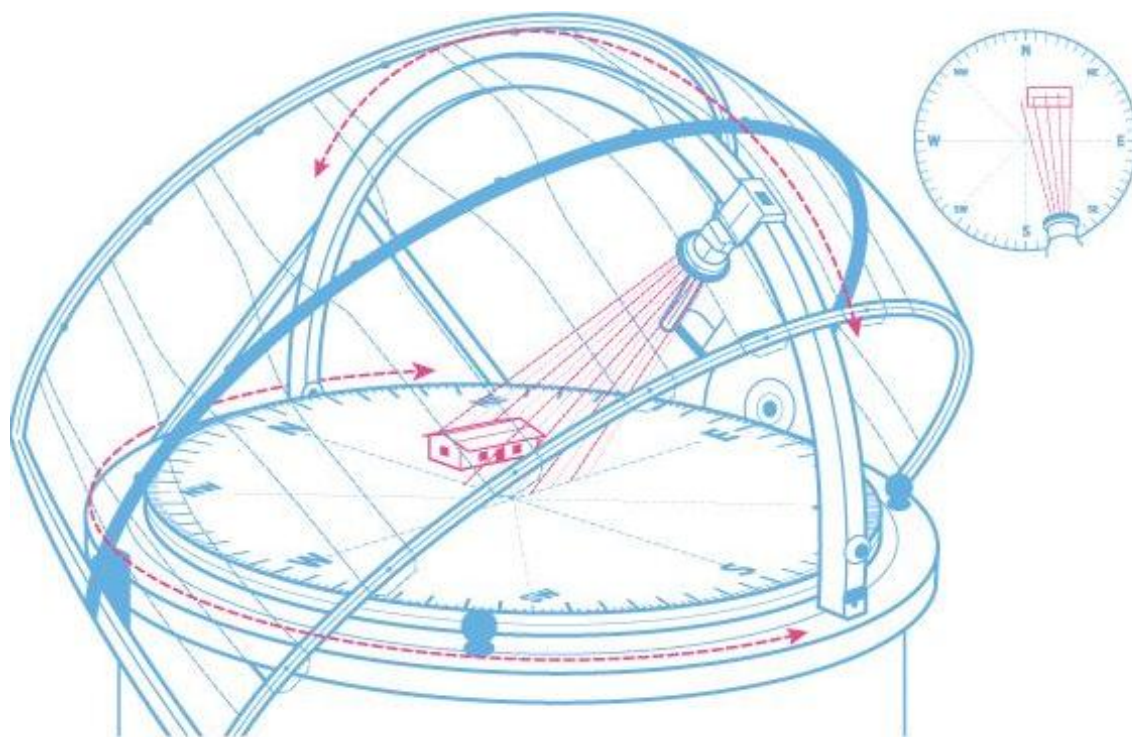
Heliodon on seade millega on võimalik katsetada erinevaid nurki tasase pinna ja valgusallika poolt tekitatud valguskiirte vahel et simuleerida päikese langemisnurka Maale. Heliodoni kasutavad peamiselt arhitektid ja arhitektuuritudengid. Kui asetada maja mudel heliodoni lamedale pinnale ja konfigureerides heliodoni vastavalt aastaajale ja asukohale, on võimalik vaadata kolmemõõtmelises süsteemis kuidas langeb mudelile valgus erinevatel kuupäevadel või päeva lõikes.

Heliodoni seadistamisel konfigureeritakse järgmisi väärtusi millest sõltub päikesekiirte langemisnurk:

- Mudeli asukoht, mis annab mudeli positsiooni Maa pinnal Ekvaatori ja ühe pooluse suhtes.
- Kellaeg, arvestatakse liikumissuunaga itta ümber maa kujutletava telje ning kestvusega päikesetõusust päikese loojumiseni.
- Kuupäev, mis annab Maa asukoha oma iga-aastasel ringil ümber päikese.

Kõige raskem on visualiseerida kuupäevast tulenevaid muutusi. Maa pöörlemistelg on püsti, kuid kallutatud asendis. Maa ekvaator on risti pöörlemisteljega, kuid ei ole risti tasapinnaga mis sisaldab Päikese ja Maa keskosasid. See põhjustab helidonide koostajatele palju raskusi. Lisaks on raske toota paralleelseid valguskiiri kunstliku valgusallikaga kasulikul skaalal.

Peale erinevate seadistamisvõimaluste, peab heliodon omama viitama selgelt põhja ja lõuna suunale tasapinnal et oleks võimalik mudeleid orienteerida. Osad heliodonid on väga üksikasjalikud, kasutades kõrgel laes asuvaid relsse et liigutada valgusallikat üle suure stuudio. Teised on väga lihtsad, kasutades päiksekella seadistuste suunamiseks ja päikest valgusallikana. Kõik heliodonid on liigutatavad ja kallutatavad seadmed mida on võimalik seadistada erinevate nurkade alla et katsetada erinevaid kaldenurki. Päikesekiirguse kaldenurka seadistades näeb suhtelist intensiivsust mida põhjustavad pinnale langevad otsesed päikesekiired. Seade koosneb ühest või mitmest kotsentrilisest rõngast kuhu on kinnitatud valgusti. Mitme rõnga olemasolul sümboliseerib iga rõngas erinevat aastaaega ning ühte rõngast ümber oma telje keerutades on võimalik simuleerida päeva pikkust ning sellel aastaajal päeva jooksul objektile langevat päikesekiirgust. Kui kallutada kõiki (ühe rõnga puhul ainsat rõngast) rõngaid korraga, muudetakse päikesekiirte langemisnurka, mis sõltub objekti asukohast laiuskraadi suhtes. [9]



Joonis 3.2. Heliodon [9]

Üks heliodon asub ka Tallinna Tehnikaülikooli materjaliteaduskonna laboris kus sellega katsetatakse erinevaid materjale, millest on võimalik toota päikesepaneele.

## 3.2. Süsteemi elektrivõrku liitmise võimalused

Süsteemi planeerimise oluline osa on valida kas soovitakse süsteem ühendada võrku või mitte. Valik tehakse põhiliselt sõltuvalt alajaamade ja muude liitumist võimaldavate seadmete olemasolust. Määravaks võib saada ka kasutatava objekti tarbimiskarakteristik, näiteks sobib büroo- või muu tööhoone tarbimine kokku paneelide tootmiskarakteristikuga, eramu tarbimine on suurem hommikul ja õhtul, kui päikesekiirgus enam nii intensiivne pole ja paneelid toodavad sel ajal vähem elektrit kui keskpäeval. Kui puudub võimalus elektrienergiat salvestada ning on plaanis süsteemi tasuvusaega vähendada, on igal juhul mõistlik liita süsteem elektrivõrguga ja üleliigne energia võrku müüa. Et müüa elektrienergiat võrku, on vaja sõlmida leping võrguettevõttega, kelleks Eestis on Elektrilevi. Leping tagab tootjale vajaliku elektrienergia müümise ja ülejääva elektrienergia ostmise. Mikrotootjalt võrku edastatud elektrienergiat ostetakse Nord Pool Spot Elspoti Eesti piirkonna börsihinnaga, millest lahutatakse maha kokkulepitud marginaal ning millele lisatakse taastuvenergia toetus. Tarbitud elektrienergia eest esitatakse arve sõltuvalt paketi oleval hinnale. [29]

Elektrivõrguga liitumise võimalused jagunevad süsteemide installeeritud võimsuste järgi:

### 3.2.1. Mikrotootjad

Mikrotootjad on põhiliselt eramud või ettevõtted kes toodavad elektrit enda tarbeks ning taastuvatest energiaallikatest. Mikrotootja tootmiseseadmete nimivõimsus on ühefaasilise tootmiseseadme puhul kuni 3,68 kW või kolmefaasilise tootmiseseadme puhul kuni 11 kW. Mikrotootjatel on võimalik liituda elektrivõrguga lihtsustatud korras. Liitumistaotluse leping on esitatud lisa 1.

#### 3.2.1.1. Mikrotootjaks saamise sammud:

**Enne taotluse esitamist** on vaja veenduda mikrotootmiseseadme püstitamise võimalikkuses, konsulteerides selleks pädevate ehitusala spetsialistidega ja/või kohaliku omavalitsuse esindajatega. Täidetud peavad olema kõik ehitusseadusest ning kohaliku omavalitsuse nõuded ja eeltingimused süsteemi püstitamiseks. Kui on plaan teenida majanduslikku kasu elektrienergia müügi pealt, on ka soovitatav veenduda süsteemi tasuvuse kontrollimises .

#### **Liitumistaotluse esitamine, pakkumise saamine ja lepingu sõlmimine**

Liitumistasu tingimuste ja suuruse tingimuste jaoks tuleb esitada võrguettevõttele täidetud liitumistaotlus. Liitumistaotluse blankett on esitatud lisa 2. Taotlusega tuleb esitada dokumendid mis kinnitavad et liitujal on õiguslik alus kasutada ehitist või kinnitust. Liitumispakkumise jaoks



on nõutud volikiri või dokumendid mis kinnitavad et liitujal on õiguslik alus kasutada kinnistut või ehitist, mikrotootmiseseadme elektriliste ühenduste põhimõtteskeem koos liitumispunkti asukohaga.

Võrguettevõtte poolt tehtud mikrotootja liitumispakkumine sisaldab kõiki kulusid, mis hõlmavad ka elektrivõrgu ümberehitust ja mõõteseadme paigaldust.

Võrguettevõtte poolt tehtud liitumispakkumine kehtib 6 kuud. Sobivate tingimuste korral sõlmitakse mikrotootja liitumisleping ja esitatakse esimese osamakse arve. Töödega alustatakse peale esimese osamakse laekumist.

### **Mikrotootmiseseadme kasutuselevõtmine**

Mikrotootmiseseadme kasutusele võtmiseks peavad olema lõpetatud kõik seadistus-, ehitus-, ja elektritööd, täidetud liitumistingimused, tasutud arved ning esitatud võrguettevõttele järgnevad dokumendid:

Lõplikult välja ehitatud elektripaigaldise elektriline teostusjoonis või skeem tootmiseseadmest kuni võrguettevõtja liitumispunktini. Teostusskeemil või –joonisel peavad olema näidatud tootmiseseadmed koos abiseadmetega (välja toodud nende nimivõimsus, mark ja tüüp), ühendusliinide kaablid (ristlõige, mark, pikkus), kaitseparaadid (tüüp, nimivool) ja tarbimise jaotusharud

Teatis elektripaigaldise nõuetekohasuse kohta koos nõuetekohasuse tunnistuse koopiaga, mille väljastab elektritööde teostaja pärast tehnilise kontrolli tegemist.

Mikrotootmiseseadme kaitsesätete seadistamise protokoll *Microsoft Word document* failiformaadis.

### **Võrgu- ja elektrilepingu sõlmimine**

Peale vajalike dokumentide esitamist ja arvete tasumist, sõlmitakse võrguettevõttega võrguleping. Võrguleping võimaldab võrguühenduse kaudu elektrienergia edastamist ja mõõtmist. Mikrotootmiseseade on lubatud võrguga paralleeltoosse alles pärast mõlema osapoole võrgulepingu allkirjastamist. Kui võrguleping on olemas, tuleb sõlmida elektrileping et osta ja müüa elektrienergiat, elektrilepingu võib sõlmida kliendile sobiva elektrimüüjaga.

### **Väiketootjad ja suurtootjad**

Seadmed nimivõimsusega 11 kW ja üles loetakse võimsuse järgi väike- ja suurtootjateks, nende eesmärk on toota elektrit et seda müüa. Kuna võimsused on reeglina kordades suuremad kui mikrotootjatel, ei ole võrguga liitumine nii lihtne ja tuleb üle vaadata läheduses asuvate liitumispunktide lubatavad parameetrid. Väga suurte tootjate puhul on vaja taodelda tegevusluba Konkurentsiametilt.[23]

## 4. ERINEVAD KONFIGURATSIOONID

Päikeselt saadav energia on otseses sõltuvuses valguse intensiivusega, et saada maksimaalne hulk energiat, peab PV-paneel olema risti päikesega. Peale päikese päevase liikumistekonna, liigub päike ka erineva trajektooriga erinevatel aastaegadel. Maksimaalse energiahulga tootmiseks peab PV-paneel jälgima päikese liikumist. Suurimat energia toodangut võimaldav lahendus on kasutada päikest jälgivat süsteemi, mis säilitab paneeli ristioleku valgusallikaga. Päikest jälgivate süsteemide lahendusi on mitmeid, sealhulgas aktiivsed ja passiivsed süsteemid milles liiguvad kas üks või kaks telge.

### 4.1. Fikseeritud ja liikumatu süsteem

Tavaliselt koosneb PV-paneelide süsteem neljast põhilisest komponendist: Joonisel 4.1. on toodud fikseeritud PV-süsteemi põhiosad. Paneelid on tavaliselt katusele fikseeritud alumiiniumraamide ja –kinnitustega, nende tüüp sõltub katuse kaldenurgast, katuse kattematerjalist ja kliendi soovist.



Joonis 4.1. Tavaline fikseeritud PV-süsteem [29]

#### **Päikesepaneelide rivi**

Elektrit muundatakse PV-elementidest. Kui grupeerida üksikud elemendid kokku, on võimalik valmistada PV-paneel.

## **Inverter**

PV-paneelid toodavad alalisvoolu (DC) mis on vaja muundada vahelduvvooluks (AC) enne elektrivõrguga ühendamist. Inverter on süsteemis väga oluline element ja vastutab energia muundamise efektiivsuse ja turvalisuse eest. Võimalik on alalisvoolu muundada nii ühe- kui kolmefaasiliseks vahelduvvooluks. Eestis on võrguettevõtte poolt sertifikaati omavate inverterite nimekiri avalikult internetis saadaval. Kui plaanitav inverter nimekirjast puudub, tuleb esitada võrguettevõttele vastavaussertifikaat EN 50438:2007 ning tüübikatsetuste protokoll. [23]

## **Elektrimõõtja**

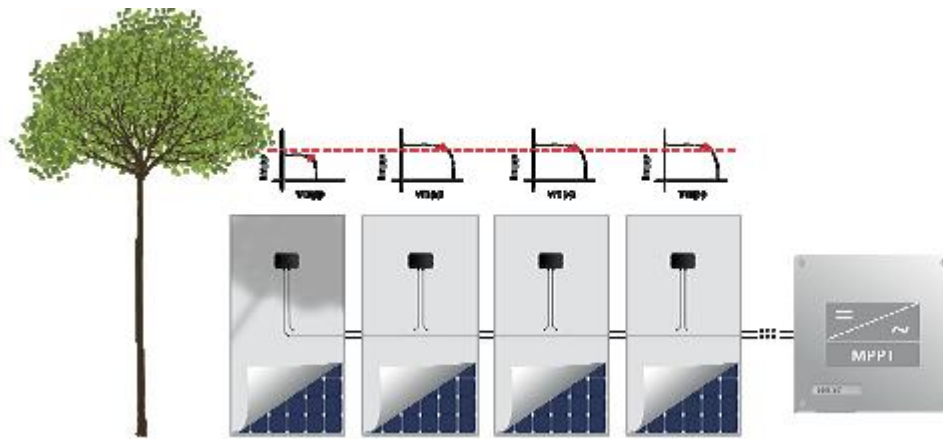
Elektrimõõtja näitab süsteemi omanikule ja võrguettevõttele kui palju energiat on kasutatud ja kui palju elektrienergiat on võrku tagasi müüdud. Paljudes kohtades on võimalik teenida toetust säästval moel toodetud elektrienergia võrku müümise eest, nagu ka Eestis, sest päike loetakse taastuvaks energiaallikaks. Eestis maksab toetused välja Elering, vastavalt elektrituruseadusele. Eestis on toetuse määraks 0,0537 €/kWh.

## **Toodangu jälgimine**

Toodangu jälgimise seadmeid on väga mitmeid, kasutusel on nii lihtsad ekraanid kui juhtmeta monitorid ja veebipõhised kasutajaliidesed kus salvestatakse PV-süsteemi andmed.

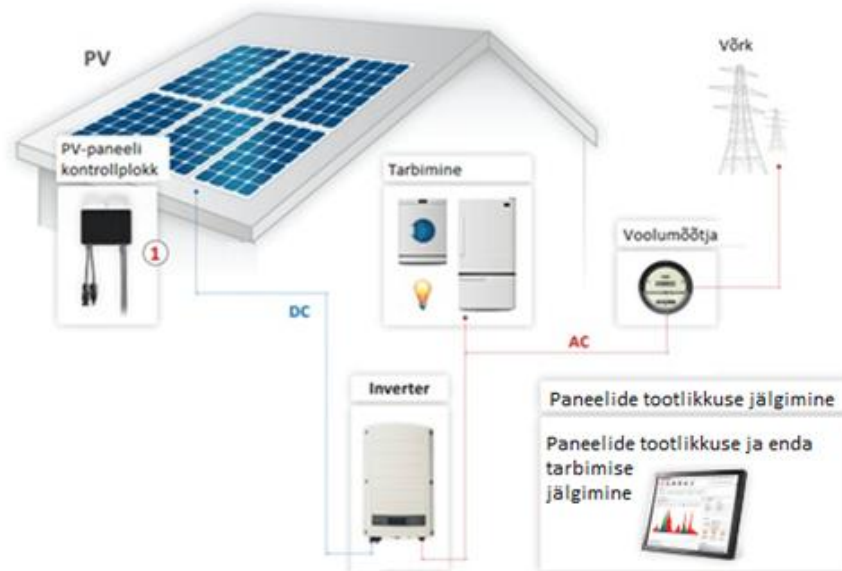
Paneelide töö tõhusamaks muutmiseks on võimalik kasutada igal paneelil eraldi optimeerijat. Optimeerija on elektrooniline kiip mis võimaldab paneelidel toota maksimaalset energiat individuaalselt, ning seetõttu jättes inverterile ainult elektri muundamise ülesande. Optimeerijad võimaldavad iga paneeli toodangut eraldi jälgida. Kasutades optimeerijatega süsteemi, on võimalik varjude ja muude takistuste korral toota iga rohkem energiat, lisaks on iga paneeli kohta pidev tagasiside ning maksimaalse ohutuse tagamiseks lülitatakse paneel ohu korral automaatselt välja. Pidev tagasiside võimaldab automaatseid häireid saata nii arvutisse kui telefoni.

Kasutades optimeerijaid on võimalik vähendada süsteemi kadusid, sest tavalisel süsteemil on kõik paneelid jadamisi ühendatud ning kui ühele või mitmele tekib vari, piirab see paneeli toodangut. Toodangut ei vähenda ainult varjud, vaid ka lehed, lumi, ja muu mustus. Varju tekkimist ning selle mõju optimeeritud süsteemile iseloomustab punktis 5.1.1.2. olevad joonised, kus on näha varju liikumine üle paneelide ning on näha ka individuaalsete paneelide tootmisvõimsused, mis jäävad varju tekitatud kaost puutumatuks.[29]



Joonis 4.2. Varjust tulenevate kadude tekkimine

Joonisel 4.2. on näidatud varjust tuleneva kao tekkimine PV-süsteemis. Igal paneelil on individuaalne voolu-pinge karakteristik ja ta toodab maksimaalselt võimsust spetsiifilisel pingel ja voolul. Seda punkti nimetatakse maksimaalseks võimsuse punktiks (ingl. k. *maximum power point*), edaspidi *MPP*. Iga mooduli voolu-pinge karakteristik sõltub elektrilistest omadustest ja välistingimustest nagu näiteks päikesekiirgus ja temperatuur. Kui paneelid on ühendatud jadamisi, nagu tavalise süsteemi puhul on, ei tooda ükski paneel rohkem voolu kui kõige vähem tootev paneel, sõltumata nende individuaalsest *MPP*-st. [29]



Joonis 4.3. Targa inverteriga optimeeritud süsteem [29]

#### 4.2. Päikest jälgiv süsteem (ingl.k. *tracker*)

Päikese liikumist võib leida ka loodusest. Paljud taimed, nagu näiteks päevalill, orienteerivad end päikese poole terve päeva jooksul. Tegu on hea lahendusega mida on võimalik rakendada

ideaalselt päikeseenergiasüsteemides efektiivsuse suurendamiseks. Selle tulemusena toodavad PV-moodulid, mis järgivad päikese teekonda, rohkem energiat kui fikseeritud paigaldised. Päikest järgivad süsteemid saab jaotada ka aktiivseteks ja passiivseteks:

#### 4.2.1. Passiivsed jälgivad süsteemid

Passiivne jälgiv süsteem kasutab keemilisi reaktsioone et toimuks mehaaniline liikumine., näiteks võib kasutada materjalide termilist paisumist süsteemi liigutamiseks et liikuda päikese trajektooriga kaasa.. Tavaliselt kasutatakse kloroforosüsinikku, või bimetalli mis on paigutatud PV-paneeli mõlemale küljele. Kui päike on paneeliga risti, on mõlemad küljed võrdsed. Kui päike liigub, siis soojendab ta ühte paneeli külge, mis põhjustab ühe külje paisumist ja teise külje kokkutõmbumist, mille tagajärjel süsteem keerab. Passiivsel süsteemil on potentsiaali tõsta efektiivsust kuni 23%. Need süsteemid on palju odavamad kui aktiivsed süsteemid, aga nad ei ole nii populaarsed.[4][5]

#### 4.2.2. Aktiivsed jälgivad süsteemid

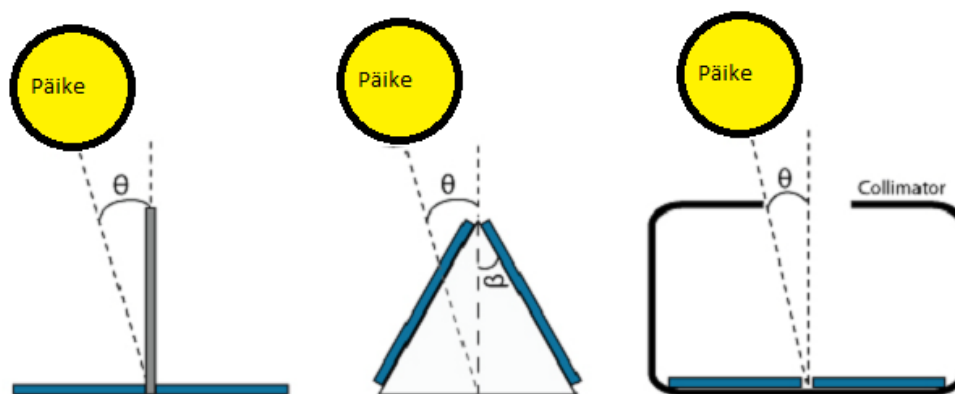
Aktiivne jälgiv süsteem jaguneb kolmeks: kahepoolse lisapaneeliga päikesepaneelisüsteem, elektro-optiline süsteem ja mikroprotsessor/arvutisüsteem.

**Kahepoolne lisapaneeliga *tracker*** on kõige lihtsam neljast aktiivsest jälgivast süsteemist. Selles süsteemis on lisatud kahepoolne väline sensorina kasutatav PV-element risti põhielementidega. Sensorelement on otse ühendatud mootoriga, tavaliselt alalisvoolumootoriga. Kui päike liigub, väheneb tema nurk sensorelemendi suhtes ja see tekitab piisavalt palju energiat et mootorit liigutada, mis omakorda liigutab kogu PV-paneeli süsteemi. Pouleki ja Libra andmetel on see süsteem võimeline koguma 95% energiast tolerantsiga  $\pm 5^\circ$ . [2]. Selle süsteemi näide on toodud joonisel 4.4.



#### Joonis 4.4. Kahepoolne lisapaneeliga *tracker*

**Elektro-optiline süsteem** on suhteliselt lihtsa ülesehitusega. Tavaliselt kasutatakse kahte fototakistit või PV-elementi sensoritena üheteljelistes süsteemides. Need sensorid paigutatakse üksteise ligidale ja neil on eraldaja, näiteks kaldu olev alus arvatud nurga all, või on kasutusel kollinaator mida kasutatakse et tekitada vool ja/või pinge kahe sensori vahel. See süsteem on kujutatud joonisel 4.5. [4][5]



Joonis 4.5. Elektro-optilised jälgivad süsteemid vasakult paremale: Jagatud süsteem kallutatud alusega ja kollinaator. [4][5]

Ajami vooluringi moodustavad takistid, kondensaatorid, võimendid, loogikaelemendid, diodid ja transistorid. Neist elementidest moodustatakse ka võrdlev vooluring. Võrdleva vooluringi väljund toidab ajami vooluringi, mis järjekorras käitab mootori ja muudab suunda vastavalt selle, kuskohast sensor tuvastab suurema koguse päikesekiirgust. See joondab PV-paneelid päikesega risti.

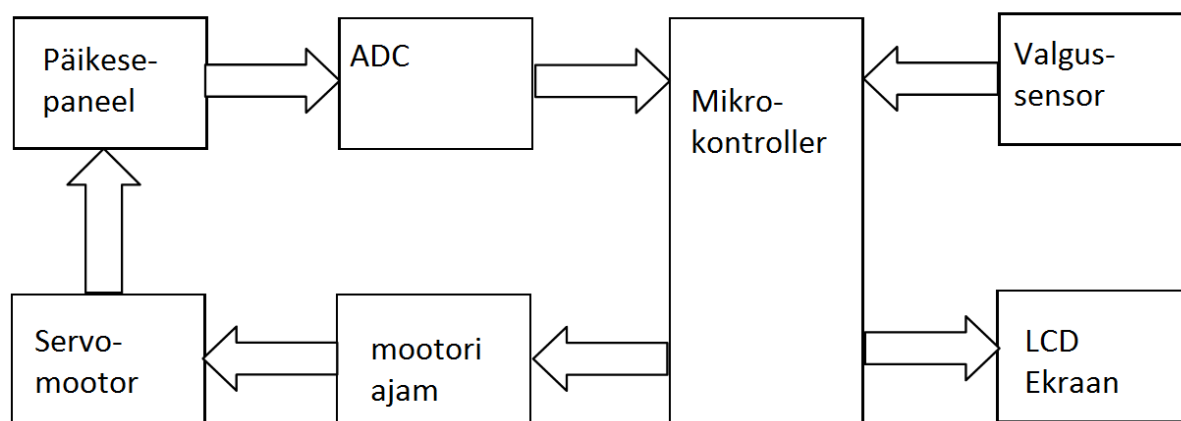
Mikroprotsessor- ja arvutisüsteemid moodustavad viimast tüüpi süsteemi. Tavaliselt jaotatakse nad kahte eri gruppi, kuid põhimõtted on neil üsna sarnased. Põhierinevus eelpoolmainitud süsteemidel seisneb mikroprotsessor/arvutisüsteemide algoritmide kasutamises et kindlaks teha päikese asukohta, selle asemel et kasutada sensoreid. Tavaliselt kasutavad mikroprotsessor- ja arvutisüsteemid sensoreid et vähendada eksimust või et süsteemi kalibreerida, osad süsteemid kasutavad isegi voolu maksimeerimise teed et vähendada eksimust.. Paljudes süsteemides kasutatakse odavat mikroprotsessorit nagu näiteks *PIC* (ehk programmeeritavat liidese kontrolleri), millesse on sisestatud jälgimise algoritm ning informatsioon saadetakse arvutile, millega teostatakse analüüsid. Näiteks võib mikrokontrolleril olla kaks opereerimismoodust: kella moodus ja päikese moodus.

Kella moodus arvutab päikese hetkeasendit ja kaasab algoritmi ka vea sensorid. Kui päikese

intensiivsus väheneb alla kindla väärtuse, aktiveeritakse kella moodus. See vaheldus aitab paremale positsioneerimisele ja seega aitab suurendada saadavat energiahulka.

Mikrokontrolleri baasil põhineva päikest järgiva süsteemi ehk *tracker*-i põhimõtteskeem on kujutatud joonisel 4.6.

*Tracker*-i tööpõhmõte koosneb paljude elementide koostööst. Olenevalt konfiguratsioonist, on *tracker*-il kas üks telg fikseeritud ja teine motoriseeritud, või mõlemad teljed motoriseeritud. Valgussensorist tulevat signaali kasutatakse päikese liikumise suuna kindlaks tegemiseks, et joondada süsteemi päikese poole. Liikumist teostavad mootorid kontrollerist saadava signaaliga. Mikrokontroller on süsteemi ajuks, ta töötleb kõiki sissetulevaid signaale ja reageerib vastavalt, saates välja kontrollsignaalid. Mikroprotsessori algoritmid ja töökasud on kasutaja poolt eeldefineeritud.



Joonis 4.6. Mikrokontrolleril põhineva *tracker* süsteemi põhimõte

Tabel 4.1. Mikrontrrolleril põhineva *tracker*-i juhtimise tingimused

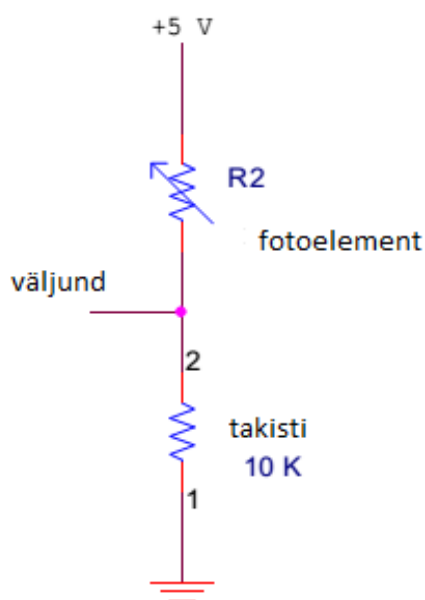
Sensor 1	Sensor 2	Mootori suund
0	0	Naaseb itta
1	0	Vastupäeva (läänest itta)
0	1	Päripäeva (idast läände)
1	1	Stopp

Tabelis 4.1. on kujutatud ühe teljega *tracker*-i mikrokontrollerisse sisestatavad tingimused.[4][5]

Mikrokontrolleril põhineva *tracker*-i operatsioon on lihtne, sest mikrokontroller mõistab ainult kahte numbrit: 0 ja 1. Signaale sensoripaaridest võrreldakse kogu aeg et leida muutust nende väärtustes. Kui mikrokontroller tuvastab sensorist tuleneva muutuse, saadab ta vastavad signaalid edasi, näiteks mootori liigutamiseks edasi ja samuti mootori peatamiseks kui tulevad vastavad

signaalid. Tavaliselt on mõõdetavad signaalid, nagu pinge ja vool, analoogsignaalid. ADC muundab analoogsignaalid digitaalseteks signaalideks. Digitaalsed signaalid minimiseerivad müra tekitud häired signaali edastamisel ning lisaks on võimalik müra vähendada kasutades kodeeringut. Lisaks on digitaalseid signaale lihtne salvestada.

Kõige lihtsam optiline valgussensor, mida oleks mõistlik *tracker*-is kasutada, on fototakisti, mis võib olla näiteks kaadmium-sulfiid (CdS) või gallium-arseniid (GaA) tüüpi. Keerulisastet arvestades on fototakistist järgmine fotodiod. Fototakisti on peale lihtsuse ka kõige odavam valgussensori tüüp. CdS fotoelement on passiivne komponent, mille takistus on pöördvõrdeline temale suunatud valgusintensiivsusega. Et fotoelementi ära kasutada, on ta paigutatud ahelasse jadamisi takistiga, nii viisi valmib pingejagaja. Kui vooluring planeeritakse nii, et valguse intensiivsuse tõusmisega tõuseb ka väljundpinge, tuleb fotoelement paigutada pealmisesse positsiooni, nagu joonisel 4.7. [4][5][6][7][27]



Joonis 4.7. Voolujagaja [6][7][25]

Samm-mootorid on laialdaselt kasutusel täpsust nõudvatel positsioneerivates rakendustes, nagu ka *tracker*-ite puhul. Kõikidel samm-mootoritel on 5 head omadust, mis teevad nad ideaalseks valikuks antud rakenduse jaoks: Samm-mootorid on harjadeta, koormusest sõltumatud, omavad avatud ahelaga positsioneerimisvõimalust, omavad head hoidemomenti ja neil on ideaalsed reageerimisomadused.

Samm-mootoreid on kolme tüüpi: püsिमagnetiga, muudetava reluktansiga ja hübriidid. Mähiste paigutus staatoril on põhiline eraldustegur nende kolme tüübi vahel. Püsिमagnetmootorid võivad olla mähitud unipolaarselt või bipolaarselt.



Mootorit saab kasutada ka poolsammtalitluses, mis suurendab mootori liikumise täpsust, *tracker*-i puhul on võimalik järjest telge kaks korda väiksema ühiku võrra keerata, mis suurendab võimalust päikesega risti orienteerituseks. Poolsammtalitluse jaoks pingestatakse esmalt esimene pool, siis kaks pooli, siis uuesti üks pool ja nii edasi, järjestus on välja toodud tabelis 4.2. Mõlemad tabelis toodud mootoritaitluse puhul pöörleb mootor päripäeva suunas.[8]

Tabel 4.2 Samm-mootori normaaltalitlus ja poolsamm-talitlus [8]

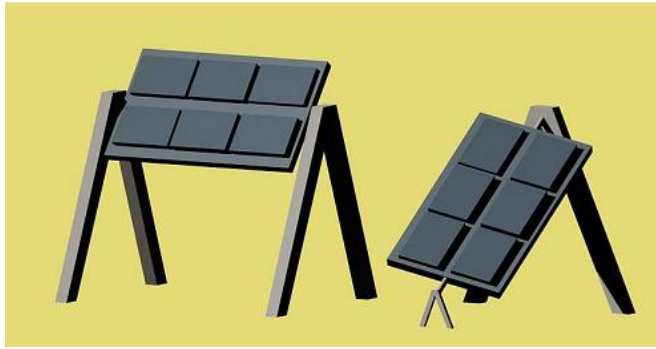
Tavaline samm-mootori talitlus					Samm mootor poolsamm talitluses				
	Mähised					Mähised			
	1a	2b	2a	2b		1a	2b	2a	2b
1	1	0	0	0	1	0	0	0	
2	0	1	0	0	1	1	0	0	
3	0	0	1	0	0	1	0	0	
4	0	0	0	1	0	1	1	0	
5	1	0	0	0	0	0	1	0	
6	0	1	0	0	0	0	1	1	
7	0	0	1	0	0	0	0	1	
8	0	0	0	1	1	0	0	1	

### 4.3. Ühe teljega järgiv süsteem

Ühe teljega *tracker* süsteemide puhul on tegemist mitme päikesepaneeliga seadeldisest, mis pöörleb ümber ühe telje. Ühe teljega *tracker-id* jaotatakse järgnevasse kategooriatesse:

- Horisontaalne ühe teljega jälgiv süsteem (ingl. k. *horizontal single axis tracker (HSAT)*);
- Vertikaalne ühe teljega jälgiv süsteem (ingl. k. *vertical single axis tracker (VSAT)*);
- Kallutatud ühe teljega jälgiv süsteem (ingl. k. *tilted single axis tracker (TSAT)*);
- Poolusele suunatud ühe teljega jälgiv süsteem (ingl. k. *polar aligned single axis tracker (PASAT)*) [1][2][10]

Joonis 4.8. näitab süsteemide erinevust



Joonis 4.8. Ühe teljega päikest jälgivad süsteemid *HSAT* ja *VSAT* [1][2][10]

Joonisel olevad süsteemid erinevad telje asetuse järgi. Joonisel on vasakul *HSAT*, millel on pöörav telg horisontaalselt, ning paremal *VSAT*, mille telg on vertikaalselt.

#### 4.4. Kahe teljega jälgiv süsteem

Et suurendada muundatava päikeseenergia hulka, tuleks kasutada kahe teljega päikest jälgivat süsteemi. Seni, kuni süsteem ei toodab rohkem energiat kui ta tarbib, on süsteem efektiivne.

- Kaheteljelised jälgivad süsteemid (edaspidi *trackerid*) jagunevad kaheks:
- Otsa kallutatavad kaheteljelised *tracker*-id (ingl. k. : *Tip-Tilt Dual Axis Tracker (TTDAT)*)  
Asimuut-kõrgus kaheteljeline *tracker* (ingl. k.: *Azimuth Altitude Dual Axis Tracker (AADAT)*)

Nende kahe vahe seisneb peatelje suunas maa suhtes. *TTDAT*-il on peatelg maaga horisontaalne ja *AADAT*-il on vertikaalne. Asimuut/kõrguse meetod on rohkem kasutusel, lisaks kajastatakse seda tüüpi seadet rohkem ka erinevates teadusartiklites. [10][1][2]

## 5. VÕRRELDAVAD OBJEKTID

### 5.1. Katusele fikseeritud

Eestis asuvate viilkatusele paigaldatavate süsteemide puhul paigaldatakse paneelid lõunapoolsemale katusele ligikaudu sarnase kaldenurgaga kui katus ise. Kaldenurga või suuna muutmine katuse parameetritest võib endaga kaasa tuua teiste paneelide poolt varjude tekke. Paneelid paigaldatakse tavaliselt katusele alumiiniumreelingutele. Alumiiniumreelingute kinnitus katusele sõltub katusekattematerjalist, olgu selleks siis plekk, kivi või eterniit, kõigile on oma spetsiaalne kinnitusvahend.

#### 5.1.2. Optimeeritud süsteem

##### 5.1.1.1. Pirni 18 PV-süsteem

Viljandi linnas Pirni tänaval asuva eramu juurde kuuluv saunamaja, mille katusele on paigaldatud 6 kilovattise võimsusega elektrit tootev päikesepaneelisüsteem. Paneelide suund ja kaldenurk tulenevad ehituse katusest, paneelid on paigaldatud katusele alumiiniumraamidega 40 kraadise langemisnurgaga suunaga kagusse. Objekti asukohaplaan koos paneelide orienteeritusega on välja toodud joonisel 5.1. Joone suund näitab ligikaudset paneelide suunda (kagusse) ning ring näitab millise objekti peale on paneelid paigutatud.



Joonis 5.1. Pirni 18 objekti PV-süsteemi asend ja orientiir

Esialgu paigaldati 16 monokristall-paneeli. Hiljem eemaldatud 13 monokristalli ja asendatud 21 Eesti ettevõtte Solarest OÜ SE250 3BB W mudeliga, mis on polükristalne paneel võimsusega 250

vatti. Paneelid on paigaldatud kolmes reas ja seitsmes veerus. Hiina päritolu paneelid (võimsusega 250 vatti tükk ja alles 3 paneeli) on paigaldatud ühes reas ja kolmes veerus ning lapiti, et täita maksimaalselt katuse lõunapoolne kül. Antud süsteemi suurim miinus on varjud mis tekivad hommikuse päikesega eramaja poolt ja talvised varjud teiste eramajade poolt. Mida madalamalt päike käib, seda suuremad varjud tekivad, kuna antud saunamaja asub orus teistest majadest madalamal tasapinnal. Lisaks on katuse suund hommikupäikesesse.

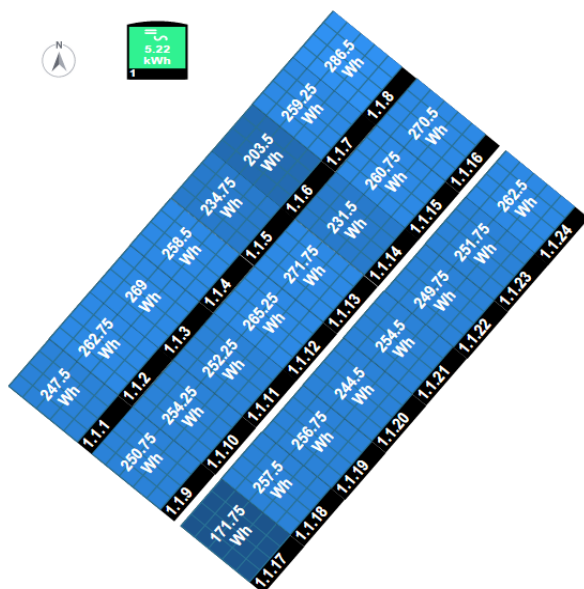
Pirni 18 süsteemi maksumus koos käibemaksuga on ligikaudu 9600 €, ning installeeritud võimsus on 6 kW, mis teeb ühe installeeritud kW maksumuseks 1600 €.

Tavalise inverteri puhul ei ole võimalik kasutada kaht eri tüüpi paneeli (mono- ja polükristallne), sest tavaline inverter ei võimalda mitme erineva paneelitüübi maksimaalse võimsuspunkti järgimist (*MPPT* ehk inglise keeles *maximal power point tracking*). Inverter asub maja keldris sest jahedas on efektiivsus suurem. Kõik paneelid on optimeerijatega ühendatud jadamisi. Optimeerijad hoiavad inverteri sisendis alati 750 volti, see pinge muundatakse kolmefaasiliseks 400V pingeks. Ahela kaabeldus on tehtud 4mm<sup>2</sup> kaabliga ja kasutusel on MC4 standardile vastavate pistikute ja pesadega mis annavad niiskuskindluse kaitseastme IP65. Kuna Eestis on niiske kliima, siis tekib tihedalt probleeme kehvasti koostatud ja ühendatud pistikutest ning selle vältimiseks soovitatakse kasutada elektrilist vaseliini.

Antud objekti puhul on iga paneeli taga optimeerija ja Solaredge inverter mis tagab varjude esinemise korral maksimaalse toodangu. Tavalise inverteri puhul võib tekkida olukord kus ühte ahelasse ühendatud paneelide puhul võib üks paneel piirata teiste tootmist.. Optimeerijad võimaldavad reaajas igal ajahetkel jälgida paneelide tööd ja toodangut, ning lisaks kuvatakse vähem tootnud paneel tumedamalt et oleks teda võimalik paremini eristada. Veebipõhine kasutajaliides näitab ka iga paneeli poolt päevas toodetud elektrienergia hulka. Kasutajaliideses on fikseeritud süsteemi puhul näha ka paneelide suund põhja suhtes.

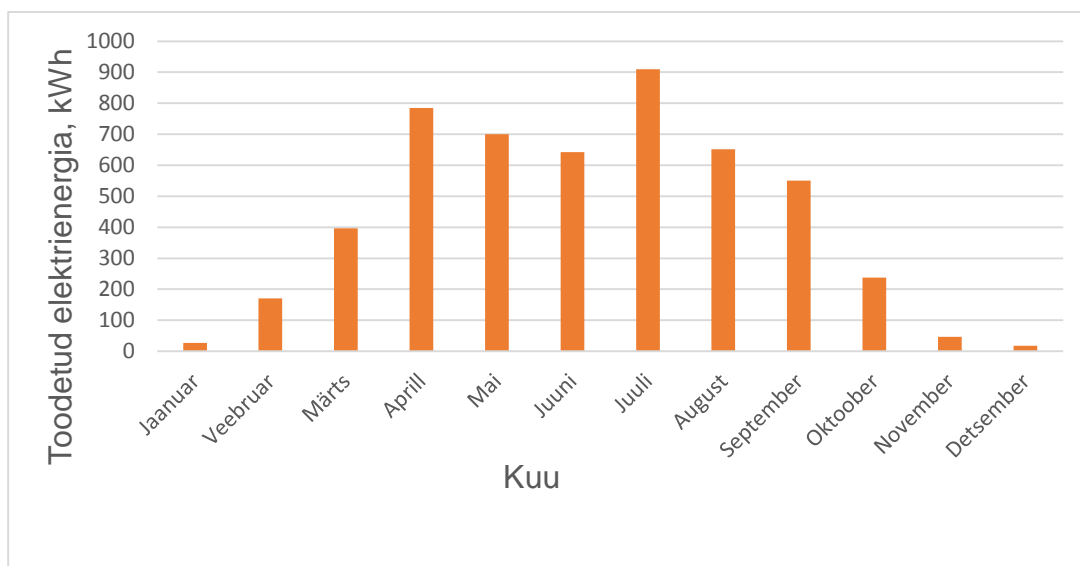
### **Süsteemi eluiga**

Süsteemi komponentide garantiid on järgnevad: Inverteri tehasegarantii 12 aastat, optimeerijad 25 aastat, Schletteri kinnitustarvikud (paneelide katusele kinnitamiseks) 10 aastat., päikesepaneeli füüsiline garantii 12 aastat, toodangu garantii 25 aastat. Toodang võib selle ajaga langeda kuni 20 %. Lähtudes sellistest garantiitingimustest eeldatakse ,et süsteemi eluiga on vähemalt 30 aastat. Süsteemi kõige nõrgimaks lüliks pakkus süsteemi paigaldaja olevat inverterit, kuna tegu on kõige keerukama lüluga süsteemis, mis töötab pidevalt. Ning garantiitingimustest lähtuvalt võtab autor tasuvusarvutusteks paneelide aastaseks toodangu vähenemiseks 0,8%



Joonis 5.2. Pirni 18 PV-süsteemi veebiliides

Lähteandmetena on kasutatud Pirni 18 objekti inverterist saadud andmed. Elektrimõõtjast saadud andmeid ei ole otstarbekas kasutada, sest seal on toodangu andmetest lahutatud maha majapidamise tarbimine ja seetõttu saab sealt tootmisandmete asemele ainult võrku müüdüd elektrienergia kogused.



Joonis 5.3. Pirni 18 PV-süsteemi aastane energiatoodang kuude lõikes

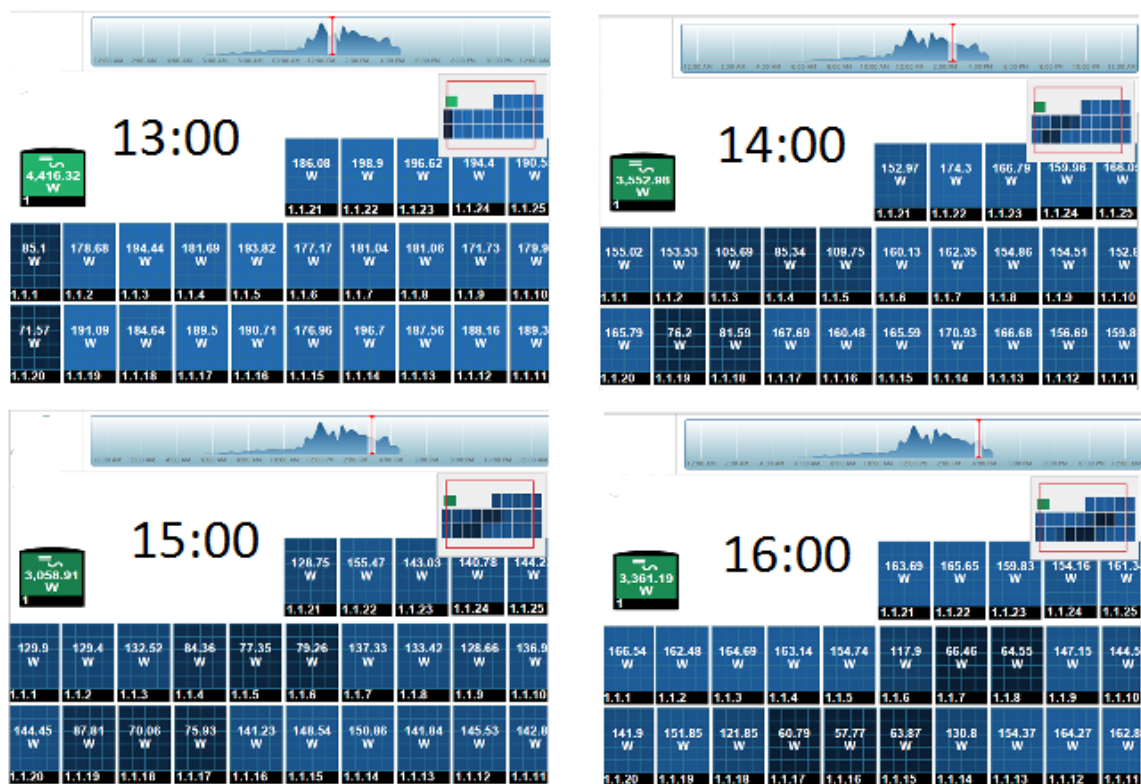
Aprillikuus on toodang suurem kui mais ja juunis kuna temperatuur on madal. Madalam temperatuur tõstab paneeli kasutegurit. Antud objektil on paneelid tõstetud katuse pinnast kõrgemale et toimiks paneelidetagune jahutus ning oleks võimalik toodangut efektiivsemaks muuta.

Tabel 5.1. Pirni 18 tootmise ja tarbimise andmed

Kuu	PV-süsteemi tootang, (kWh)
Jaanuar	26,958
Veebruar	170,927
Märts	396,712
Aprill	785,171
Mai	700,06
Juuni	642,19
Juuli	909,406
August	651,997
September	550,927
Oktoober	237,453
November	46,951
Detsember	18,201
<b>Kokku</b>	<b>5136,953</b>

### 5.1.1.2. Lehe 4 PV-süsteem

Rakveres asuva Lehe 4 objekti puhul on tegu auto varikatusega, millele on paigaldatud päikesest elektrit tootvad päikesepaneelid. Varikatuse nurga ette edelasuunda jääb elektripost. Targa inverteri ning optimeerijate koostöös on võimalik näha veebiliidese kaudu varju liikumine üle paneelirea, mis on ka kujutatud joonisel 5.4.



Joonis 5.4. Veebiliidese ekraanitõmmis varju liikumisest.

Valitud päeval, mille kohta valmistati ekraanitõmmis oli üksiku paneeli maksimaalne toodang pea 200W, ning minimaalne toodang varju tekkimise korral ligi 50W, selline kiirusintensiivsuse vahe võib endaga kaasa tuua olulise toodangu languse, kui kasutusel oleks olnud inverter/mikroinverter mis ei toeta maksimaalse võimsuspunkti jälgimist, oleks tekkinud olukord kus kogu jadamisi ühendatud paneelirea individuaalne paneeli toodang ei ületaks 50W.

### 5.1.3. Optimeerimata süsteem

Tallinnas Valdeku tänav 168 maja katusel asub võrguga ühendatud päikesepaneelide süsteem, mille paneelid on üles seatud kahte ahelasse. Paneelid on ühendatud ühte inverterisse Stecagrid8000+. Selles süsteemis pole kasutatud mikroinvertereid ega optimeerijaid. Inverteril on kaks paari sisendeid, mis võimaldab paneelid ühendada kahte ahelasse jadamisi.

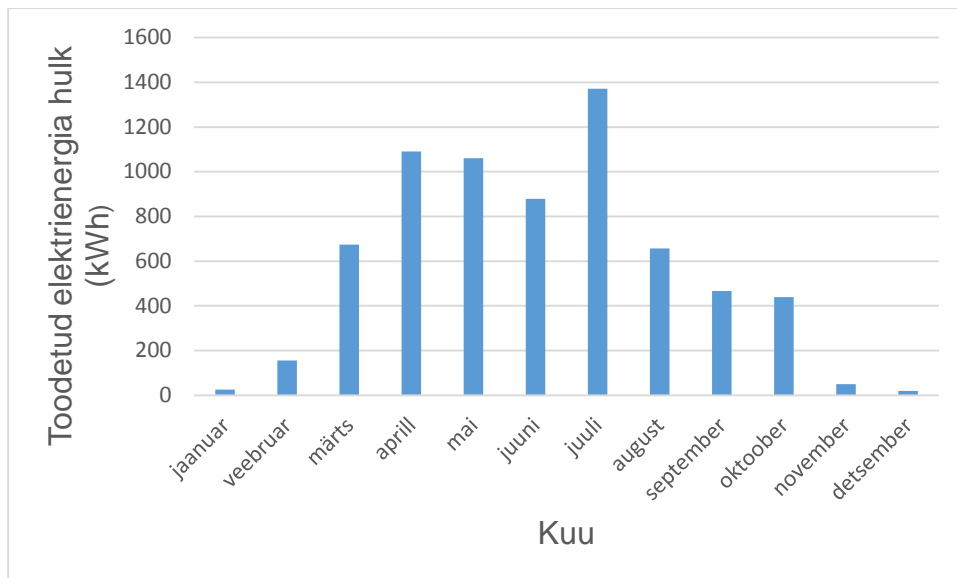
Paneelid on suunatud lõunasse ja kaldenurk on 30. Süsteemis on 32 polükristallilist paneeli Trina Solar võimsusega 260W, millest on moodustatud kaks 16paneelilist ahelat kus paneelid on ühendatud jadamisi.



Joonis 5.5. Valdeku tänav 168 optimeerimata süsteem

Süsteemis on kasutatud 32. 260w paneeli, mis annab süsteemi võimsuseks 8,32 kW. Süsteemi hind koos käibemaksuga on 13920 eurot. Kui jagada süsteemi hind läbi installeeritud võimsusega, saab installeeritud kW hinnaks 1673,077 €. Süsteemi hind ja komponendid pärinevad lisas 1 asuvas hinnapakkumises.

Joonisel 5.6. toodud toodang on modelleeritud kasutades inverteri andmeid kasutades 2014. ja 2015. aasta andmeid. Süsteemi aastaseks toodanguks on antud mudelis 6885 kWh.



Joonis 5.6. optimeerimata süsteemi toodang

Tabel 5.2. Optimeerimata süsteemi aastane toodang

Kuu	Optimeerimata süsteemi toodang, kWh
Jaanuar	25,00
Veebruar	155,00
Märts	673,33
Aprill	1090,00
Mai	1060,00
Juuni	878,33
Juuli	1371,67
August	656,67
September	466,67
Oktoober	438,33
November	50,00
Detsember	20,00
<b>Kokku</b>	<b>6885</b>



## 5.2. Päikest jälgiv süsteem ehk *tracker*

341.5 Wh		345.5 Wh	363 Wh	353.75 Wh	325.5 Wh		348 Wh
1.1.1		1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5		1.1.6
358 Wh	348 Wh	342.75 Wh	363.5 Wh	353.75 Wh	350.75 Wh	357.5 Wh	330.25 Wh
1.1.7	1.1.8	1.1.9	1.1.10	1.1.11	1.1.12	1.1.13	1.1.14
369.25 Wh	343.75 Wh	338.75 Wh	355 Wh	355.75 Wh	360.5 Wh	322.25 Wh	325 Wh
1.1.16	1.1.18	1.1.17	1.1.18	1.1.19	1.1.20	1.1.21	1.1.22
352.25 Wh	362.75 Wh	334 Wh	338 Wh	328.5 Wh	344 Wh	314.25 Wh	338.25 Wh
1.1.23	1.1.24	1.1.25	1.1.26	1.1.27	1.1.28	1.1.29	1.1.30
384 Wh		322.5 Wh	332 Wh	355.75 Wh	300.5 Wh		315.25 Wh
1.1.31		1.1.32	1.1.33	1.1.34	1.1.35		1.1.36



Joonis 5.7. *Tracker*-i skeem ja foto

Lõputöös kajastatud *tracker* asub Viljandimaal Suure-Jaani vallas Roosiaia talus. *Tracker*-i võimsuseks on 9 kilovatti. *Tracker*-i hinnaks koos käibemaksuga on 24700 €, ning installeeritud võimsuseks 9 kW, mis teeb installeeritud kW hinnaks 2744 €. Süsteemi kõrge hinna puhul tuleks arvestada et kulud jaotuvad põhiliselt kaheks: tavalise süsteemi osa, kuhu kuuluvad paneelid, inverter ja kaabeldus ning jälgiv osa kuhu kuulub *tracker*-i jälgiv süsteem ja mast mis paneele hoiab ja pöörab. *Tracker*-i miinusteks on kõrge soetushind ning *tracker*-i poolt vajatav suur maa-ala kuhu mast koos betoonjalandiga paigaldatakse. Kõik süsteemis olevad PV-paneelid on monokristalsed.

Lõputöös käsitletud *tracker*-i süsteemi on lisatud järgnevad abiseadmed:

### Lumeandur

Lumeandur tuvastab millal on moodulid kaetud lume või jääga. Andur on paigaldatud mooduli ääre alumise serva peale. Kui nii mooduli pind ja lumesensor on kaetud lumega ja sensor tuvastab vastava kihi lund või jääd, mis võib avaldada süsteemile kriitlist mõju, siis liigutatakse *tracker* maksimaalsesse vertikaalsesse asendisse. Sellises asendis libisevad lumi ja jää maha. Kui lumesensor enam lund ei tuvasta, jätkab süsteem oma tavapärasest toimingut. Süsteemi eelisteks on lumevaba mooduli pind ka talvel mis suurendab süsteemi toodangut nõudmata kasutajapoolset toimingut et paneele puhastada. Lisaks hoiab süsteem jooksvalt lume kihi madala.

### Tuuleandur

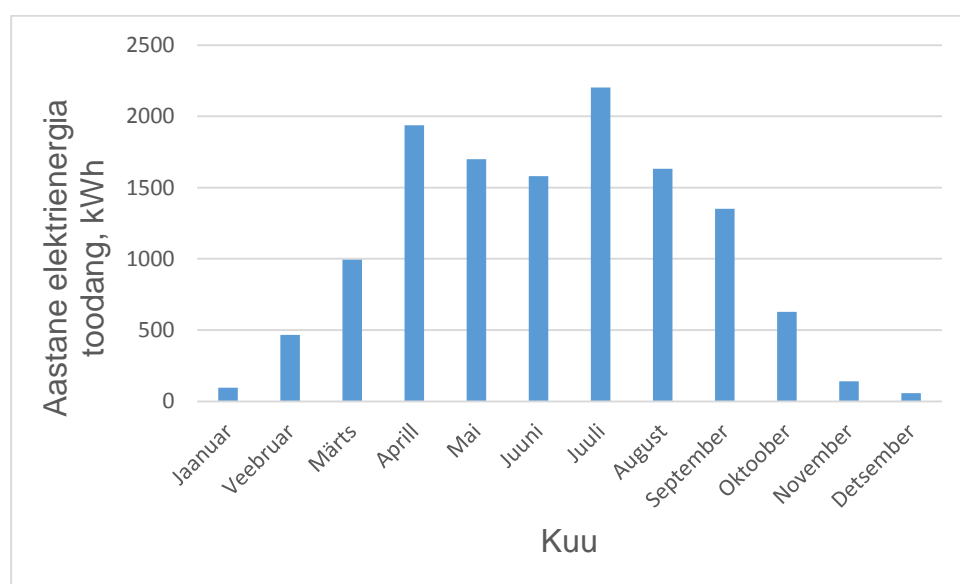
Tuuleandurid kaitsevad süsteemi tuulte ja tormituulte eest, liigutades süsteemi horisontaalsesse asendisse kui andurid registreerivad piisavalt suure tuule kiiruse. Tuuleandur on tavaliselt

kinnitatud masti tippu, et tuvastada tegelik tuule kiirus adekvaatselt kõrguselt. Lõputöös vaadeldava süsteemi puhul rakendub tuuleandur kui tuule kiirus ulatub 12 m/s. Andurina kasutatakse anemomeetrit mis ei registreeri tuulepuhangute korral, vaid rakendub ainult püsiva tugeva tuule korral.

Eelpoolmainitud andurid on tarvilikud et kaitsta trackerit keskkonnamõjude eest. *Tracker*-i mast ja liikuvate osade süsteem on ehitatud nii et kõvade tuulte korral, olles horisontaalasendis, on tegu asendiga kus mootoritele ja käigumehhanismidele mõjuvad kõige väiksemad jõud.

*Tracker*-i mast ja järgiv süsteemi osa on Deger-i toodang, mudel Deger D80, kus D tähistab kaheteljelist järgimist (ingl.k. dual axis). Tuulistesse piirkondadesse pakutakse ka tugevdatud varianti, mille mudelinimes peitub seda tähistav H (ingl. k. heavy duty – rasketesse oludesse). Mudelinimes esinev number 10 näitab ligikaudset mahtu kilovattides, mille ulatuses võimaldab ülesehitus mooduleid paigaldada. Kasutusel on kuivad laagrid kõrge jõudlusega plastikust et säästa liikuvaid osasid. Süsteemi kallutusnurgad  $10^{\circ}$  ...  $90^{\circ}$  pakuvad head võimalust ka järgida päikest päikeseloojangul ja päikesetõusul. Süsteemi saab liigutada ka käsibtsi et teostada hooldustöid.

*Tracker*-i jaoks on rajatud mullavall et tõsta ta maast kõrgemale. Mast koos järgiva süsteemiga kaalub ligikaudu 1150 kg, see raskus eeldab betoonist jalga, ka see peitub mullavallis. Kuigi süsteemi suur raskus ning maasse valatud betoonjaland tekitavad koos tugeva konstruktsiooni, on tuult püüdev pind ikkagi väga suur ning tuuleanduri töö on väga oluline. *Tracker*-i betoonjalandi projekt sisaldus kogu süsteemi joonistes. Süsteemi tehnilistes anmetes on tuule kiiruse tolerantsideks märgitud 102...300 km/h, mis on ligikaudu 28,3...83,3 m/s. Süsteemi tarbimine koos töötavate mootoritega on 18 vatti, ning süsteem tarbib kogu aasta peale ligi 16 kilovatt-tundi.[30]



Joonis 5.8. *Tracker*-i aastane elektri toodang

Tabel 5.3.. *Tracker*-seadmega PV-paneelide aastane elektri toodang

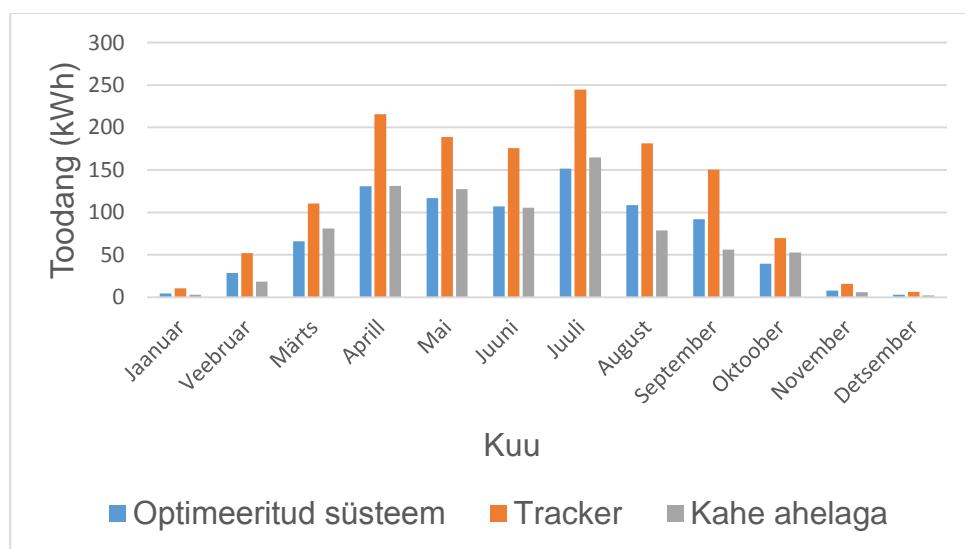
Kuu	<i>Tracker</i> -iga toodang (kWh)
Jaanuar	96
Veebruar	467
Märts	995
Aprill	1939
Mai	1700
Juuni	1580
Juuli	2202
August	1633
September	1352
Oktoober	628
November	141
Detsember	57
<b>Kokku</b>	<b>12790</b>

### 5.3. Konfiguratsioonide võrdlus

Päikesepaneeli süsteemide tasuvusaja arvutamisel on kõige suuremad faktorid süsteemi rajamise kulu, aastane paneelide elektrienergia toodang ning elektri hind. Süsteemi maksumust ja elektrienergia toodangut on võimalik modelleerida, aga elektri hinna kindlat kujunemist on raske prognoosida.

#### 5.3.1. Tasuvusaegade mudel 1

Iga mudelis kasutatud süsteem on erineva võimsusega, seega on taandatud kõikide süsteemide aastased elektrienergia toodangud võimsusühiku peale.



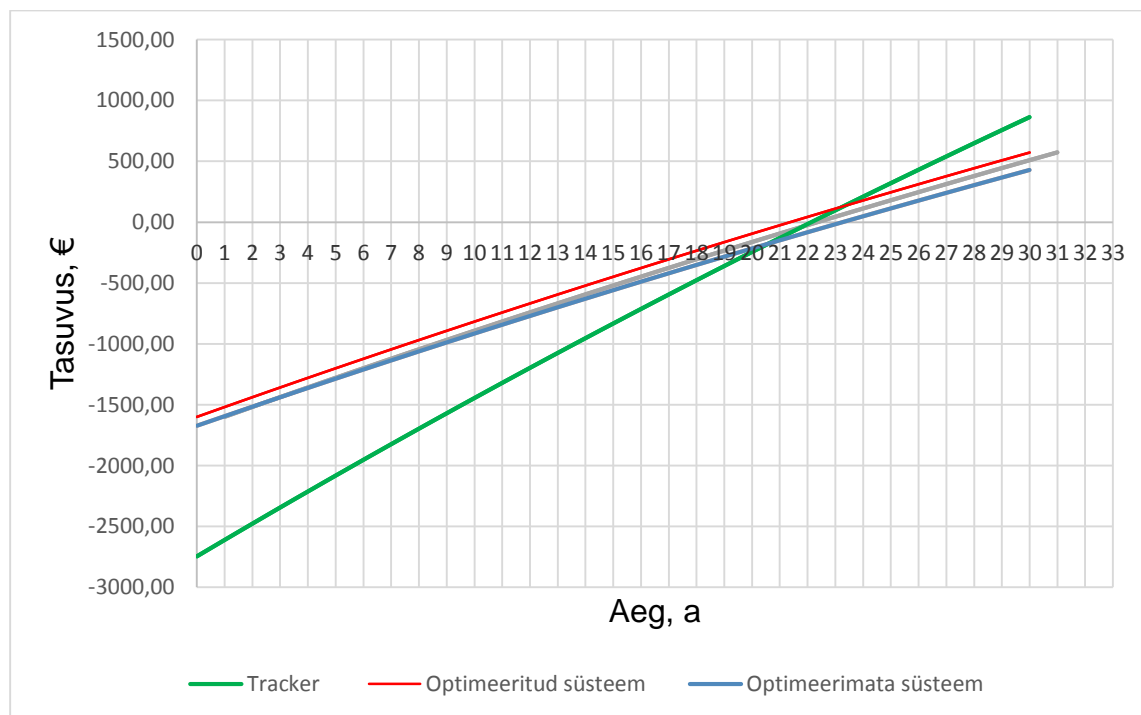
Joonis 5.9. Erinevate konfiguratsioonide energia toodangud võimsusühiku kohta

Tabel 5.4. Erinevate süsteemide parameetrid taandatud võimsusühiku peale

Parameeter	Optimeeritud süsteem	Tracker	Optimeerimata süsteem
Energia tootmine võimsusühiku kohta aastas, kWh	856,16	1421,11	827,52
Hind võimsusühiku kohta, €	1600,00	2744,44	1673,08

Jooniselt 5.9. ja tabelist 5.4. järeldub et päikest jälgiv süsteem omab toodangu mahu osas eelist mõlema fikseeritud süsteemi ees ning seda kõikide kuude lõikes. Optimeeritud süsteemi eelis tuleb esile sügiskuudel, ning mõne korra jääb optimeeritud süsteem ka optimeerimata süsteemile toodangus alla.

Et täpsemalt võrrelda kui efektiivsed eelpoolnimetatud süsteemid on, koostas autor tasuvusaegade tabeli. Selleks on iga süsteemi aastane toodetud elektrienergia hulk jagatud läbi installeeritud võimsusega. Selline tehe annab installeeritud toodangu võimsusühiku kohta. Kui on käes toodang võimsusühiku kohta, on võimalik toodang läbi korrutada elektrienergia müügihinnaga, et leida aastas teenitav tulu. Elektrienergia müügihinnad on võetud Nordpoolspoti kodulehelt ja on viimase viie aasta keskmised. Elektrienergia müügihinnale on lisatud taastuvenergia toetus, mis on Eleringi andmetel 0,0537 €/kWh kohta, kui elektrienergia on toodetud taastuvast energiaallikast, välja arvatud biomassist. Kui nüüd arvestada võimsusühikule taandatud hinda ja liita sellele iga-aastane elektrienergia müügist tulenev sääst, saab koostada joonise 5.10. kus autor võrdleb erinevate konfiguratsioonide tasuvusaegu.

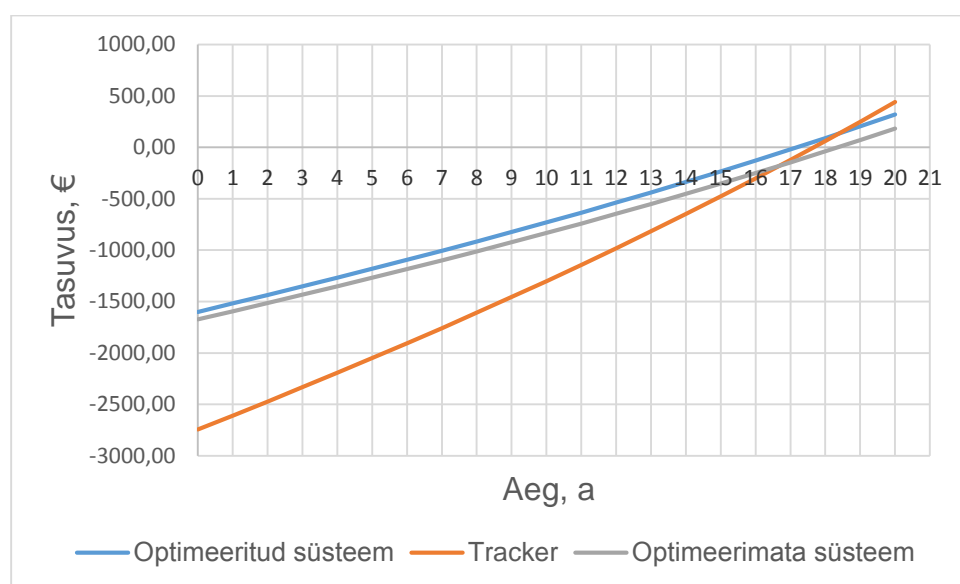


Joonis 5.10. Erinevate konfiguratsioonide tasuvusaegade võrdlus.

Tabel 5.5. Süsteemide võrdlus fikseeritud elektri hinnaga ja elektrit müües

Parameeter	Optimeeritud süsteem	Tracker	Optimeerimata süsteem
Eluiga, a	30	30	30
Tasuvusaeg, a	22	23	24

Eelnev arvutus peab paika kui elektri hind on järgmised 30 aastat püsiv, tabelist 5.7. järeldub et siiani on elektri hind tõusnud aastast 2005 keskmiselt ligikaudu 5% iga aasta. Kui arvestada et elektri hind tõuseb jätkuvalt iga aasta 5%, tuleb arvutustesse viia sisse korrutaja ning selle tulemused on joonisel 5.11.



Joonis 5.11. Süsteemide tasuvusajad elektri hinna iga-aastase tõusuga

Võrreldes jooniseid 5.10. ja 5.11. omavahel, järeldub et kui elektri hind iga aasta tõuseb, vähendab see ka süsteemide tasuvusaegu. Stsenariumi, kus elektri hind tõuseb iga aasta 5% tulemused on välja toodud tabelis 5.6.

Tabel 5.6. Süsteemide tasuvused elektri hinna tõustes elektrit müües

Parameeter	Optimeeritud süsteem	Tracker	Optimeerimata süsteem
Eluiga, a	30	30	30
Tasuvusaeg, a	18	18	19

Tabeleid 5.5. ja 5.6. omavahel võrreldes järeldub et 5% hinna tõus toob kaasa süsteemide tasuvusaegade lühenemise 3 kuni 4 aastat. Lisaks pole tabelis 5.6. välja toodud aastast säästu, kuna see on iga aasta suurenev.

Joonistelt 5.10. ja 5.11. järeldub et kuigi *tracker*-i algmaksumus on pea 2,5 korda suurem kui tavalisel süsteemil, on ka ta toodang suurem kui tavalisel süsteemil nii et tasuvusaeg on sama kui optimeerimata süsteemil. Nii tabelist 5.5. kui ka tabelist 5.6. järeldub et kõik lõputöös esitatud PV-süsteemid on elektrienergiat võrku müües tasuvad oma eluaja jooksul ning teenivad peale tasuvusaja ületamist omanikule majanduslikku tulu. Tasuvusaegade mudelis 1 esitatud süsteemide võrldusel erinevad süsteemide tasuvusaajad vähe ning minimaalselt arvestades ka soetushind on teistest parem optimeeritud süsteem.

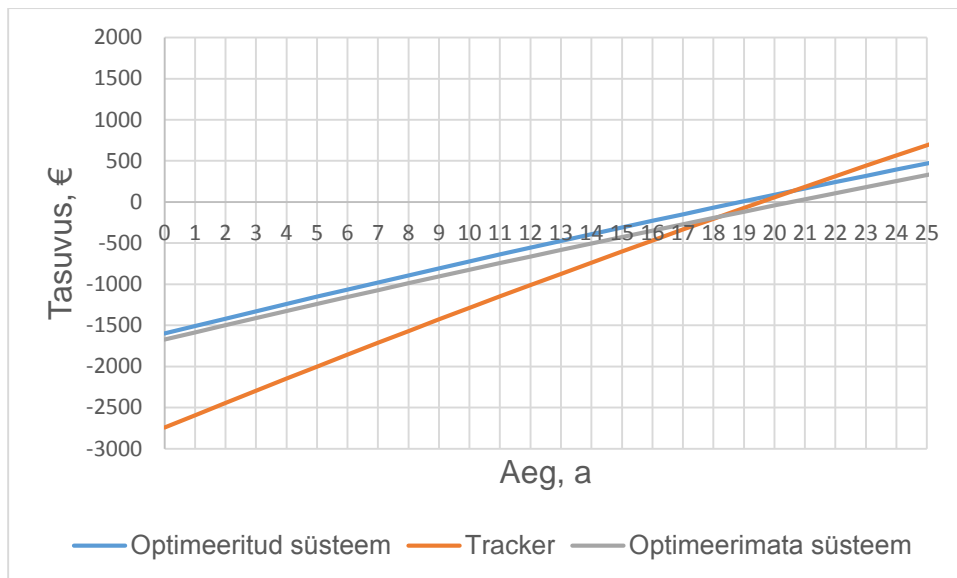
### 5.3.2. Tasuvusaegade mudel 2

Selles alapunktis moodustatakse tasuvusaegade mudel ostmata jäänud elektrienergia arvelt. Oletatakse et süsteemidega on ühendatud tarbija nagu suur büroohoone, mis tarbib ära kogu elektri. Teises tasuvusaja mudelis kasutatakse mikrotootja elektri müügihinna asemel elektritarbija lõpphinda. Elektrienergia lõpptarbija hinna mudel on koostatud võrguettevõtte Elering iga-aastaste statistiliste hindade baasil, kuhu on kaasatud kõik komponendid mis moodustavad elektri hinna.

Tabel 5.7. Elektrienergia lõpphind tarbijale aastast 2005 [22][23]

Nimetus	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	keskmine
Võrguteenus, €/MWh	27,9	27,9	27,9	25,6	26,4	29,1	33	35,4	37,3	36,4	
Taastuenergia tasu, €/MWh				1,9	3,9	8,1	6,1	9,7	8,7	7,7	
Elektriaktsiis, €/MWh				3,2	3,2	4,47	4,47	4,47	4,47	4,47	
Elektrienergia, €/MWh	26,7	26,7	26,7	26,7	28,6	30,7	30,7	30,7	43,2	37,6	
Marginaal, €/MWh									2,4	2,4	
Käibemaks, €/MWh	10,9	10,9	10,9	11,5	12,4	14,47	14,85	16,05	19,208	17,713	
Elektri hind lõpptarbijale, €/MWh	65,5	65,5	65,5	68,9	74,4	86,84	89,12	96,32	115,25	106,277	83,3657

Kasutades tabeli 5.7. andmeid ning korrutades need läbi erinevate konfiguratsioonide võimsusühikule taandatud aastaste toodangutega, koostas lõputöö autor tasuvusaegade tabeli mis kasutab säästu tekkimisel põhimõtet kus kogu toodetud elektrienergia tarbitakse ära ning selle võrra peab võrgust vähem elektrit ostma. Tulemused on toodud tabelis joonisel 5.12. ja tabelis 5.8.

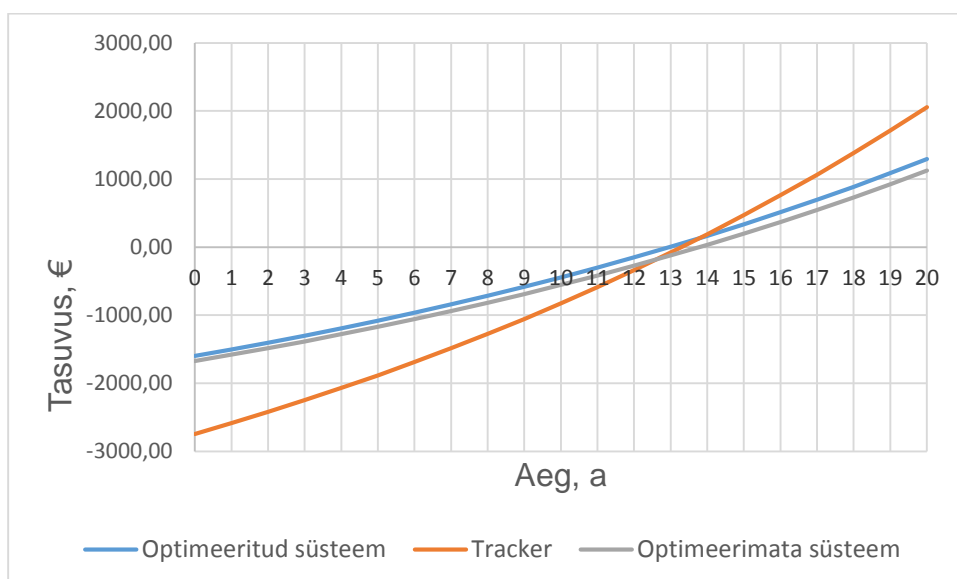


Joonis 5.12. Tasuvusajad elektrit tarbides

Tabel 5.8 Süsteemide tasuvusajad püsiva elektri hinnaga elektrit müües

Parameeter	Optimeeritud süsteem	Tracker	Optimeerimata süsteem
Eluiga, a	30	30	30
Tasuvusaeg, a	19	19	20

Tabelis 5.8. arvestatud tasuvusajad on kehtivad siis, kui elektri hind süsteemi eluea jooksul ei muutu. Tabeli 5.7 andmete põhjal järeldub et viimase 9 aasta jooksul on elektri hind tõusnud keskmiselt 5% iga aasta. Rakendades seda muutujat tasuvusaegade arvutustesse, saab koostada joonise 5.13. ja tabeli 5.9.



Joonis 5.13. Tasuvusajad süsteemi poolt toodetud elektrit tarbides kui elektri hind tõuseb

Tabel 5.9. Süsteemide tasuvusajad tõusva elektri hinnaga elektrit müües

Parameeter	Optimeeritud süsteem	<i>Tracker</i>	Optimeerimata süsteem
Eluiga, a	30	30	30
Tasuvusaeg, a	13	14	14

Kui võrrelda omavahel tabeleid 5.8. ja 5.9., järeldeb et elektri hinna tõustes lühenevad tasuvusajad 5-6 aastat.

Võrreldes tabelit 5.5. tabeliga 5.8. või tabelit 5.6. tabeliga 5.9., selgub kui tarbida kogu elektrienergia ära, selle asemel et seda võrku müüa, on võimalik tekitada suuremat säästu ning seetõttu kiirendada investeeringute tasuvusaegu. *Tracker*.süsteemi suure energiatoodangu poolt tekitatud aastane sääst on küll suurem kui tavalistel süsteemidel, aga kõrge soetumusmaksumus pikendab tasuvusaega.

### 5.3.3. Toodetud elektrienergia omahind

Lisaks tasuvusaegade võrdlemisele, on võimalik võrrelda ka erinevate süsteemide poolt toodetud elektrienergia omahinda. Elektrienergia omahinna leidmiseks kasutab lõputöö autor andmeid nagu süsteemi hind, süsteemi eeldatav eluiga ja aastane toodetud elektrienergia kogus. Süsteemide hinnad on saadud objektide hinnapakumistest või süsteemi omanike käest. Aastane toodetud elektrienergia kogus on võetud inverteri andmetest ja süsteemi eeldatav eluiga tuleneb omanike arvamustest ja osalt ka garantiitingimustest. Mudel on koostatud kasutades põhimõtet et elektrienergiat võrku ei müüda, kõik tarbitakse ära, ning kuna võrku elektrienergiat ei müüda, ei saada ka taastuvenergia tasu.

Optimeeritud süsteem.Süsteemi elueaks prognoosis omanik 30 aastat. Süsteemi hinnaks oli koos käibemaksuga 9600 € ning aastane elektrienergia toodang oli 5136,953 kWh. Kui süsteemil rikkeid ei esine ja komponente vahetama ei pea, kulusid ei esine ning arvestades punktis 5.1.1.1. toodud paneelide kadu (0,8% aastas) oleks 30 aasta jooksul toodetud energia hulk 141534,57 kWh. Kui jagada hind 9600 € läbi 30 aasta jooksul toodetud elektrienergia kogusega, teeb see oma elektri hinnaks 0,069 € kilovatt-tunni eest või 69,81 € megavatt-tunni eest, mis võrreldes tabelis 5.7. olevate andmetega on odavam kui 2014. aasta elektrihind ning odavam kui viimase 9 aasta keskmine elektri hind.

### ***Tracker***

Süsteemi elueaks on prognoositud 30 aastat, aastane elektrienergia toodang aastal 2014 oli 12790 kWh. Eeldades et järgnevad 30 aastat langeb süsteemi toodang 0,8% oleks 30 aasta jooksul

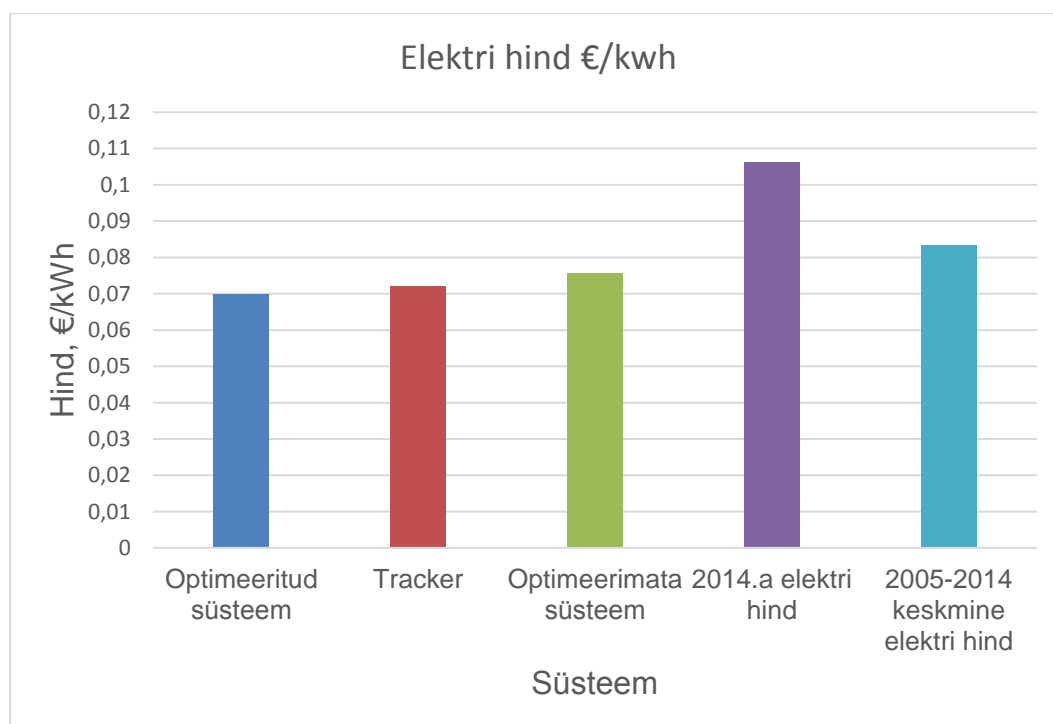


toodetud elektrienergia hulk 352393 kWh. Süsteemi hind on 24700 €, kui jagada hind läbi 30 aasta jooksul eeldatavalt toodetava elektrienergia kogusega, saab *tracker*-i poolt toodetud elektrienergia omahinnaks 0,072 € ühe kWh eest või 72,14 € MWh eest. Võrreldes saadud tulemusi tabelis 5.7. andmetega, järeldub et *tracker*-i elektri omahind on odavam kui aasta 2014 keskmine elektri hind ning lisaks on *tracker*-i poolt toodetud elektrienergia odavam kui viimase 9 aasta keskmine elektri hind.

### Optimeerimata süsteem

Optimeerimata süsteemi hinnaks koos käibemaksuga on 13920 €. Süsteemi lihtsa olemuse tõttu on süsteemil hooldus- ja muud püsikulud minimaalsed. Aastane elektrienergia toodang on 6885 kilovatt-tundi, eeldades et järgneval 30. aastal langeb toodang aastas 0,8%, oleks süsteemi toodanguks 30 aasta jooksul kokku 189697 kilovatt-tundi. Kui süsteemi hind jagada süsteemi eluea jooksul toodetud elektrienergiaga, saab et süsteemi poolt toodetud elektrienergia omahind on 0,075 € kilovatt-tunni eest või 75,52 € megavatt-tunni eest.

Kui eelpool toodud süsteemide elektrienergia omahinnad lisada võrdlusesse koos tabelist 5.7. võetud andmetega, koostas autor joonise 5.14. kus võrreldakse erinevate süsteemide omahindu võrgu hindadega. PV-süsteemide kao puhul on arvestatud keskmisi garantiitingimusi, mis sätestavad et 25 aasta möödudes on tagatud 80% toodangust, see teeb kaoks 0,8%.



Joonis 5.14. Elektri omahinna võrdlus

Jooniselt 5.3.3.1. on näha et kõikide päikesepaneeli süsteemide elektri omahinnad on odavamad kui võrgust ostetud elektrienergia hinnad. Kõikide päikesepaneeli süsteemide poolt toodetud elektri omahinnad on sarnased ja jäävad 0,069 ja 0,076 €/kWh vahele. *Tracker*-i kõrge soetusmaksumuse teeb tasa tema suur efektiivsus ja energia toodang.

#### 5.4. Võrdlus välismaiste süsteemidega

Võrdluseks välismaiste süsteemidega kasutas autor kahte uuringut: Türgis läbi viidud kohalike teadlaste Ali Şentürk ja Rustu Eke uuringut kus võrreldi kahe teljega päikest järgiva süsteemi toodangut fikseeritud süsteemiga.[32] Lisaks kasutas autor Kanada *Lakeland*-i ülikooli uuringut, kus Kanadas võrreldi päikest järgiva süsteemi toodangut maapinnal asuvasse raamidesse paigaldatud paneelidega.[33]

Esimesest uuringus kasutati kaht 7,9 kW võimsusega paigaldist, millest paigalolev oli fikseeritud 28 kraadise kaldenurgaga, teine süsteem oli asimuut-kõrgust järgiv süsteem. Fikseeritud süsteemi aastane tootlikkus oli 1459 kWh võimsusühiku kohta, toodanguga 11,53 MWh. Päikest järgiva süsteemi tootlikkus oli 1908 kWh võimsusühiku kohta, toodanguga 15,07 MWh. Arvestades kõiki kadusid on nende kahe süsteemi toodangute vaheks uuringut läbi viinud teadlaste andmetel ligikaudu 30,79% mis on mõnevõrra vähem kui antud lõputöös. [32]

Kanada ülikooli uuringus kasutati kaht 5 kW võimsusega süsteemi. Paigalolev süsteem oli maapinnale fikseeritud kaldenurgaga 53 kraadi ja suunatud lõunasse. Teine süsteem oli kahe teljega sensoritega päikest järgiv süsteem. Aastase perioodi vältel tootis fikseeritud süsteem energiat 7,67 MWh, mis teeb tootlikkuseks 1553 kWh võimsusühiku kohta ning päikest järgiv süsteem tootis aasta jooksul 10,1 MWh mis teeb tootlikkuseks 2020 kWh võimsusühiku kohta. Arvestades kadusid ja *tracker*-i omatarvet arvutasid teadlased süsteemide vaheks 31%. [33]

Lõputöö autori kasutatud süsteemide võimsused ning konfiguratsioonid on nii erinevad et süsteemide võrdlemiseks tuleb kasutada võimsusühikule taandatud energia tootmise andmeid mis on toodud tabelis 5.4., sealt järeldub et antud parameetrid on järgmised: Optimeeritud süsteemi tootlikkus 856,16 kWh võimsusühiku kohta, *Tracker* 1421,11 kWh võimsusühiku kohta ning Optimeerimata süsteem 827,52 kWh võimsusühiku kohta. Ning antud andmetest võib järeldada et *Tracker* toodab optimeeritud süsteemist võimsusühiku kohta rohkem 39,8 % ning optimeerimata süsteemist 41,8 %

Võrreldes saadud tulemusi teiste maade uurimustöödega, leidis autor, et lõputöös kasutatud konfiguratsioonide vahel on päikest järgiva süsteemi efektiivsus suurem kui fikseeritud süsteemidel, lisaks on suurem võimsusühiku kohta tootlikkuse vahe.

Konfiguratsioonide tootlikkuste vahe võib tulla sellest et katsed on tehtud niivõrd erineval laiuskraadil kus maapinnale langev kiirgusintensiivsus on Eesti kiirgusintensiivsusest erinev. [34] Lisaks võib vahe tuleneda sellest et antud lõputöös kajastatud *tracker*-i süsteemis on kasutatud monokristalseid paneele ja fikseeritud süsteemis polükristalseid, lisaks võib vahe seisneda selles et *tracker* kallutab automaatselt lume maha, mida fikseeritud süsteem ei tee.

Erinevus välisautorite andmetega võib tulla ka sellest, et antud töös ei arvestatud *tracker*-süsteemi käitamiseks kasutatud elektri kulu, sest seda ei olnud uuritavatel objektidel võimalik eraldi mõõta.

## 6. MAGISTRITÖÖ KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli võrrelda erinevate päikesepaneelisüsteemide konfiguratsioone nende majanduslike kui ka tehniliste näitude põhjal. Lõputöö ajendiks oli autori soov uurida milline neist süsteemidest on majanduslikult ning tehniliselt kõige mõistlikum.

Eesmärkide saavutamiseks võttis autor ühendust erinevate PV-süsteeme pakkuvate firmadega ja küsis neilt andmeid juba töös olevatele seadmetele, lisaks sai autor andmeid ka süsteemide kasutajatelt. Autor töötles saadud andmeid, viies nad üksteisega võrreldavale kujule ning lisas hinnakomponendid et võrrelda süsteeme ka majanduslikust aspektist. Võrdluse tegemiseks on autor lisanud ülevaated alates süsteemi komponentidest kuni nende konfiguratsioonideni.

Magistritöös järeldeb et tasuvusaeg sõltub kolmest asjast: süsteemi elektrienergia toodang, süsteemi investeringu maksumus koos püsi- ja muutuvkuludega ja elektrienergia hind. Kuna püsikulud (pesemine, hooldus) on väga väikesed, siis antud töös neid ei arvestatud, kuna need ei avalda tasuvusajale suurt mõju, lisaks on antud mudelites fikseeritud aastane elektrienergia tootmine, mida on võimalik statistiliselt andmeid kogudes järjest täpsemaks saada. Mida on raske ette ennustada on elektri hind, kuna taastuvenergiaseadmed on saamas üha populaarsemaks, suureneb järjest taastuvelektri osakaal ka Eesti elektrivõrgus. Antud seisuga makstakse mikrotootjatele iga taastuvast energiaallikast (biomassist koostootmise režiimil toodetud elektrienergia läheb koostootmise režiimi toetuse alla [30] toodetud võimsusühikule taastuvenergia toetust 0,057 € kilovatt-tunni eest. Mida rohkem taastuvenergia toetust tootjatele makstakse, seda rohkem nõutakse seda tavatarbija käest tagasi. Järgmine hinda mõjutav komponent on järjest karmistuvad Euroopa regulatsioonid kütustele, mis sunnivad tootjaid järjest uuendama oma seadmeid ning väga vanad ja keskkonda saastavad seadmed muutuvad utiliiks, mis omakorda tekitab vajaduse uute seadmete järgi. Arvestades eelpool mainitud punkte võib väita et elektri hind jätkab tõusu ka edaspidi. Mida rohkem tõuseb elektri hind, seda suurem kasu on taastuvast energiaallikast elektri tootjal, sest tema elektri omahind püsib suhteliselt muutumatu, ning vahe tavatarbija elektri hinnaga aina kasvab, mis vähendab järjest ka investeringu tasuvusaega. Lõputöös selgub et majanduslikult kasumlikum on tarbida enda toodetud elekter ise ära, ning kui elektri omahind püsib soodne ja elektri hind üha tõuseb, kasvab järjest ka tekkiv sääst. Lõputööst järeldeb et parima ostuhinna-tasuvuse suhtega on optimeeritud PV-süsteem. Optimeeritud süsteemi heaks küljeks on varjude tekitatud kadude madalal hoidmine ning ligikaudu sama sarnane hind kui optimeerimata süsteemil. Ainus eelis optimeeritud süsteemil *tracker*-iga süsteemi ees on odavam võimsusühiku hind. Võimsusühiku kohta toodab *tracker* teistest süsteemidest rohkem kui 35% rohkem. Süsteemidest kõige väiksem tootlikkus võimsusühiku peale ning kõige suurem elektrienergia omahind on optimeerimata süsteemil. Kuigi selle süsteemi

tootlikkus võimsusühiku on optimeeritud süsteemist alla 5% väiksem, ning tasuvusaeg on kuni kaks aastat pikem, on ka selle süsteemi korral tegu tasuva investeeringuga.

Võrreldes tulemusi välismaistele süsteemidega, on antud lõputöös saadud süsteemide tootlikkused väiksemad ning järgiva süsteemi tootlikkuse vahed fikseeritud süsteemidega suuremad. See võib tuleneda väiksemast kiirgusintensiivsusest, mida tekitab näiteks pilvine ilm, lisaks võib suurem vahe tuleneda sellest et järgiv süsteem kallutab automaatselt lume maha ning on võimeline energiat edasi tootma. Ning vahe võib seisneda selles et järgival süsteemil on kasutusel suurema efektiivsusega monokristalsed paneelid võrreldes fikseeritud süsteemi puhul kasutusel olevate polükristalsete paneelidega.

Kui antud teemat edasi uurida, võiks lisada võrdlusesse veel erinevaid tehnoloogiaid, näiteks nagu katusesse integreeritud paneelide võrdlus teiste süsteemidega. Eestis on katusesse integreeritud paneelide levik veel nii vähelevinud süsteem, et puuduvad piisavad tootmisandmed. Uuringule lisaks täpsust mitme aasta toodangu info, mis oleks statistika mõttes hea ning omakorda veel täpsemaks muudaks uuringu, kui kasutusel oleks püranomeetritega paneelid, mis mõõdavad ka neile langevat päikesekiirgust.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- 1) Catarius, A., „Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracker“  
Worcester polytechnic institute, 16 Detsember 2010
- 2) Poulek, V., Libra, M. „A Very Simple Solar tracker for Space and Terrestrial Applications“. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2009. Leheküljed 99-101.
- 3) Roth, P., Georgiev, A., Boudinov, H.. „Cheap two Axis sun Following Device“. Energy Conversion and Management. 2005. Lehekülg 1180.
- 4) Eseosa, O., Roland, U., „Design and Simulation of Solar Monitoring Tracking System“., IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)., Electrical/Electronic Engineering, Faculty of Engineering University of Port Harcourt, Rivers State
- 5) Xinhong, Z.,; Zongxian, W., Zhengda, Y., „Intelligent Solar Tracking Control“., Institute of Electrical Engineering, Yuan Ze University.,2007
- 6) Lane, B., „Solar Tracker“., Department of Electrical and Computer Engineering;Cleveland State University;Cleveland, Ohio.; 2008
- 7) Papalias,T.A.; Wong, M., “Making sense of light sensors,”., EE Times-India., 2006.,
- 8) Condit, R., Jones, D. W., „Stepping motor fundamentals,” Microchip Inc. Publication AN907., 2004., lehekülg 22.,
- 9) Donoff, E., „Tools for Daylighting Studies“., Architectural Lighting märtsi number 2009
- 10) Nordpoolspot kodulehekül [WWW] <http://www.nordpoolspot.com>
- 11) Dunmore Inc., „Solar backsheet“.,[WWW] <http://www.dunmore.com/products/solar-backsheet.html>
- 12) Bridgestone., „What’s Evasky ?“., [WWW] [http://www.bridgestone.com/products/diversified/evasky/whats\\_evasky.html](http://www.bridgestone.com/products/diversified/evasky/whats_evasky.html)
- 13) Knier,G., „How do photovoltaics work?“., „The edge of sunshine“., Nasa 2002., [WWW] <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>
- 14) U.S. Department of Energy., „Multijunction III-V photovoltaics research“., [WWW] <http://energy.gov/eere/sunshot/multijunction-iii-v-photovoltaics-research>
- 15) Apricus Inc., „Flat plate solar collectors“., [WWW] <http://www.apricus.com/flat-plate-solar-collectors-3/#.VQbRGo6sWzY>

- 16) Heliodyne Inc., "Solar Flat Plate vs. Evacuated Tube Collectors" [WWW]  
<http://eventhorizonsolar.com/pdf/FlatvsEvac.pdf>
- 17) Trinkl, C; Zörner, W., Alt, C., Stadler, C., „Performance of Vacuum Tube and Flat Plate Collectors Concerning Domestic Hot Water Preparation and Room Heating“, Ingolstadt University of Applied Sciences., European Solar Thermal Energy Conference 2005., 2005 [WWW]  
[http://www.thermodynamics.com/pdffiles/technical/Solar\\_Performane\\_VTvsLFP.pdf](http://www.thermodynamics.com/pdffiles/technical/Solar_Performane_VTvsLFP.pdf)
- 18) Apricus Inc., „Evacuated tube solar collectors“, [WWW]  
[http://www.apricus.com/html/solar\\_collector.htm#.VQbJro6sWzY](http://www.apricus.com/html/solar_collector.htm#.VQbJro6sWzY)
- 19) "Solar collectors: Different types and fields of application" [WWW]  
<http://www.solarserver.com/knowledge/basic-knowledge/solar-collectors.html>
- 20) Solar facts and advice koduleht [WWW] <http://www.solar-facts-and-advice.com>
- 21) Soletek OÜ koduleht., „Lamekollektorid“, [WWW]  
<http://www.soletek.eu/Lamekollektorid>
- 22) Uiga Jaanus., „Elektri hind lõpptarbijale“, Enmak 2030., [WWW]  
[http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Arutelu:Elektri\\_hind\\_1%C3%B5pptarbijale](http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Arutelu:Elektri_hind_1%C3%B5pptarbijale)
- 23) Elektrilevi koduleht [WWW] <https://www.elektrilevi.ee/et/hind>
- 24) Tomson, T., „Helioenergeetika“, Humare., Tallinn 2000
- 25) Risthein, E., „Energiatehnika ja maailm“, TTÜ kirjastus., Tallinn 2013
- 26) Risthein, E., „Sissejuhatus energiatehnikasse“, Elektriajam., Tallinn 2007
- 27) U.S. Department of Energy., „Planning a home solar system“ 15.07.12., [WWW]  
<http://energy.gov/energysaver/articles/planning-home-solar-electric-system>
- 28) Taastuenergia OÜ., „Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine PVGIS andmebaasi abil“ [WWW] <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine-pvgis.html>
- 29) Solaredge koduleht [WWW] <http://www.solaredge.com>
- 30) Eleringi koduleht [WWW] <http://www.elering.ee>
- 31) Degeri koduleht [WWW] <http://www.deger.com>
- 32) Şentürk, A.; Eke, R., „Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system“, Mugla Sıtkı Kocman University., 07/2012 [WWW]  
[http://www.researchgate.net/publication/236969054\\_Performance\\_comparison\\_of\\_a\\_double-axis\\_sun\\_tracking\\_versus\\_fixed\\_PV\\_system](http://www.researchgate.net/publication/236969054_Performance_comparison_of_a_double-axis_sun_tracking_versus_fixed_PV_system)

- 33) Lakeland College of Applied Research., "Tracked vs fixed solar panels" 23.05.2014  
[WWW] [http://www.lakelandcollege.ca/applied-research/projects/findings/\\_articles/findings04051401.aspx](http://www.lakelandcollege.ca/applied-research/projects/findings/_articles/findings04051401.aspx)
- 34) SolarGIS koduleht [WWW] <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>



## Lisa 1: Hinnapakumine optimeerimata süsteemile

Bestor Grupp AS  
Valdeku 168  
11217 Tallinn  
Reg.nr. 10433846  
KMKR: (VAT) EE100182763

Raku Maja  
Valdeku 168 Tallinn



### PAKKUMINE

Täname hinnapäringu eest ja esitame pakkumise ON-GRID 8 kW PV jaamale

Nr	Nimetus	Ühik	Kogus	Hind	Kokku
1	Päikesepaneelid TrinaSolar 260W polü (19936/992/45)	tk	32	175	5 600,00
2	Inveter StecaGrid8000+ 3 faasi	tk	1	1437	1 437,00
3	DC ahla kilp LiigpingepiirikTYP2, sulavkaitse 960V	tk	1	560	560,00
4	DC kaabel 4 mm2 130 jm + ühendused jms	kompl	1	240	240,00
5	Maanduskaabel 6 mm2 + kaablikingad	jm	150	0,75	112,50
6	Paigaldusraamid alumiinium	kompl	1	740	740,00
7	Paigaldus: paneelid + raamid	kompl	1	590	590,00
8	DC ahela elektritööd	objekt	1	260	260,00
9	Transport	objekt	1	80	80,00
				Kokku	9 619,50
				Käibemaks 20%	1 923,90
				Summa	11 543,40

### Garantii

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

[info@tipsolar.ee](mailto:info@tipsolar.ee) tel.

56641306 Bestor

Grupp AS

Valdeku 168, Tallinn

Tel: +372 610 7900

Fax: +372 610 7901

[bestor@bestor.ee](mailto:bestor@bestor.ee)

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

A/a 17000390266  
Nordea Pank 801  
IBAN: EE83 1700 0170 0039 0266  
SWIFT (BIC): NDEAEE2X

# MIKROTOOTJA LIITUMISTAOTLUS

NR: \_\_\_\_\_



## A osa

### TAOTLUSE ESITAJA

EES- JA PEREKONNANIMI / ÄRINIMI		ISIKU- VÕI REGISTRIKOOD
KONTAKTAADDRESS (TÄNAV, MAJA, KORTER, TALU, LINN, VALD, MAAKOND, SIHTNUMBER)		
KONTAKTTELEFON	E-POST	
ESINDAJA EES- JA PEREKONNANIMI	ESINDAMISE ALUS <input type="checkbox"/> amet <input type="checkbox"/> volikiri	
ESINDAJA TELEFON	ESINDAJA E-POST	

### LIITUMISPUNKTI ASUKOHT

OBJEKTI ADDRESS (TÄNAV, MAJA, KORTER, TALU, LINN, VALD, MAAKOND)		
KATASTRILÜKSUSE NIMI	KATASTRITUNNUS	
Liitumispunkti esialgse, kliendi poolt soovitud asukoha koordinaadid L-EST'92 süsteemis	x	y

### OLEMASOLEVA VÕRGUÜHENDUSE ANDMED (uue liitumise korral ei täideta)

Olemasoleva võrguühenduse läbilaskevõime (peakaitse)	A
Olemasoleva mikrotootmiseseadmete summaarne nimivõimsus	kW

### SOOVITAVA VÕRGUÜHENDUSE ANDMED

Soovitud summaarne tootmisvõimsus*	kW
Soovitud võrguühenduse läbilaskevõime (peakaitse)**	A

\* võrku ühendatavate ja olemasolevate mikrotootmiseseadmete summaarne nimivõimsus võib olla kuni 11 kW (3x16A)

\*\* täita juhul kui lisaks tootmiseseadmete liitmisele soovitakse muuta ka peakaitset

### LISAD

<input type="checkbox"/> Volikiri
<input type="checkbox"/> Äriregistri registrikaardi koopia (äriklient)

Tellimuse täitmise soovitud tähtaeg	
-------------------------------------	--

### TAOTLUSE ESITAJA

### TAOTLUSE VASTUVÕTJA

NIMI JA ALLKIRI	NIMI JA ALLKIRI
KUUPÄEV	KUUPÄEV

Taotlusele vastame hiljemalt 30 päeva jooksul alates taotluse esitamise päevast.

### KONTAKTANDMED (täidab Eesti Energia AS või Elektrilevi OÜ töötaja)

KLIENDITEENINDUSE ADDRESS	
KLIENDITEENINDUSE TELEFON	E-POST info@elektrilevi.ee
KLIENDI ID	MOOTEPUNKTI ID (EIC)

**B osa**

**MIKROTOOTMISSEADMETE TEHNILISED ANDMED**

	Inverter 1	Inverter 2	Inverter 3
Inverteri valmistaja ja mudel*			
Inverteri nimivõimsus, kW			
Faaside arv			
Inverteriga ühendatud genereeriva seadme tüüp (hüdroturbiin, elektrituulik, päikesepaneelid vms.)			
Genereeriva seadme valmistaja ja mudel			
Genereerivate seadmete summaarne nimivõimsus, kW			
Genereerivate seadmete arv			

\* Inverteri mudel peab olema valitud Elektrilevi OÜ poolt kodulehel avaldatud nimekirjast. Kui soovitud mudel nimekirjast puudub tuleb soovitud inverteri kohta esitada vastavusdeklaratsioon standardile EN 50438 ning tüübikatsetuste protokoll.

**LISA:**

Mikrotootmiseseadme elektriline põhimõtteskeem kuni liitumispunktini.