



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Energiatehnoloogia instituut

PÄIKESEPANEELIDE KASUTAMISE MAJANDUSLIKU  
OTSTARBEKUSE VÕRDLUS ERINEVATELE TARBIJATELE  
EESTIS

SOLAR PANEL ECONOMIC PROFITABILITY COMPARISON FOR DIFFERENT  
CONSUMERS IN ESTONIA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mihkel Rehepapp

Üliõpilaskood: 163143MASM

Juhendaja: Eduard Latõšov

Tallinn, 2018

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“.....” ..... 201.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# Energiatehnoloogia instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Mihkel Rehepapp, 163143MASM

**Õppekava, peeriala:** MASM02/15, Soojusenergeetika

**Juhendaja(d):** Dotsent Eduard Latõšov, 6203908

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) PÄIKESEPANEELIDE KASUTAMISE MAJANDUSLIKU OTSTARBEKUSE VÕRDLUS ERINEVATELE TARBIJATELE EESTIS

(inglise keeles) SOLAR PANEL ECONOMIC PROFITABILITY COMPARISON FOR DIFFERENT CONSUMERS IN ESTONIA

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Analüüsida päikesepaneelide paigaldamise tasuvust erinevatele tarbijatele.
2. Teostada tundlikkusanalüüs päikesepaneelide tasuvusele.

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Uurida tarbijate vahelisi erinevusi ja päikesepaneeli tootlikkust mõjutavaid tegureid	29.03
2.	Uurida PV süsteemide hindu tasuvuse arvutamiseks	3.05
3.	Teostada tasuvus- ja tundlikkusanalüüs kõikidele tarbijatele	10.05
4.	Saadud tulemuste analüüsimine	21.05

**Töö keel:** ..... **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." .....201....a

**Üliõpilane:** ..... "....." .....201....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... "....." .....201....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA.....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. TARBIJATE ISELOOMUSTUS.....	10
1.1 Tarbijate liigitus.....	10
1.2 Tarbijate erinevused.....	10
1.2.1 Tootmise eesmärgid.....	10
1.2.2 Tarbimise omapärad .....	11
1.2.3 PV süsteemi paigaldus.....	12
1.2.4 Elektri jaama mahud ja hinnangulised maksumused.....	12
1.2.5 Eeldused PV süsteemi rajamiseks .....	13
1.3 Tarbijate kokkuvõtlik iseloomustus.....	14
2. PÄIKESEENERGIA POTENTSIAAL EESTIS JA PANEELIDE TOODANGUT MÕJUTAVAD TEGURID	15
2.1 Päikeseenergia potentsiaal Eestis võrreldes Saksamaaga .....	15
2.2 Päikesepaneelide optimaalne paigaldamine ja selle mõju paneelidele langevale päikese kiirguse hulgale .....	16
2.2.1 Päikesepaneelidele langeva energiahulga sõltuvus asimuudist .....	17
2.2.2 Päikesepaneelide langeva energiahulga sõltuvus paigaldusnurgast .....	18
2.2.3 Paigaldusmeetodid, nende nurgad ja mõjud paneelide tootlikkusele.....	19
2.3 Muud päikesepaneelide kasutegurit mõjutavad tegurid.....	21
2.3.1 Päikesepaneelide efektiivsuse sõltuvus temperatuurist.....	21
2.3.2 Kasuteguri muutus ajas .....	22
2.3.3 Päikesepaneeli pinnal oleva mustuse ja lume mõju .....	22
2.3.4 Varjude mõju.....	23
3. PV SÜSTEEMI OSAD JA MAKSUMUSED .....	25
3.1 Päikesepaneelid.....	25
3.2 Inverterid.....	27

3.3	Paigaldus .....	28
3.3.1	Paigaldusviisid ja nende mõju süsteemi maksumusele .....	28
3.3.2	Paigaldustöö maksumus.....	29
3.4	Muud kulud .....	29
3.5	Süsteemi maksumused erinevatele tarbijatele.....	30
3.5.1	Väiketarbijad .....	30
3.5.2	Kesktaarbijad.....	31
3.5.3	Suurtootjad.....	32
4.	TASUVUSANALÜÜS.....	33
4.1	Elektri ostu- ja müügihind .....	33
4.1.1	Elektri ostuhind .....	34
4.1.2	Elektri müügihind .....	35
4.2	Investeeringute tasuvusanalüüs standardtingimustel .....	37
4.2.1	Väiketarbija .....	37
4.2.2	Kesktaarbija .....	39
4.2.3	Suurtootja.....	41
4.3	Tundlikkusanalüüs.....	42
4.3.1	Omatarbimise mõju.....	43
4.3.2	Süsteemi maksumuse muutumine.....	43
4.3.3	Elektri hinna ja taastuenergia toetuse mõju .....	44
4.3.4	Paigalduse mõju .....	46
4.4	Tasuvusanalüüsi järeldused .....	48
	KOKKUVÕTE .....	50
	SUMMARY .....	52
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	54
	LISAD .....	58
	Lisa 1. Optimaalselt paigaldatud päikesepaneelide ruutmeetrile langev päikeseenergia hulk Eestis ja Saksamaal kuude lõikes.....	59

Lisa 2. Päikesepaneelidele langeva päikeseenergia hulk erinevate paigaldussuundade juures. .....	60
Lisa 3. Päikesepaneelidele langeva päikeseenergia hulk erinevate paigaldusnurkade juures	61
Lisa 4. PV süsteemi näidispakkumine ettevõttest Taastuenergia OÜ .....	62
Lisa 5. Taastuenergia OÜ pakkumine erinevatele paigaldusviisidele.....	64
Lisa 6. Väiketarbijate PV süsteemide hinnad erinevatelt pakkujatelt.....	65
Lisa 7. Elektri ostuhinnad komponentide kaupa erinevatele tarbijatele (€/kWh).....	66
Lisa 8. Elektri keskmised päevased börsihinnad koos marginaalidega 2017. mai kuni 2018. aprill .....	67
Lisa 9. Rahavoo tabel erinevatele tarbijatele.....	68

## EESSÕNA

Lõputöö teostus juhendaja ja autori koostöö tulemusel. Autoril oli huvi taastuenergeetika ning eriti päikeseenergia vastu, kuid sellele vaatamata puudus kindel väljund vastava töö tegemiseks. Lisaks taastuenergeetikale pakub autorile huvi ka tasuvusanalüüside tegemine, mistõttu sai juhendajaga valitud vastav teema. Tulemuseks on käesolev magistritöö.

Lisaks juhendajale olid abiks erinevad päikesepaneelide pakkujad, kes olid valmis andma ja jagama nõu, tarkust ja kogemust seoses paneelide müügiga. Isiklik tänu kuulub ka Priidik Kant'le ja juhendajale, kes olid suureks abiks töö koostamisel.

Eriline tänu kuulub aga autori abikaasale, kes oli kogu kirjutamise vältel igati toeks nii nõu kui jõuga.

## SISSEJUHATUS

Viimaste sajandite jooksul on avastatud palju erinevaid energeetilise väärtusega maavarasid, mida kasutatakse masinate kütusteks, elektri tootmiseks või muul moel energeetiliste vajaduste katmiseks. Maa elanikkond on sõltumas ligi 90% ulatuses taastumatutest energiaallikatest, milleks on peamiselt nafta, kivisüsi, maagaas ja tuumaenergia. Arvestades, et kõik eelnimetatud maavarad ei ole lõputud ning saavad millalgi otsa, on vajalik mõelda tuleviku peale. 2017. aasta statistika järgi toodetakse globaalsest primaarenergiast umbes 8% hüdroenergia ja alla 5% muude taastuvenergiaallikate abil. Selleks, et taastumatute maavarade lõppemisel tekkivat katastroofi vältida, tuleb juba praegu mõelda taastuvenergiaallikatest toodetud elektrienergia osakaalu suurendamisele, eesmärgiga sõltuda vähem taastumatutest energiaallikatest. [1]

Kui võrrelda aastas maapinnale langevat energiahulka olemasolevatest maavaradest saadava energiahulgaga, on päikeseenergia hulk umbes 100 korda suurem. Kogu maailma 2015. aasta elektrienergia vajaduse täitmiseks oleks olnud vaja vaid 1,2% Sahara kõrbe pindalast täita päikesepaneelidega. Need arvud näitavad, milline potentsiaal on päikeseenergial. Kuigi päikesepaneelide paigaldamine on muutumas aina populaarsemaks, on siiski veel nende osakaal kogu energiamajandusest väike. Antud töö raames on päikesepaneelide (PV) all silmas peetud just elektrilisi päikesepaneele. PV süsteemi all on mõeldud elektrilistest päikesepaneelidest elektrit genereerivat süsteemi tervikuna. [2], [3]

Eurostatsi andmetel oli Eesti 2015. aastal taastuvenergiaallikatest sõltuv 15,1% ulatuses. Arvestades, et 2008. aastal oli sama näitaja 2,1%, on kasv olnud suur. 2016. aasta Eesti taastuvenergia aastaraamatu järgi oli taastuvenergiaallikaid paigaldatud 456,59 MW ulatuses, millest 309,96 MW oli tuuleenergia, 118,65 MW biomass, 17 MW jäätmed, 10,56 MW biogaas, 11,04 MW päike ja 7,3 MW hüdroenergia. Arvestades päikeseenergia potentsiaali, on võimalik päikesepaneelidest toodetava elektrienergia osakaalu oluliselt suurendada. Viimaste aastate kasv on olnud märkimisväärne, kuna 2011. aastal oli paigaldatud vaid 0,2 MW ulatuses PV süsteeme võrreldes 2016. aastaga (11,04 MW). Lisaks kui 2015. aastal toodeti päikesest elektrienergiat 1,5 GWh elektrivõrku, siis 2016. aastal see näitaja kahekordistus, ehk võrku toodeti 3 GWh elektrienergiat. Siiski on see kogu Eesti energiamajandusest väga väike osa ja võimalused selle suurendamiseks on realistlikud. Globaalselt jätkusuutliku energiamajanduse loomiseks saab ka Eesti panuse anda läbi päikesest tuleneva energeetilise potentsiaali ära kasutamise. [4], [5]



Meediast lugedes ja ka igapäevaselt inimestega suheldes on autorile jäänud mulje, et üldsuse jaoks ei ole päikesepaneelid tasuvad ja ei too algselt investeeritud summat tagasi. Kahtlus on õigustatud, kuna veel kümneid aastaid tagasi olid paneelide hinnad piisavalt kallid ja Eesti vähese päikeseenergia juures ei olnud paigaldamine õigustatud. Lisaks ei olnud ka riigi poolt toetusi määratud selle edendamiseks. Kuid päikesepaneelide hinna langus on olnud kõikidest ennustustest kiirem ja hetkel on jõudnud hinnapunkt sellisesse suurusjärku, kus on ka Eestis paigaldamine kasumlik. Kuigi Eestis on uuritud tasuvust, siis näeb autor ka vajalikuks teostada majandusliku otstarbekuse analüüs erinevate tarbijate võrdluses. Päikesepaneelide müüjatel on mitmeid sihtgrupe, kellele PV paneele müüa. Antud töö raames on ülesandeks võrrelda erinevaid tarbijagruppe, nende majanduslikku tasuvust ja tasuvuse sõltuvust erinevate tegurite muutumisel.

Magistritöö sisu koosneb neljast osast. Esiteks võrreldakse erinevate tarbijate eripärasid seoses omatarbimise osakaaluga, tootmise eesmärkidega, paigalduse eripäradega ning ka mahtude ja hindadega. Teiseks tuuakse välja päikesepaneelide kasutegurit mõjutavad tegurid ja nende mõju tootlikkusele. Nende seas tootlikkuse sõltuvus paigaldusest, varjutuse mõjust, paneelil olevast mustusest ja lumest, välitemperatuurist ja ka ajas vähenevast paneelide efektiivsusest. Kolmandaks uuritakse kogu PV süsteemi paigaldamise maksumusi, mis mõjutavad otseselt tasuvust. Lisaks maksumustele tuuakse välja ka PV süsteemi osad, nende funktsioonid ja info olemasolul ka maksumused igale süsteemi osale. PV süsteemi hindade analüüsimisel tuuakse töö raames välja keskendatud väärtused, sest täpsemad maksumused sõltuvad konkreetselt iga objekti eripärasest. Kuna investeeringute tasuvus sõltub suuresti ka müüdava elektri kogusest ja hinnast, on oluline analüüsida ka elektri maksumusi, mis võivad tarbijate raames erineda. Peale vajaliku informatsiooni kogumist koostatakse tasuvusanalüüs nii tarbijagruppide siseselt, kui ka tarbijaid omavahel võrreldes. Lisaks teostatakse tundlikkusanalüüs, mis näitab majandusliku tasuvuse sõltuvust erinevatest teguritest, nagu näiteks elektri omatarbimise osakaal, süsteemi maksumuse muutumine, elektri hinna muut, taastuvenergia toetus ja paigaldus. Kõikide arvutuste tegemiseks kasutatakse kontoritarkvara programmi Excel. Tasuvust väljendavaks näitajaks on kasutatud sisemist tulumäära iseloomustav näitaja IRR.

Lõputöö peamine eesmärk on tuua esile päikesepaneelide paigalduse tasuvus erinevatele tarbijatele ja võrrelda neid omavahel. Kuna tasuvuse leidmisel kasutatakse keskendatud väärtuseid, on vajalik teostada ka tundlikkusanalüüs erinevate tasuvust mõjutavate tegurite muutumisel.

# 1. TARBIJATE ISELOOMUSTUS

## 1.1 Tarbijate liigitus

Magistritöös käsitletakse erinevaid tarbijaid ning selleks, et teostada nende osas tehnilis-majanduslikke arvutusi, on vajalik lahti seletada, millised on antud tarbijate erinevused. Käsitlemisel on kolm suuremat tarbijaskonda. Esimeseks tarbija grupiks on väiketarbijad, milleks on tabeli (Tabel 1.1) järgi eramajad ja suvilad. Erinevus nende kahe vahel seisneb selles, et suvilas tarbitakse elektrit pigem vaid suvel, kuid eramajas enamasti aastaringelt. Teiseks keskmised tarbijad, milleks on tabeli järgi kortermajad ja ärihooned. Kui kortermajade puhul on elektri tarbimise koormusgraafikud sarnased eramajale, siis ärihoone suurim eelis on nii elektri tarbimise kui tootmise koormusgraafikute suurem kokkulangevus, mis omakorda suurendab päikesepaneelidesse investeerimise tasuvust. Samuti on päevase elektri maksumus kõrgem. Kortermaja ja ärihoone ühiseks omaduseks on vaba katuse või mõne muu pinna ära kasutamine päikesepaneelide paigaldamiseks. Kolmandaks käsitletakse suurtootjaid, ehk päikeseelektrijaamasid, kus kaetakse maapind päikesepaneelidega, et elektrit võrku müüa. Antud peatüki eesmärgiks on analüüsida tarbijate vahelisi põhimõttelisi erinevusi.

Tabel 1.1 Tarbijate jaotus ja alajaotus

Väiketarbija		Kesktarbija		Suurtootja
Eramaja	Suvila	Kortermaja	Ärihoone	Päikeseelektrijaam

## 1.2 Tarbijate erinevused

### 1.2.1 Tootmise eesmärgid

Kuigi kõigil kolmel tarbijagrupil on põhieesmärgiks rahaline kokkuhoid ja mõnel juhul võibolla ka isiklik veendumus kasutada keskkonnasõbralikke ja taastuvaid energiaallikaid, siis on neil kõigil kolmel ka erinevusi.

**Eramajade** ja suvilate puhul on elektri tootmise eesmärgiks toota elektrit enda tarbeks, tarbida taastuvenergiaallikate toodetud elektrit ja pikaajaliselt vähendada elektri tarbimisest lähtuvaid kulusid. Peale tasuvusaja saabumist hakkavad paneelid kasumit tootma ja kokkuvõttes jääb tarbijale 30 aasta lõikes oluliselt rohkem raha alles.

**Kortermaidadel** on sarnane otstarve, kus enamasti laenu abil soetatakse päikesepaneelide süsteem ning igakuine laenumakse kajastub kommunaalarves. 30 aasta lõikes on see kasulik kõigile kortermaja elanikele.

**Ärihoonete** puhul on elektri tootmise eesmärgiks panna katuse- või mõni muu pind kasumit tootma. Eelnevatest tarbijatest veelgi kasumlikum on päikesepaneelide paigaldamine ärihoonete katustele, sest nende puhul langeb oluliselt suuremas osakaalus samale ajale nii tootmine kui tarbimine.

**Suurtootja** puhul on selge eesmärk ärikasumi nimel toota elektrit vaid võrku müümiseks ning kohapealne tarbimine puudub. Samuti võib vahel suurtootja päikesepargi ehitada mõne suurema tööstushoone kõrvale ning müües nendele elektrit otse, teenib elektrit müüv ettevõtte sama investeeringu pealt suurema kasumi.

### 1.2.2 Tarbimise omapärad

Päikesest elektri tootmise puhul on oluline võrrelda toodetud elektri tarbimise dünaamikat. Suurtootjate puhul ei sõltu tasuvus kohapealsest tarbimisest, vaid elektri hinnast ning selle muutumisest. Seda aga ei saa suurtootja ise oluliselt mõjutada. Kõigi teiste tarbijagruppide puhul sõltub tasuvus suuresti sellest, kui palju toodetud elektrienergiast tarbitakse ära kohapeal ja kui palju müüakse otse võrku. Mida rohkem kohapeal tarbitakse, seda suurem on päikesepaneelidest tulenev kasu.

**Väiketarbijate ja kesktarbijate** suurimaks erinevuseks on koormusgraafikute stabiilsus. Kui väiketarbijate puhul sõltub elektri tarbimine vähestest inimestest ja elektri tarbimist on keeruline ennustada, siis kortermajade puhul on koormusgraafikud paremini ette aimatavad, sest elanikke on palju ning kui ühed elanikud juhuslikult kodus ei viibi, ei mõjuta see elektri tarbimist oluliselt. Kortermajade puhul kasutatakse päikesest toodetud elektrienergiat üldelektri katmiseks. Üldelektri kulu sõltub vähe kortermaja elanike tarbimisharjumustest. See teeb kortermajadel elektri tarbimise arvestamise lihtsamaks kui eramajade puhul. Sama eelis on ka ärihoonetel, kus elektri tarbimine on fikseeritud tööaja tõttu suures osas ette teada. Eramajade puhul võiks probleemiks olla olukord, kus on arvestatud tasuvusaja arvutamisel teatud osakaalus elektri omatarbimisega ja välja müümiselega. Kuid kui eramajas elav leibkond otsustab mingiks perioodiks majast välja kolida või mõnel muul põhjusel ei tarbi aktiivselt elektrit, pikeneb tasuvusaeg ja väheneb paneelidest saadav

summaarne tulu. Vastavalt tarbimise koormusgraafikutele toimub tavaliselt ka sobiva päikesepaneelide süsteemi paigaldamise valik.

**Ärihoonete** katustele paigaldava päikesepaneelide süsteemi suurimaks eeliseks on tarbimis- ja tootmisgraafikute kokkulangevus, mis lühendab oluliselt päikesepaneelide paigaldamise tasuvusaega, sest enamik toodetud elektrist on võimalik kohapeal ära tarbida. Suurtarbijate puhul omatarbimine puudub, sest kogu toodetud elekter müüakse võrku. Kõikide tarbijate tasuvusnäitajate sõltuvust omatarbimises osakaalust väljendavad 4.2 alapeatükis olevad graafikud.

### **1.2.3 PV süsteemi paigaldus**

Tarbijate eripäradest lähtuvalt on paigaldusmeetodid väga erinevad. Antud töö raames on paigaldusmeetodeid vajalik analüüsida eelkõige seetõttu, et paigaldamine mõjutab päikesepaneelide poolt toodetud elektrienergia hulka. 2. peatükis analüüsitakse erinevate kaldenurkade juures päikesepaneelidele langevat energiahulka. Lisaks optimaalsele paigaldusnurgale sõltub paigaldamisest ka algne investeering, sest mida keerukam paigaldus, seda suurem on vajalik investeering. Kolme tarbija võrdluses on paigalduse seisukohast selge eelis kesktarbijatel ja suurtootjatel. Nende puhul paigaldatakse päikesepaneelid enamasti vaba horisontaalse pinna peale, vahel ka vertikaalselt tööstushoone fassaadile. Karkasside abil saab suunata paneelid õige asimuudi ja kaldenurgaga päikese poole, et saada kätte maksimaalne võimalik päikeseenergia kogus. Kuigi kesktarbijate puhul on piiravaks teguriks katuse pindala, on eeliseks võimalus paigaldada õige asimuudi suunas. Eramajade ja suvilate puhul sõltub paigaldamine katuse kujust ja katematerjalist. Väiketarbijate puhul sõltutakse maja paigutusest ilmakaarte suhtes ja ka katuse nurgast horisondi suhtes. Erineva materjaliga viilkatuste puhul võivad maksumused väga erinevad olla. Erinevaid paigaldusviise ja nende mõju paneelide efektiivsusele analüüsitakse 2.2.3 punktis. Paigaldusmeetodite maksumused tuuakse välja 3.3.1 punktis. [6], [7]

### **1.2.4 Elektrijaama mahud ja hinnangulised maksumused**

Päikeseelektrisüsteemi tasuvus sõltub alginvesteeringust. Päikesepaneelide süsteemi maksumust mõjutavad kõige enam vajatud nimivõimsus ja ka paigaldusviis. Mida suuremat võimsust ja elektrienergia hulka on tarvis, seda suurem on algne investeering. Samuti mida suuremat süsteemi

paigaldatase, seda soodsamaks läheb paigaldatud võimsuse ja inverteri maksumuse suhe. Kuigi paneelide maksumus võib isegi mahtude puhul sama olla, siis installeeritud kW kohta on inverter suuremas süsteemis odavam. Kõige väiksem tarbija, ehk eramaja ja suvila omanik paigaldab tavaliselt kuni 10 kW koguvõimsusega süsteemi, mille maksumus on 1,0 - 1,5€/W<sub>p</sub> (W<sub>p</sub> – paigaldatud nimivõimsus). Märksa soodsamalt soetab päikesepaneelide süsteemi endale korteriühistu, mis paigaldab tavaliselt süsteemi vahemikus 10 – 100 kW. Keskmiseks hinnaks tuleb 0,9 – 1,2€/W<sub>p</sub>. Veelgi madalam võimsuse ja hinna suhe on ärihoonete ja suurtarbijate puhul, kus nimivõimsused algavad 100 kilovatist ja ulatuvad kuni 1 MW-ni. Suurtarbijate puhul võivad mahud suuremaki olla. Sellises mahus võimsuste puhul on ühe vatise võimsuse keskmine paigaldusmaksumus 0,8 – 0,9 €/W<sub>p</sub>. Kui tööstushoonete puhul on paigaldatava võimsuse puhul piiranguks katuse või fassaadi pindala, siis suurtootjal on piiranguteks vaba maa-ala suurus ja alajaama kaugus. Samas on suurtootjal hea sisemise tulumäära saavutamiseks rajada pigem suurema võimsusega päikesepark, sest kohapealne tarbimine puudub ja välja müüdiv elekter on alati väiksema kasumlikkusega kui ise tarbitud elektrist tulenev sääst. Siinkohal välja toodud hinnad on hinnangulised. Analüüsiks vajalike keskendatud väärtuste saamiseks uuritakse pakkumisi erinevatelt PV süsteemide müüjatelt. Lõputöös kasutatavate keskendatud väärtuste leidmine toimub 3. peatükis. [2]

### 1.2.5 Eeldused PV süsteemi rajamiseks

**Eramaja** ja suvila puhul on vajalik vaba katusepinna olemasolu ning paneelide paigaldamise tasuvus sõltub ka ehitise asendist ja katuse kujust. Oluline on ka elektrivõrguga liitumise olemasolu. Vastasel juhul on vajalik alginvesteering oluliselt kõrgem ning PV süsteemi paigaldamine ei pruugi tasuv olla. Sellisel juhul on mõistlikum rajada PV süsteem vaid kohaliku tarbimise jaoks.

**Suvilate** puhul kipub vahel olema otstarbekam kasutada kohapealseid elektritootmise vahendeid generaatori või mõne muu lihtsama vahendi abil, sest maakohas ei pruugi olla ühendust elektrivõrguga ning liitumine võib olla kallim lahendus. Kui toota päikesepaneelidest elektrit kohas, kus puudub võimalus kasutamata elekter võrku müüa, alaneb tasuvusaeg oluliselt ja on võimalik, et päikesepaneelid oma investeeringut tagasi ei pruugi teenida. Teisalt võib päikesepaneelide paigaldamisele kuluv investeering olla väiksem elektrivõrguga liitumisega seonduvatest kuludest.

**Kortermajade ja ärihoonete** eelduseks on vaba pinna olemasolu. Enamasti on selleks kas katus või ärihoonete puhul ka fassaad. Fassaadile paigaldamise puhul peab hindama ümbritsevat keskkonda

ja hooneid, sest vahel võivad hooned olla liiga lähestikku, mis omakorda varjab ära vajaliku hoone fassaadile langeva päikesekiirguse. Erinevus kortermajade ja ärihoonete puhul seisneb otsuse tegemisse puutuvate inimeste hulgas. Kui ärihoonete puhul teeb otsuse juriidiline isik, kelleks on antud ettevõtte juhatus, siis kortermaja puhul on vaja nõusolekut korteriühistult. Sõltub küll ühistu põhikirjast, kui paljude inimeste nõusolekut on vaja, kuid otsuse vastuvõtmine võib olla mõnevõrra raskem ja aeganõudvam, kui teiste tarbijate puhul.

**Suurtootja** vajab päikesepaneelide paigaldamiseks maatükki või muud vaba pinda, kuhu paneele paigaldada. Asukohast sõltub ka keskkonna mõju päikesepaneelidele, sealhulgas tolmu ja liiva sattumine paneelidele, mis omakorda mõjutab jooksvaid hoolduskulusid. Lisaks on vajalik võrguühendus, mille puudumisel võivad alginvesteeringu kulud suurened. Võrguühendust pole vaja, kui kogu toodetav elekter on võimalik lähedal asuvale tööstusele või muule tarbijale maha müüa. Viimane aga eeldab, et ollakse 100% sõltuvad ühest tarbijast ja selle poolt kehtestatud nõuetest.

### 1.3 Tarbijate kokkuvõtlik iseloomustus

Eelnevalt loetletud tarbijate erinevusi ja omapärasid võtab kokku allolev tabel (Tabel 1.2).

Tabel 1.2 Tarbijaid iseloomustav kokkuvõtlik tabel

	Eramu	Suvila	Kortermaja	Ärihoone	Suurtootja
Tootmise eesmärk	Oma tarbeks + ülejääk väljamüügiks		Oma tarbeks + ülejääk väljamüügiks		Ainult väljamüük
Tarbimise ja tootmise kokkulangevus	Tarbimine ja tootmine langevad kehvasti kokku. Kortermajadel graafik stabiilsem.			Hea	Tarbimine puudub
Paigaldus	Viilkatus, lamekatus, maapinnale		Lamekatus	Lamekatusele, Maapinnale	Maapinnale
Paigaldatud võimsused	Kuni 11 kW		10 – 100 kW	100 – 1000 kW	Alates 100 kW
$W_p$ maksumus (€/W <sub>p</sub> )	1,0 – 1,5		0,9 – 1,2	0,8 – 0,9	
Eeldused PV süsteemi rajamiseks	Vaba katuse pind		Vaba katuse pind, elanike või juhatuse liikmete nõusolek		Vaba maapind

## 2. PÄIKESEENERGIA POTENTSIAAL EESTIS JA PANEELIDE TOODANGUT MÕJUTAVAD TEGURID

Antud peatüki raames analüüsitakse Eesti päikeseenergia potentsiaali ja päikesepaneelide toodangu sõltuvust erinevatest paigaldusnurkadest ja paigaldussuundadest. Vastavalt sellele uuritakse erinevatele tarbijatele vastavaid paigaldusmeetodeid. Lisaks tuuakse välja erinevad päikesepaneelide toodangut mõjutavad tegurid, nagu näiteks temperatuur, pinnal leiduv mustus või lumi, varjud ja ka ajaline tootlikkuse vähenemine.

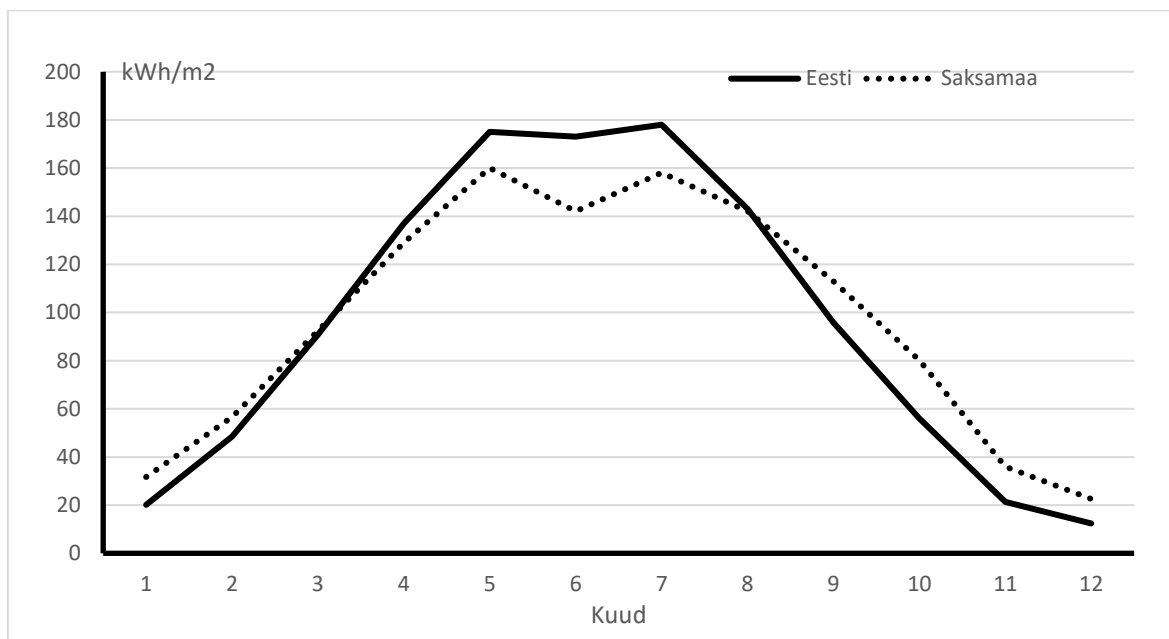
### 2.1 Päikeseenergia potentsiaal Eestis võrreldes Saksamaaga

PV paneelide paigaldamise tasuvuse eelduseks on paneelidele jõudva päikesekiirguse piisav hulk. Geograafiliselt on päikesekiirguse hulk erinev sõltuvalt laiuskraadidest. Üldtuntud reeglits võib nimetada seda, et mida lähemal ekvaatorile, seda suurem hulk päikesekiirgust ruutmeetrile langeb. Kuid lisaks laiuskraadile mõjutab maapinnani jõudvat päikeseenergia hulka veel ilmastikuolud, sest pilvise ilmaga on kasulikku päikeseenergiat vähem.

**Eesti** päikeseenergia potentsiaali mõistmiseks on tark seda võrrelda mõne suurema riigiga, kus kasutatakse päikeseelektrit. Viimastel kümnenditel on palju räägitud sellest, kuidas Saksamaal on toimunud suur kasv PV paneelide paigaldamises. Kuigi 2015. aastal kaotas Saksamaa esikoha maailma suurimate PV paneelide paigaldaja kohalt Hiinas toimuva kiire kasvu tõttu, valime võrdlemiseks Saksamaa. Kuna Saksamaa on võrreldes Hiinaga oluliselt väiksem nii pindalalt kui rahvaarvult, on Saksamaal päikeseenergia osakaal kogu energiasektoris üks suuremaid. Riigiti võib olla erinev poliitika seoses taastuvenergiaga läbi selle, kui palju riik toetab ja soodustab taastuvenergiat kasutama. Saksamaaga võrdluses kasutame vaid potentsiaalset kasutatavat päikeseenergiat ega arvesta elektri hindu ning sellest sõltuvat kohapealset tasuvust.

Kasutades PVGIS andmebaasi, on võimalik luua graafik (Joonis 2.1), mis näitab ühele päikesepaneeli ruutmeetrile langevat päikeseenergiat kuude kaupa. Asukohaks Eesti puhul on valitud riigi keskel asuv Paide linn. Saksamaa asukoha valikul otsiti paika, kuhu on varasemalt ehitatud suuremaid päikeseelektrijaamu. Kõigi eelduste kohaselt on sellised jaamad ehitatud ikkagi päikesekiirguse osas soodsatesse paikadesse. Valitud sai Neuhardenbergi PV elektrijaam, mis on ehitatud Poola piiri lähedal olevale endisele militaarlennuväljale. Kuigi Saksamaa asub Eestist oluliselt lõunapoolsemal

laiuskraadil, on aastane ruutmeetrile langev päikeseenergia hulk peaaegu sama. Saksamaal 1163 kWh/m<sup>2</sup> ja Eestis 1151 kWh/m<sup>2</sup>. [8], [9], [10], [11]



Joonis 2.1 Ruutmeetrile langev aastane päikeseenergia hulk Eestis ja Saksamaal. (Lisa 1)

Aasta lõikes on tulemus sama, kuid kuude lõikes võib erinevus olla suur. Põhjuseks on tõenäoliselt erinev asetus ekvaatori suhtes. Eestis on talvekuudel päevad lühemad ja kiirgushulk väiksem, kuid suvel on jällegi vastupidi, kus Eestis on päevad pikemad ja kiirgust rohkem. Teiseks oluliseks teguriks on ka temperatuur. Erinevad arvutused ja katsed on näidanud, et mida madalam on temperatuur, seda kõrgem on päikesepaneeli kasutegur. Seost temperatuuri ja tootlikkuse vahel analüüsitakse punktis 2.3.1. Eesti asub Saksamaast kõrgemal laiuskraadil ning selletõttu on ka päevased temperatuurid madalamad ja see omakorda tõstab päikesepaneelide kasutegurit.

## 2.2 Päikesepaneelide optimaalne paigaldamine ja selle mõju paneelidele langevale päikesekiirguse hulgale

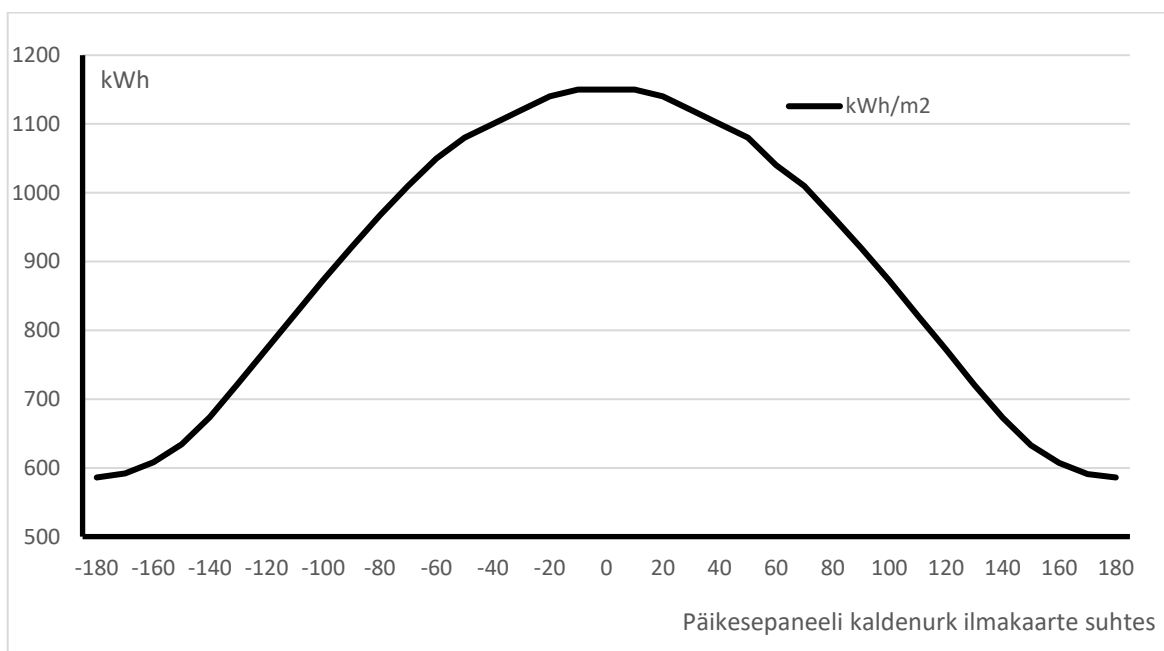
Päikesepaneeli poolt toodetud elektrienergia hulk ei sõltu mitte ainult geograafilisest asukohast, vaid ka paneeli paigaldamisnurgast. Kui paljude teiste näitajate puhul on võimalik järeldusi teha teistes riikides saadud tulemuste alusel, siis paigaldusnurg sõltub eelkõige päikese liikumise trajektoorist ning see on igal laiuskraadil erinev. Seega on kõige targem vaadelda konkreetselt Eesti tingimustes, kuidas muutub paneelidele langeva päikeseenergia hulk vastavalt paigaldusele. Eelnevalt on uuritud, et Eesti tingimustes on kõige targem paigaldada päikesepaneel täpselt lõuna



suunas ja 40-kraadise nurga all maapinna suhtes. See tähendab, et on kaks parameetrit, millest kättesaadav päikeseenergia sõltub – asimuut ja kaldenurk. Kasutades PVGIS andmebaasi, on meil võimalik välja arvutada ruutmeetrile langevat päikeseenergia hulka ja selle muutumist seoses kaldenurga või asimuudi muutumisega. [10], [11], [12]

## 2.2.1 Päikesepaneelidele langeva energiahulga sõltuvus asimuudist

Kui suuremate tarbijate puhul pole takistusi päikesepaneelide paigaldamisega otse lõuna suunas, siis viilkatusega majade puhul võib osutuda probleemiks maja asend ilmakaarte suhtes. PVGIS andmebaasi abil saame ruutmeetrile langeva aastase summaarse päikeseenergia erinevate paigaldamissuundade puhul. Graafikul (Joonis 2.2) välja toodud tulemused käivad Eesti keskel asuva Paide linna kohta (andmed tabeli kujul on toodud lisa 2). Vastavalt PV paneelide pakkuja poolt soovitatule on arvestatud ahela kadudeks 5%. Kuigi kaod võivad objektide raames erineda, ei ole PVGIS andmebaasist saadud andmete eesmärgiks tuua välja täpseid väärtuseid, vaid pigem väljendada graafiliselt päikeseelektri toodangu sõltuvust paigaldusest. [10], [11]



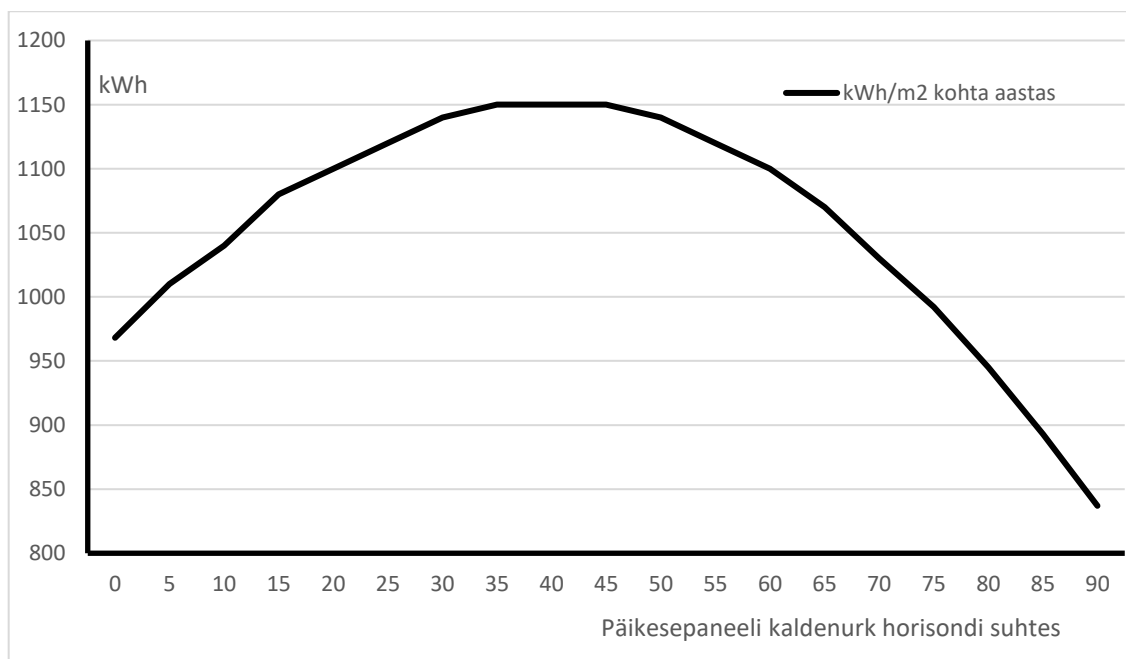
Joonis 2.2 Päikesepaneelile langeva päikeseenergia hulga sõltuvus paigaldusnurgast ilmakaarte suhtes. 0 kraadi - lõuna suund

Graafikul välja toodud nurkade puhul on 0-kraadine nurk võrdne lõuna suunaga ning 180 ja -180 kraadised nurgad võrdsed põhja suunaga. Kui paneelid on suunatud otse lõunasse 40-kraadise kaldenurga all, siis langeb ühele päikesepaneeli ruutmeetrile 1150 kWh päikeseenergiat. Sellisel

juhul suudab päikesepaneel salvestada maksimaalse hulga päikeseenergiat antud asukoha tingimustes. Suurem langus tekib -70 ja 70 kraadise asendi puhul, kus aastane ruutmeetrile langev päikeseenergia hulk langeb alla 1000 kWh, mis tähendab 13% langust võrreldes optimaalseima asendiga. Kui paigaldada paneelid suunaga itta või läände, ehk -90 või 90 kraadise nurga alla, on kaotus juba 20%, ehk 920 kWh/m<sup>2</sup>. Paigaldades aga paneelid põhja suunda, milleks on 180 ja -180 kraadi, näeme, et paneelid suudavad salvestada vaid 51%, ehk 586 kWh/m<sup>2</sup>. Kuidas aga paigaldussuund mõjutab paneelide paigaldamise tasuvust erinevatele tarbijatele, selgub 4. peatükis. [10]

## 2.2.2 Päikesepaneelide langeva energiahulga sõltuvus paigaldusnurgast

Lisaks paigaldussuunale sõltub päikesepaneelile langeva päikeseenergia hulk ka paigaldusnurgast. Kasutades antud näitaja võrdlemiseks PVGIS andmebaasi, saame koostada eelmisele graafikule analoogse graafiku, kus ühele päikesepaneeli ruutmeetrile langev päikeseenergia on sõltuvuses paigaldusnurgast. Seos on välja toodud alloleval graafikul (Joonis 2.3). Andmed tabeli kujul on toodud lisa 3. [11]



Joonis 2.3 Päikesepaneelidele langeva päikeseenergia hulga sõltuvus paigaldusnurgast horisondi suhtes (Lisa 3)

0 – horisontaalne, 90 - vertikaalne

Kuigi kaldenurk on muutuv, on arvutustes asimuudiks valitud 0 kraadi, ehk lõunasuund. Kui 40 kraadi juures on ruutmeetril päikesepaneelile langev päikeseenergia hulk 1150 kWh/m<sup>2</sup>, siis

võrreldes eelmise graafikuga, mis väljendas sõltuvust paigaldussuunast, ei ole erinevused optimaalseima ja kõige kehvema osas nii suured. Paigaldades paneelid vertikaalselt, ehk 90 kraadise nurga all maapinna suhtes, kaotame 27% maksimaalsest võimalikust, ehk saame 837 kWh/m<sup>2</sup>. Paigaldades paralleelselt maapinnaga, on kaotuseks 16%, ehk saame 968 kWh/m<sup>2</sup>. Kuid lisaks ruutmeetrile langevale päikeseenergiale on oluline ära märkida, et paigaldusnurgast sõltub ka keskkonna mõju päikesepaneelide kasutegurile. Kui paigaldada päikesepaneelid paralleelselt maapinnaga, jääb suurem hulk erinevat looduslikku saastet paneelidele. Päikesepaneeli varjamine 2% ulatuses võib vähendada paneeli tipuvõimsust kuni 70%. Lisaks tuulega paneeli pinnale kanduvale mullale või liivale võib sama probleem tekkida Eesti kliimas ka lumega. Mida suurema nurga all on paneelid maapinna suhtes, seda väiksemad on puhastamisele kuluvad hoolduskulud. Optimaalset paigaldusnurka otsides võime graafikult leida, et ruutmeetrile langeva päikeseenergia hulk on üle 1100 kWh/m<sup>2</sup> nurgavahemikus 20-60 kraadi. Paigaldusnurga mõju päikesepaneelide tasuvusele analüüsitakse 4. peatükis. [2], [11]

### **2.2.3 Paigaldusmeetodid, nende nurgad ja mõjud paneelide tootlikkusele**

**Viilkatusele** paneelide paigaldamine on üks levinumaid viise väiketarbijate seas. Viilkatuste nurgad võivad olla väga erinevad, kuid kõik viilkatuse väärtused jäävad ikkagi 0 – 90 kraadi vahele. Sõltuvalt viilkatuse nurgast saab ka graafiku (joonis 2.3) pealt vaadata paneelile langevat aastast päikeseenergia hulka ning arvestada seda tasuvusarvutustes. Lisaks paigaldusnurgale on viilkatuste puhul oluline jälgida ka katusepinna asendit ilmakaarte suhtes. Kui maja on asetatud selliselt, et viilkatuse pooled on suunatud täpselt idasse ja läände, siis graafiku järgi (Joonis 2.2) kaotatakse 20% sellest toodangust, mille saaks kätte optimaalse suuna, ehk lõuna suuna puhul. See võib aga tasuvust oluliselt langetada. Kui palju see tasuvust mõjutab, selgub 4.3.4 punktis. Viilkatusele paigaldatud paneelide tootlikkus võib olla veidi madalam lamekatusele ja maapinnale paigaldusest kehva jahutuse tõttu. 2.3.1 punkti all on mainitud seost välistemperatuuri ja päikesepaneeli kasuteguri vahel. Kuna viilkatusele paigutatud paneelidel on üks pool tihedalt katuse poole ja ei saa jahutust, on paneelid ka kuumemad ja kõrgemast temperatuurist lähtuvalt tipuvõimsus madalam. Lamekatuse ja maapinnale paigalduse puhul on tootlikkus viilkatusega võrreldes 5% suurem. [6], [13]

**Lamekatusele** paigaldus on levinud nii väiketarbijate kui ka kesktarbijate puhul. Enamik väiketarbijaid paigaldab paneelid viilkatusele. Muidugi, kui majal on lamekatuse, siis paigaldatakse lamekatusele, kuid see on pigem haruldasem väiketarbijate hulgas. Enamikel kortermajadel ja ka ärihoonetel on lamekatused, seega see paigaldusviis on kesktarbijate puhul levinuim. Kui viilkatuse puhul määrab paneelide paigaldusnurga ära katuse enda nurk, siis lamekatuste puhul kasutatakse alusraame, millega saavutatakse vastavalt tingimustele parim lahendus. Erinevalt viilkatusest pole lamekatuste puhul probleemiks paigaldada paneelid täpselt lõuna suunas, sest konstruktsioonide paigaldusel ei pea lähtuma maja asendist ilmakaarte suhtes. Lamekatusele paigutades on suurimaks piiranguks paigaldatud võimsusele katuse pindala, mida tuleb targalt ära kasutada maksimaalse tootlikkuse ja alginvesteeringu suhte saavutamiseks. Kui paigaldada paneelid 40 kraadise nurga alla ja tihedalt kõrvuti, hakkavad paneelid üksteist varjutama ja see võib elektritoodangut suures mahus vähendada. Varjude mõju süsteemi toodangule on kirjeldatud punktis 2.3.4. Sõltuvalt objektist ja ka paigaldustarvikutest paigaldatakse lamekatuse puhul paneelid 10-20 kraadise nurga alla. Sellisel juhul mahub ka pindalaühikule rohkem paneele. 20-kraadine paigaldus langetab graafiku (joonis 2.3) järgi tootlikkust vaid 5% võrreldes optimaalseima nurgaga. Lisaks on uue trendina levimas ka „ida-lääs paigaldusviis“, kus paneelid paigaldatakse paaridena ida ja lääne suunas. Suurimaks eeliseks on see, et kui suuremate nurkade puhul peab paneelid varjude vältimiseks panema suurte vahedega, siis viimasel juhul saab katta 90% katuse pindalast paneelidega. Samuti tagavad ida ja lääne poole suunatud paneelid stabiilsema tootmisgraafiku päeva lõikes. [6], [14], [15]

**Maapinnale** paigaldus on eelkõige kasutusel suurtootjate puhul, kuid ka väike- ja kesktarbijate puhul esineb seda paigaldusmeetodit. Sarnasusi lamekatusele paigutamiseega on mitmeid, kuna paigutatakse paneelid koos konstruktsiooniga horisontaalsele pinnale. Eeliseks on see, et lamekatusele paneele paigaldades on piiravaks teguriks katuse pindala, kuid maapinnale paigutades on võimalik paigaldada paneelid suuremale pindalale ning seeläbi on võimalik suurema nimivõimsusega PV süsteem ehitada. Maapinnale paigutus on mitmete paneelide müüjate soovituim tehnoloogia, kuna on võimalik paigutada optimaalseima nurga alla. Lisaks on hooldamine lihtsam selle võrra, et paneelide puhastamiseks ei pea minema katusele. [6], [15], [16]

**Jälgimissüsteemiga** paigaldatud päikesepaneelide puhul on kogu tootlikkus umbes 30% suurem, kui statsionaarselt paigutatud paneeli puhul. Seda seetõttu, et vastav seade jälgib päikese liikumist ja suunab päikesepaneelid igas hetkes otse päikese poole, et saada kätte maksimaalne võimalik päikesekiirgus. Keerukalt liikuva konstruktsiooni tõttu on selliste süsteemide hinnad kõrged ja võivad kogu elektrijaama hinnast moodustada kuni 70%. Samuti võib ka eluiga olla väiksem, kui

ülejäänud PV süsteemi osadel. Seda just liikuvate osade tõttu. Seeläbi ei ole antud süsteem väga levinud selle madala majandusliku tasuvuse tõttu. [17]

## **2.3 Muud päikesepaneelide kasutegurit mõjutavad tegurid**

Päikesepaneelide tootlikkust mõjutab oluliselt paneelidele langev kiirgushulk, kuid lisaks kiirgusele on ka mitmeid muid tegureid, mis mõjutavad tootlikkust. Esiteks on erinevatel laiuskraadidel erinev kliima ning temperatuur on üks teguritest, mis mõjutab paneeli efektiivsust. Teiseks, paneelide tootjad lubavad küll paneelidele nimivõimsust, kuid annavad garantii, mis väljendab tootlikkuse vähenemist ajas. Kolmandaks teguriks on paneelide puhtus. Kui paneelidel on kas mustust, lund või midagi muud varjavat, kahanevad paneelide tipuvõimsus ja tootlikkus oluliselt. Sarnaselt mustusele on varjud neljandaks siin peatükis mainitud kasutegurit mõjutavaks teguriks, mille mõju efektiivsusele võib olla oodatust suurem.

### **2.3.1 Päikesepaneelide efektiivsuse sõltuvus temperatuurist**

Üheks eelmainitud põhjuseks, miks on Eestis päikesepaneelide tootlikkus võrreldav Saksamaaga, on Eesti madalam keskmine temperatuur, mis tõstab paneelide kasutegurit. Paneelide tootjapoolselt lubatud tipuvõimsused on välja toodud 25-kraadise temperatuuriga arvestades. Kuid enamikel laiuskraadidel on temperatuur kõikum ning see mõjutab kasutegurit. Erinevate uuringute põhjal on leitud, et võrreldes 25 kraadiga langeb tipuvõimsus temperatuuri tõustes iga kraadi kohta umbes 0,5%. See % on paneelide lõikes erinev ja on kirjas paneelide tehnilistes andmetes. Samas, temperatuuri alanedes tõuseb tipuvõimsus 0,5% iga alanenud kraadi kohta. Seega kui paneelide tipuvõimsus on tootja poolt lubatud 25 kraadi juures 300 W, siis Eestis veebruarikuus temperatuuriga -15 on paneelide tipuvõimsus 20% kõrgem, ehk 360 W. Olgugi, et veebruarikuus on ajaliselt päikesekiirgust Eestis nii vähe, et see ei loo väga suurt muutust aastasessse elektrienergia toodangusse, on see ikkagi oluline eelis. Just selle tõttu on ka Eestis parim PV paneelide toodang just maikuus, kui päikesekiirgust on palju, kuid õhutemperatuur veel madal. [18], [19], [20]

**Tähistused** paneelidel on toodud välja erinevalt. Karakteristikas mainitakse kolme erinevat temperatuuri koefitsienti. Esiteks avatud ahela pinge (Voc), mis näitab vooluahela pingelangu. Teiseks lühisvool (Isc), mille taga on voolutugevuse langus. Kolmandaks ja samas kõige

praktilisemaks informatsiooniks on nominaalvõimsus ( $P_{max}$ ). Antud tähistused peaksid olema kõikide päikesepaneelide tehnilises informatsioonis kirjas. [19]

**Eesti** kontekstis on võimalik kasutegurit mõjutada paigaldusviisi kaudu. Kui paigaldada paneelid näiteks viilkatusele nii, et paneelide tagakülg on vastu katust, siis on paneelidel oluliselt väiksem pind, mille kaudu päikese poolt antud soojust välja anda. Kui paigaldada maapinnale, kus paneelid saavad parema õhutuse, on ka paneelide kasutegur kõrgem. Maapinnale paigaldatud paneelide tootlikkus on umbes 5% suurem, kui viilkatusele paigaldades. [13]

### 2.3.2 Kasuteguri muutus ajas

Päikesepaneelide elueaks peetakse 25-30 aastat ning PV paneelide poolt toodetud elektrienergia hulk väheneb ajas. Erinevad tootjad on lubanud, et nende päikesepaneelid toodavad peale 10. aastat 90% algselt lubatud koormusest ning peale 25. aastat 80% algselt lubatust. See on tootjate poolt antud garantii, mis aga ei tähenda, et paneelid ei võiks ikkagi rohkem toota. Üldine reegel ütleb, et esimesel aastal kaotab päikesepaneel kuni 3% oma algselt välja lubatud aastasest tootlikkusest ning edaspidi on langus 0,5% aastas. PV paneelide kasutamise kasv on toimunud alles viimastel kümnenditel ja puudub pikem aeg, mille põhjal hinnata lubatud langusi ja nende paikapidavust. Antud töö raames arvestatakse kasuteguri muutuseks vastava allika soovitusel põhjal 3% esimesel aastal ja 0,5% kõikidel järgnevatel aastatel. [21], [22]

### 2.3.3 Päikesepaneeli pinnal oleva mustuse ja lume mõju

Elektri tootmiseks on vajalik, et päikesekiirgus jõuaks päikesepaneelini, kuid paigaldades paneelid väliskeskkonda, on mitmeid tegureid, mis võivad osaliselt varjata päikesepaneelidele jõudvat päikesekiirgust.

**Mustus** paneelide pinnal on üks kasutegurit mõjutavatest teguritest, millega peab iga päikesepaneeli paigaldav tarbija arvestama, sest enamjaolt on paneelid paigaldatud väliskeskkonda, kus tuul kannab erinevaid osakesi paneelide pinnale. Kuigi visuaalselt võivad paneelid puhtad tunduda, piisab väga väikesest kogusest, et paneelide kasutegur langeks oluliselt. 2007. aastal avaldatud artiklis, mis uuris paneeli pinnal oleva liiva koguse mõju päikesepaneeli kasutegurile, jõuti huvitavate tulemusteni. Nimelt ruutmeetrise paneeli pinna kohta langetab

ühtlaselt paneeli pinnale jaotunud 1,5 g liiva kasutegurit ligi 50%. 6 g liiva 1 m<sup>2</sup> paneeli pinnal kahandab kasutegurit 90%. [23]

Kasuteguri langus on seotud eelkõige olukorraga, kus väike osa paneelist on varjatud päikesekiirguse eest ja langeb kogu paneeli või paneelide ahela kasutegur. Sellest tulenevalt on oluline paneelide regulaarne hooldus, mille hulka kuulub lisaks paneelide puhastamisele ka erinevate PV süsteemi osade kontroll. Tasuvusarvutustes on vajalik arvestada ka hoolduskuludega. Kuigi erinevatel objektidel on summad erinevad, siis keskmiseks hoolduskuluks on leitud 0,5% aastas algsest investeeringust. Seda näitajat kasutatakse ka 4. peatükis teostavates tasuvuslikes analüüsid. [24], [25]

**Lumi** on üks keskkonnateguritest, mis mõjutab päikesepaneelide poolt toodetud elektrienergia hulka. Kuigi talved on erinevad, esineb Eestis olukord, kus paks lumekiht katab metsaalust terve talve vältel. Samuti tekib lumekiht ka päikesepaneelidele, kui seda hooldamise käigus regulaarselt ei eemaldata. See, kui palju lumi mõjutab päikesepaneelide efektiivsust, sõltub suuresti paigaldusnurgast. Kui paigaldada paneelid vertikaalselt 90-kraadise nurga alla, siis lumi ei püsi päikesepaneeli pinnal. Samas, kui panna paneelid horisontaalselt, püsib lumi paneelidel. Kanadas on läbi viidud aastatel 2012-2016 katsetus, kus kõrvuti paigaldati erinevate nurkade all paneelide paarid, kus ühte paneeli puhastati regulaarselt lumest ja teist mitte. Võiks arvata, et lumega kaetud paneelini päikesekiirgus ei jõua ja paneeli tootlikkus puudub. Antud katse aga näitas, et kuigi paneeli tootlikkus väheneb, siis mõju ei ole suur. Tootlikkuse langus sõltus suuresti paigaldusnurgast. 14-kraadise nurga all paigaldatud paneeli talvekuudel mõõdetud tootlikkus oli lumega kaetud paneelil 16,78% võrra väiksem puhastatud paneelist. Eesti kontekstis olulisima näitajana võiks välja lugeda selle, et 45-kraadise nurga alla paigaldatud päikesepaneeli tootlikkus langes lumekatte tõttu vaid 4,95%. Kuigi nende näitajate põhjal saaks järeldada, et talvel lume paneelidelt pühkimisel ei ole mõtet, räägivad kohalikud PV süsteemide müüjad, et kuigi õhuke lumekiht ei mõjuta toodangut oluliselt, siis paksu lume all paneelini kiirgus ei jõua. [26]

### **2.3.4 Varjude mõju**

PV süsteemi paigaldamise puhul on oluline jälgida, et päeva ja aastaegade lõikes ei tekiks päikesepaneelidele varjusid. Varjusid võivad tekitada puud või kõrval asuvad hooned. Kui loogiliselt võiks järeldada, et päikesepaneeli tootlikkuse langus on võrdelises seoses sellega, mitu % paneelide pindalast on varjutatud, siis tegelikkus on teine. Kuna paneelide poolt toodetud elekter sõltub

nõrgima tootlikkusega elemendi võimsusest, võib ka väike vari langetada oluliselt kogu ahela elektri toodangut. Kuigi antud töö raames ei ole otstarbekas süveneda näitajate põhiselt varjude mõjusse, on vajalik mõista, mida saab targa paigaldamisega varjude mõju vähendamiseks teha. Kui ühe inverteri külge on jadaühendusega ühendatud näiteks 10 paneeli ja antud ahelast üks paneel on täielikult varjatud, on kogu selle inverteriga ühendatud paneelide toodang võrdne nõrgima paneeliga, ehk toodang on madal. Sellest lähtuvalt on ühelt poolt mõistlikum ühe inverteri külge vähem paneele ühendada, mis omakorda aga tõstab kogu PV süsteemi hinda oluliselt, kuna inverterite maksumus omab arvestatavat osakaalu kogumaksumusest. Teisest küljest – mida vähem paneele on ahelas, seda väiksem on ahela pinge ning inverteril võib tekkida probleeme vajaliku tööpinge kättesaamisega. Levinud on ka mikroinverterid. Sellise süsteemi korral ühendatakse ühe inverteriga eraldi üks päikesepaneel. Sel juhul ühe paneeli varju jäämine ei vähenda teiste paneelide tootlikkust. Inverteritest räägitakse lähemalt 3.1.2 punktis. [27], [28], [29], [33]



### 3. PV SÜSTEEMI OSAD JA MAKSUMUSED

Peale päikesepaneelide toodangut mõjutavate tegurite uurimist on vastavalt töö eesmärgile vajalik leida tasuvusarvutuste tegemiseks vajalikud alginvesteeringu mahud erinevatele süsteemi suurustele ja tarbijatele. PV süsteemi paigaldamisel koosneb kogumaksumus erinevatest komponentidest.

Peatüki eesmärgiks on uurida PV süsteemi komponentide eripärade kohta ja informatsiooni leidumisel tuua välja ka täpsemad hinnad. Majanduslikeks arvutusteks vajalikud seadmete ja nende komplektide maksumused tuuakse välja hinnanguliselt, kuna maksumused sõltuvad suuresti objekti eripäradest. Põhiline osa maksumusest on päikesepaneelid, mille hinnad on läbi aastate oluliselt langenud, teisalt on paigaldamisega seotud tööjõukulu suurenenud. Lisaks paneelidele jagunevad kulutused kolmeks. Esiteks inverterid, millega muundatakse päikesepaneelide poolt genereeritud alalisvool tarbitavaks vahelduvvooluks. Teiseks paigaldamisega seotud kulud nii materjalide kui tööjõukulu näol. Kolmandaks muud kulud, nagu näiteks elektrivõrguga liitumine, projekti koostamine ja ka hooldus.

Kuna PV süsteemide hinnamuutuste ennustamine on keerukas, siis arvutuste tegemiseks põhinetakse saada oleval informatsioonil ja leitakse keskendatud väärtused. Töö käigus uuriti enamikelt Eesti suurimatelt PV süsteemide pakkujatelt hinnapakkumisi erinevatele süsteemidele. Hinnapakkumiste uurimusele vastasid vähesed. Mitmed ei soovinud ka andmeid avaldada andmete konfidentsiaalsuse tõttu. Lõputöö tarbeks saadi üks pakkuja, kes lubas oma hindasid kajastada (Lisa 4) ja teise pakkuja, kes oli valmis anonüümselt informatsiooni jagama. Mõlema pakkuja poolt antud näitajaid on töö raames tehtud arvutustes kasutatud. Lisaks kirjavahetustele oli võimalik pakkujate kodulehtedel olevate näidispakkumiste abil leida süsteemide hinnad väiketarbijatele. Oluline on leida piisav informatsioon hindade näol, et leida tarbijate lõikes võrreldavad süsteemide maksumused.

#### 3.1 Päikesepaneelid

Kuigi antud töö raames ei analüüsita erinevaid paneelide tehnoloogiaid, on oluline vaadelda paneelide keskmisi hindu ja nende muutust ajas. Paneelide maksumused on viimastel kümnenditel muutunud oluliselt. Paneelide maksumust mõõdetakse ühikus €/W<sub>p</sub> või \$/W<sub>p</sub>, mis väljendab päikesepaneelide paigaldatud nimivõimsuse ja paneelide hinna suhet. Kui enne 1975. aastat olid

hinnad üle 100 \$/W<sub>p</sub>, siis tänaseks on hind langenud alla 1 \$/W<sub>p</sub>. Richard Swansoni järgi on sõnastatud Swansoni seadus, mille järgi iga kord, kui kumulatiivne päikesepaneelide toodang kahekordistub, langevad paneelide hinnad 20%. Viimase info järgi langevad hinnad 28% iga kord, kui kumulatiivselt kaks korda rohkem paneele toodetakse. See on oluliselt üle ootuste. 2017. aastaks oli langenud paneelide hulgihind 0,35 \$/W juurde. Tuleviku maksumusi ei julgeta enam ennustada, sest siimaani ei ole ennustused paika pidanud ja paneelide hinnad on kukkunud oodatumast kiirema tempoga. Hindu mõjutab ka dollari ja euro suhe. PV paneelide hinnalangus on soodustanud paneelide paigaldamise eksponentsiaalset kasvu, sest need on muutunud varasemaga võrreldes aina tasuvamaks erinevatele kasutajatele. Hinnalangusega on kaasnenud ka olukord, kus paneelide maksumuse osakaal koguinvesteeringust on oluliselt langenud, mille tõttu teiste seadmete valik mõjutab hinda suurema proportsiooniga, kui varasemalt. [2], [30], [31]

Turul olevad päikesepaneelid on erinevate hindadega. Suuresti sõltub hind tootjast, kuid sellega seoses on erinev ka kvaliteet, vastupidavus ja elektrienergia toodangu hulk. Üks Eesti päikesepaneelide müüjatest on teinud sõltumatu katse erinevate paneelidega. Mõõdeti, kas ja kui suures osakaalus suudavad paneelid lubatud tipuenergiat saavutada. Testiti paneele, mille nimivõimsus oli 250 – 255 W. Testid viidi läbi võrdsetel tingimustel, kuid tulemused olid erinevad. Tulemused jäid 90-97% vahele. Tipuvõimsuse vastavus lubatule mõjutab omakorda toodangut, mis omakorda mõjutab tasuvust. Optimaalsete hinna, toodangu ja kvaliteediga paneelide leidmine vajab põhjalikumat katsetamist ning hindade muutuste tõttu on katsetuste tulemustest kasu vaid väheseks ajaks. Seda kõike arvestades on selles töös otsitud välja keskendatud väärtused nii hindade kui ka päikesepaneelidega toodangute osas. Kuna eesmärgiks on võrrelda erinevaid tarbijaid ning paneelide hinnad, kvaliteetid ja tootlikkused on tarbijate lõikes samas suurusjärgus, kasutatakse vastavatele võimsustele keskendatud väärtuseid. [32]

Antud töö raames uuriti erinevatelt päikesepaneelide pakkujatelt pakkumisi ning huvitavaks asjaoluks osutus see, et paneelide hinnas ei väljendu mastaabisäästu, vaid sõltumata paigaldatud võimsuse hulgast on hind sama. Hinnad on küll erinevad tootjate lõikes erinevad, kuid ei ole sõltuvuses kogustest. Hinnapakumises (Lisa 4) on näidatud ühe 280W paneeli maksumuseks 113,33€ ilma käibemaksuta.

## 3.2 Inverterid

Päikesepaneelide poolt genereeritud elektrivool tuleb edastada kas siis võrku müügiks või koha peal tarbimiseks. Inverter on seade, mis konverteerib alalisvoolu vahelduvvooluks. Inverterite valiku puhul on oluline mõista erinevat tüüpi inverterite eeliseid ja puuduseid, millest tuleb välja, millisele tarbijale vastav toode kõige sobilikum on.

Inverterite ühendamise võimalusi on mitmeid. Erinevused seisnevad suuresti selles, kui palju päikesepaneeli ühe inverteri kohta paigaldatakse. Kui mikroinverter paigaldatakse ühe paneeli külge, siis string inverteri külge ühendatakse näiteks terve jada paneele. Suurte elektrijaamade puhul on vaja lisaks ka tsentraalseid invertereid, mis on vajalikud keskpingevõrku ühendamise korral.

**Mikroinverterite** korral paigaldatakse iga inverteri kohta üks päikesepaneel. Suurim eelis mikroinverterite puhul seisneb selles, et kui string inverterite paigaldamise puhul võib ühe paneeli toodangu vähenemine mustuse või varjutuse tõttu vähendada kogu paneelide jada tootlikkust, siis mikroinverterite puhul väheneb see vaid ühe paneeli ühiku võrra. Teisalt on mikroinvertereid paigaldades kogu süsteemi raames veidi kallima hinnaga. Paigaldus on keerukam, kuid on olemas ka paneelid, millele on mikroinverterid juba külge ehitatud. Kuna mikroinvertereid kasutades on süsteemis olevate seadmete hulk suurem, võivad riskid suuremad olla. [33], [34], [35], [36]

**String** inverteritega saab ühendada järjestikku paneelide jada. Sellest tulenevalt ka väiksem maksumus paigaldatud tipuvõimsuse kohta. Teisalt, kuna inverterist väljuv võimsus sõltub selle külge ühendatud paneelide nõrgimast võimsusest, väheneb ühe paneeli varju jäämise tõttu kogu string inverterite külge ühendatud paneelide summaarne võimsus. Selle tagajärgede vältimiseks on inverteritel MPPT jälgijad. [33], [34], [35], [36]

**Tsentraalsete** inverterite, ehk keskpingeinverterite abil on võimalik oluliselt kadusid vähendada. Neid iseloomustab näitajate poolest kõrge väljundpinge 0,4 – 20 kV ja lai võimsuste valik. Kõige enam kasutatakse neid suurtes päikeseelektrijaamades, kus on vajalik müüa võrku kõrgema pingega voolu. Näiteks Saksamaal paigaldatud 128 megavatise tipuvõimsusega päikesepargi puhul kasutati 114 tsentraalset inverterit Sunny Central 900CP XT, mille ühikuline maksimaalne väljundvõimsus on 1 MW. [33], [35], [36], [37], [38]

### 3.3 Paigaldus

**Paigaldamise** kulugrupi alla kuulub kõik, mis on seotud PV süsteemi paigaldamisega, sh nii töö kui ka materjal. Kõige rohkem sõltub paigaldamine just objekti ja projekti omadustest. On erinevaid katuseid ja nendele vastavaid paigaldusviise ning hinnad võivad erineda suures osakaalus.

#### 3.3.1 Paigaldusviisid ja nende mõju süsteemi maksumusele

**Viilkatusele** paneelide paigaldus on levinuim viis eramule ja suvilale PV süsteemi paigaldamiseks. Sõltuvalt katuse materjalist sõltuvad nii paigaldustarvikud, kui ka nende maksumus. Viilkatuse puhul võivad maksumused suures matus erineda sõltuvalt katuse materjalist. Viilkatuse üheks puuduseks on paneelide kehv jahutus, mis omakorda vähendab tootlikkust, nagu punktis 2.2.3 välja oli toodud. Pakkujatelt saadud informatsioonile tuginedes olid ilma käibemaksuta hinnad erinevatele katustele paigaldamiseks järgnevad (Lisa 5):

- Plekk-katus 0,89 – 1,01 €/W<sub>p</sub>
- Kivikatus 0,93 – 1,11 €/W<sub>p</sub>
- Trapetsplekk 0,68 – 1,05 €/W<sub>p</sub>

Antud hinnad on kogu süsteemi maksumused võimsustele vahemikus 10 – 200 kW. Nagu hindadest näha on, on viilkatusele paigaldades katuse materjalil väga suur mõju hinnale.

**Lamekatusele** päikesepaneelide paigaldamine on levinud viis kortermajade, ärihoonete ja ka lamekatusega eramajade puhul. Kui viilkatuse puhul mängis hinna puhul suurt rolli objekti katuse materjal, siis lamekatuse puhul ei mõjuta paneelide all oleva katuse materjal hinda nii suures osakaalus. Lõputöö raames saadud info põhjal olid kahe pakkuja hinnavahevahemikud lamekatusele paigaldades umbes 0,7 – 1,1 €/W<sub>p</sub> sõltuvalt alusraamistikust ja paigaldatud nimivõimsusest (Lisa 5).

**Maapinnale** paigaldus on pakkujate sõnul kõige soodsama W<sub>p</sub> hinnaga. Paigaldatakse alusraamile, mis on omakorda kinnitatud maapinnale. Kuigi tehnoloogiaid on erinevaid, siis selle paigaldusviisi hinnad jäävad vahemikku 0,68 – 0,83 €/W<sub>p</sub>. Arvestama peab, et need hinnad on antud pigem suurematele võimsustele, kuna pakkumised on mõeldud suuremate päikeseparkide ehitamiseks.

### 3.3.2 Paigaldustöö maksumus

Lisaks paigaldustarvikutele on vaja maksta ka vastavate spetsialistide töö eest. Selle töö maksumuste osas leidub vähe avalikku infot, kuna iga objekt on oma iseloomult erinev ning hinnad on eripärade osas üsna tundlikud. Ühes pakkujalt saadud näidispakkumises (Lisa 4) on toodud välja mõned hinnad. Ühe 280W päikesepaneeli paigaldamine 15€, alusraami paigaldus 10€/tk. Inverteri paigaldamine maksab 55€ ning häälestus 210€. Samuti tuleb ka paigaldada inverteri ja kilbi vaheline kaabel, mille jooksva meetri hinnaks on 1,42€ ning paigaldamine maksab 15€. Välja toodud hindadele lisandub käibemaks. Teine pakkuja on oma kodulehel avaldanud mõned orienteeruvad hinnad. 1 kW paigaldamiseks kulub hinnanguliselt 6 tundi ning töölise ühe tunni hind on 20€. Lisaks tööjõule tuleb arvestada ka paigaldaja vahendite kulu ja amortisatsiooni. Paigaldamises esineb ka mastaabiefekt, mis tuleb esile suuremate süsteemide puhul. [39]

### 3.4 Muud kulud

**Muud kulud** sisaldavad erinevaid lisakulutusi. Näiteks PV süsteemi paigaldamise projekti koostamine, elektrivõrguga liitumine väljamüügi eesmärgil ja ka hoolduskulud. Projekti koostamine sõltub suuresti projekti keerukusest ja paneelide paigalduseks vajalikust eeltööst. Antud lõputöö raames kasutatud hinnapakkumises oli 10 kW süsteemi projektijuhtimise kuluks välja toodud 162€ ja 200 kW süsteemi puhul 2214€ ilma käibemaksuta.

**Elektrivõrguga liitumise** maksumus sõltub erinevatest asjaoludest. Elektritootjaga liitumislepinguni jõudmiseks on paljud pakkujad valmis tasu eest abiks olema. Saadud hinnapakkumises oli ilma käibemaksuta küsitud selle eest 138€, sõltumata elektri jaama suurusest. Kuid see ei sisalda liitumislepingu tasu, mis tuleb maksta võrguettevõttele. Liitumislepingu tasu jääb üldjuhul vahemikku 300 – 1000€. Antud töö raames arvestatakse selleks summaks 500€. Seda alla 200 kW jaama puhul, kus ei ole vaja mingeid erakorralisi töid teostada. Suurtarbija puhul võib see summa küündida suuremaks juhul, kui varasem liitumine puudub. Üle 200 kW jaama võrku ehitamise puhul tuleb vastavalt Võrgueeskirjale paigaldada mõõtmisseadmed, mis edastavad piirkonna juhtimiskeskusesse reaalselt toodetava aktiiv- ja reaktiivvõimsuse ning pinge mõõtmise tulemused. Vastav seadmestik võib kogu päikesepargi maksumust oluliselt tõsta. Täpseid maksumusvahemikud on konfidentsiaalsed ja sõltuvad objekti eripäradest. [40], [41], [42]

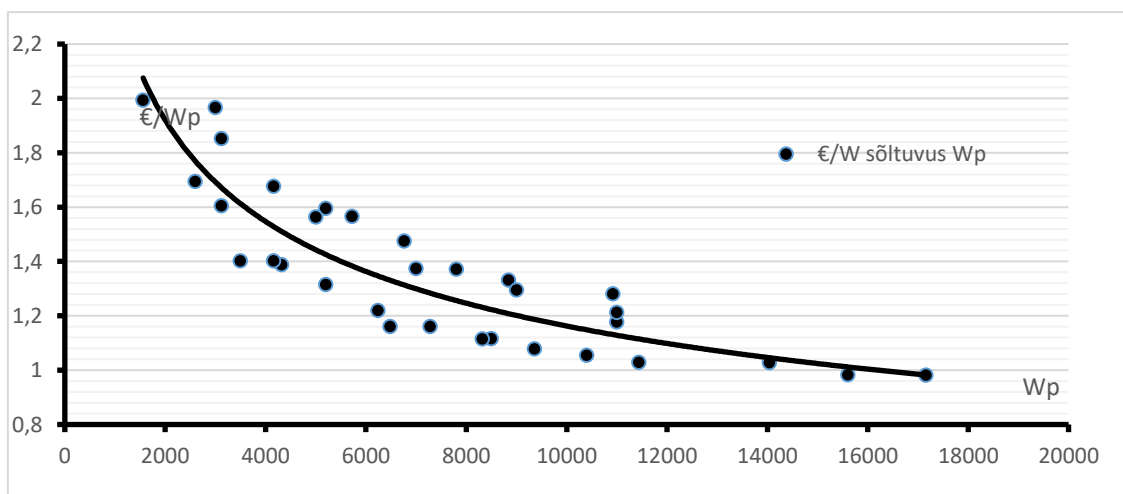
**Hoolduskulud** hõlmavad erinevaid puhastustöid ja ka seadmete ning konstruktsioonide seisukorda. Kuigi on erinevaid viise hoolduskulude arvutamiseks, siis antud töö raames on arvestatud aastaseks hoolduskuluks 0,5% algsest investeeringust. [24], [25]

### 3.5 Süsteemi maksumused erinevatele tarbijatele

Eelnevates alapeatükkides toodud maksumused on toodud välja erinevatele PV süsteemi osadele. Kogu süsteemi rajamise majanduslikku otstarbekust väljendavate arvutuste tegemiseks on vajalik leida hinnad kogu süsteemile. Kuigi täpseimate tulemuste saamiseks tuleks panna olemasolevatest andmetest kokku PV süsteemi komplektid, ei ole kogutud selleks piisavalt andmeid. Selles alapeatükis analüüsitakse autori poolt kätte saadud informatsiooni PV süsteemide hinnanguliste hindade kohta erinevatele tarbijatele ja leitakse keskendatud väärtused graafikul. Hinnad on välja toodud ühikul  $\text{€/W}_p$ , mis tähendab paigaldatud nimivõimsuse ja süsteemi maksumuse vahelist suhet.

#### 3.5.1 Väiketarbijad

Väiketarbijatele süsteemi maksumuse leidmine oli kolmest tarbijagrupist kõige lihtsam. Mitmetel pakujatel on kuni 15 kW komplektide hinnad kodulehel üleval. Kuigi erinevused hindade ja kvaliteedi poolest on suured, on võimalik peale kõikide hindade kogumist leida keskendatud väärtused graafikult (Joonis 3.1), kuhu on kantud erinevatelt pakujatelt erinevatele nimivõimsustele antud süsteemide ühikulised hinnad  $\text{€/W}_p$ . Hinnad tabeli kujul on toodud lisa 6. Lisaks on graafikus toodud hindade puhul arvestatud võrguga liitumise lepingutasuks 500€.

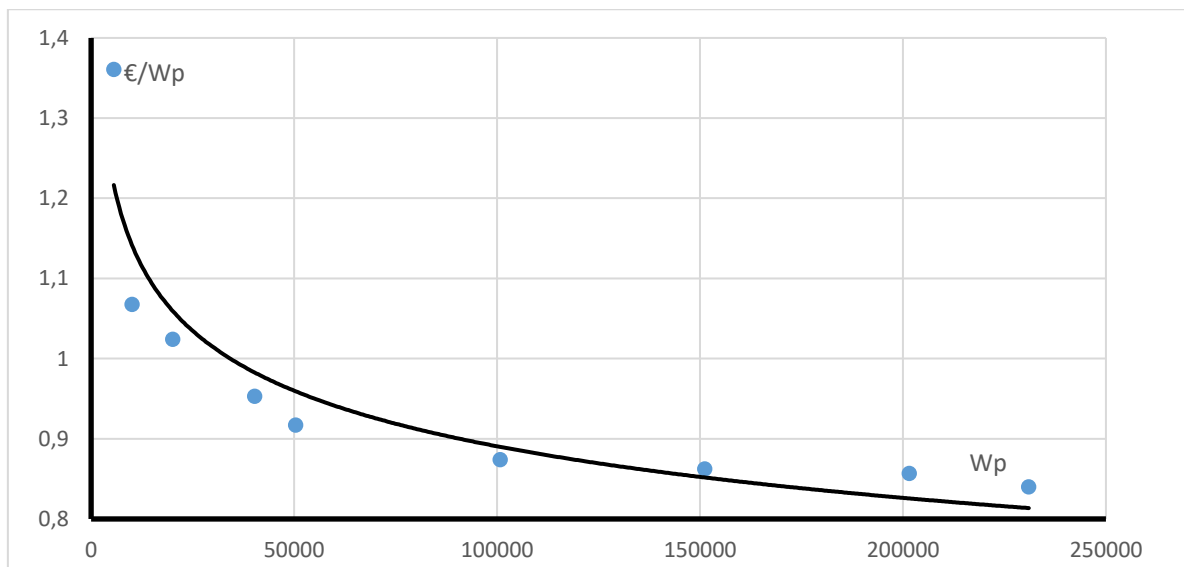


Joonis 3.1 Väiketarbija PV süsteemi hinna  $\text{€/W}_p$  sõltuvus paigaldatud nimivõimsusest ( $W_p$ )

Kuigi süsteemide hinnad võivad kõikuda sõltuvalt objektist, paigaldusest ja muudest faktoritest, kasutatakse selles töös teiste tarbijatega võrdluses (4. peatükk) keskendatud väärtuseid. Väärtused edasisteks analüüsideks võetakse graafikul välja joonistatud joonele jäävatest väärtustest. Graafikul välja toodud hinnad sisaldavad käibemaksu.

### 3.5.2 Kesktarbijad

Kui väiketarbijate puhul ei olnud keeruline leida pakkumisi, siis kuna nii kortermajade kui ärihoonete puhul tehakse enamasti individuaalseid pakkumisi, oli hindu keerulisem leida. Ühe paneelide müüja poolt saadetud hinnapakumiste alusel oli võimalus välja arvutada 10 – 200 kW PV süsteemide hinnad ja vastavalt saadud näitajatele luua graafik (Joonis 3.2). Saadud pakkumine on toodud lisas 4. Enamik informatsioon on ühe pakkuja poolt antud hind lamekatusele paigaldades. Seetõttu hinnad võivad teiste pakkujate poolt erinevad olla ja ei pruugi antud hinnad reaalsed keskmised olla. Selle jaoks on 4.3 alapeatükis viidud läbi tundlikkusanalüüs, kus on hinnatud ka süsteemi koguhinna mõju majanduslikule tasuvusele.



Joonis 3.2 Kesktarbija PV süsteemi hinna €/W<sub>p</sub> sõltuvus paigaldatud nimivõimsusest (W<sub>p</sub>)

Graafikult on näha, et mastaabiefekt on tuntav kuni 50 kW süsteemide puhul ja sealt edasi pidurdub oluliselt. Üle 100 kW süsteemide puhul on €/W<sub>p</sub> hindade vahed juba väiksemad. Graafikul toodud hinnad sisaldavad käibemaksu.

### 3.5.3 Suurtootjad

Suurtootjad ehitavad enamjaolt üle 200 kW nimivõimsusega päikeseelektrijaama ning kui kesk- ja väiketarbijate puhul oli €/W<sub>p</sub> sõltuv paigaldatud nimivõimsusest läbi mastaabiefekti, siis suurtootjate puhul on seosed erinevad. Nagu ka kesktarbijate graafikut (Joonis 3.2) vaadates oli võimalik järeldada, et üle 100 kW süsteemide puhul ei mängi mastaabisääst enam olulist rolli, on see sama ka suurtootjate puhul. Seoses suurema päikeseelektrijaamaga kasvab seadmetike arv, keerukus ja paigalduse maksumus ning teistest komponentidest tulenev mastaabisääst tasandatakse paigaldusega mineva suurema kuluga. Seda arvestades võib mõne üle 200 kW elektrijaama €/W<sub>p</sub> hind olla isegi kallim, kui kesktarbija graafikul välja toodud. Lisaks, alapeatükis 3.4 mainitud vajalikud mõõtmisseadmed üle 200 kW jaama puhul tõstavad hinda. Suurtootjate puhul on lõpphinna kujunemisel suuremat rolli mängimas paigaldusmeetodid, mille raames võib hind küllaltki suures osakaalus erineda. Töö käigus leiti, et üle 200 kW liitumislepinguga elektrijaama rajamise puhul on otstarbekam ehitada 2 eraldi liitumisega 200 kW jaama või alates 1 MW elektrijaam. Konkreetsemaid süsteemide hindu uurides olid tulemused erinevad sõltuvalt paigaldusest. Hinnad jäid vahemikku 0,7 – 0,83 €/W<sub>p</sub> kohta. Võrreldes väike- ja kesktarbijate hindadega, ei sisalda suurtootja hinnad käibemaksu. Koos käibemaksuga oleksid eelnevad hinnad vastavalt 0,84 – 0,99 €/W<sub>p</sub>. Kuna hinnad ei sõltunud paigaldatud nimivõimsusest, vaid pigem paigaldusmeetodist, pole võimalik suurtootjatele mastaabisäästu väljendavat graafikut luua.



## 4. TASUVUSANALÜÜS

Varasemalt uuritud peatükkidele tuginedes on PV süsteemide majandusliku otstarbekuse arvutamiseks vajalik teostada majandusliku tasuvuse analüüs, mis hõlmab endas majandusliku tasuvuse arvutamist ning näitajate tarbijate vahelist võrdlemist. Välja tuuakse kõikide tarbijate majanduslik tasuvus ning leitakse väärtused vastavalt standardtingimustele. Vastavad väärtused viiakse üle tundlikkusanalüüsi, kus analüüsitakse tasuvuse sõltuvust erinevate tegurite muutmisel, nagu näiteks omatarbimise osakaal, elektri hind, taastuenergia toetus ja ka paigaldus. Lisaks alginvesteeringule on tasuvus sõltuv elektri hinnast ning selle komponentidest. Antud peatüki esimeses alapeatükis leitakse vastavad keskendatud elektri hinnad erinevatele tarbijatele. Tasuvust väljendavaks näitajaks on töö raames valitud IRR, mis väljendab projekti sisemist tulumäära. Teisiti öeldes väljendab IRR, mida väljendatakse protsentides, mitme protsendi võrra aastas kasvab projekti paigutatud algne investeering. Selle arvutamiseks kasutatakse Excelis valemit IRR. Kuigi päikesepaneelide tasuvust väljendatakse tihti tasuvusaja kaudu, on IRR adekvaatne viis investeeringu tootlikkuse mõõtmiseks, kuna tarbija tahab teada, millist kasumit tema poolt päikesepaneelidesse paigutatud investeering tootma hakkab. [43]

### 4.1 Elektri ostu- ja müügihind

Päikesepaneelide tasuvusarvutuste üheks olulisimaks näitajaks on müüdava ja ostetava elektri hind, mis omavahel erinevad oluliselt. Elektri hinna olulisus seisneb selles, et kui investeering sõltub seadmete maksumusest, siis investeeringust saadav tulu elektri hinnast. Elektri hind sõltub omakorda küll väga paljudest teguritest, millest ükski ei ole otseselt paigaldatavate päikesepaneelide hulgast sõltuv. Küll aga on elektri hind kõikum ja hind muutub igal tunnil. Käesoleva töö raames ei olnud vajalik süveneda elektri hinda mõjutavatesse teguritesse, kuid arvutuste jaoks oli vajalik leida keskendatud väärtused nii võrgust ostetavale kui müüdavale elektrile. PV süsteemi poolt toodetud elektri rahaline väärtus sõltub kas säästetud elektriarvest või välja müüdud elektrist, kuid need summad on erinevad. Elektrit võrku müües makstakse tootjale vaid osa sellest, mis tuleks maksta elektrivõrgust elektrit ostes.

Ostetava elektri hind koosneb erinevatest komponentidest: elekter, võrgutasu, taastuenergia tasu, elektriaktsiis ja käibemaks. Kuigi osakaalud on ajas muutuvad, siis keskmiselt moodustavad ostetavast elektrist 33% elektrienergia, 36% võrgutasud, 21% käibemaks ja aktsiis ning 10% taastuenergia tasu. Välja toodud osakaalud on umbkaudsed, väljendamaks proportsionaalset

osakaalu. Kui päikesepaneelidega elektrit tootnud tarbija suudab kõik ära tarbida, on sisuliselt tuluks säästetud elektriarve, ehk 100% eelnevalt nimetatud osakaaludest. Kui aga osa elektrit jääb ise kasutamata ja see müüakse elektrivõrku, on tulu oluliselt väiksem. Elektrienergiat võrku müües saab tootja vaid elektrienergia hinna, ehk 33% sellest, mis säästetakse oma tarbeks kulutatud elektri korral. Ostu- ja müügihinna vahe vähendamiseks makstakse esimesed 12 aastat päikesepaneelidest elektritootjale taastuenergia toetust, mille summa on hetkel 0,0537 €/kWh. Seda makstakse välja müüdud elektri pealt ning seeläbi vähendab tarbitud ja välja müüdud elektri hindade erinevust esimeseks 12 aastaks. Antud erinevus tuuakse esile punkti 4.1.2 all olevas graafikus (Joonis 4.2). [44], [45]

### 4.1.1 Elektri ostuhind

Elektri ostuhind sisaldab erinevaid komponente. Elektrienergia, võrgutasu, elektriaktsiis, taastuenergia tasu ja käibemaks.

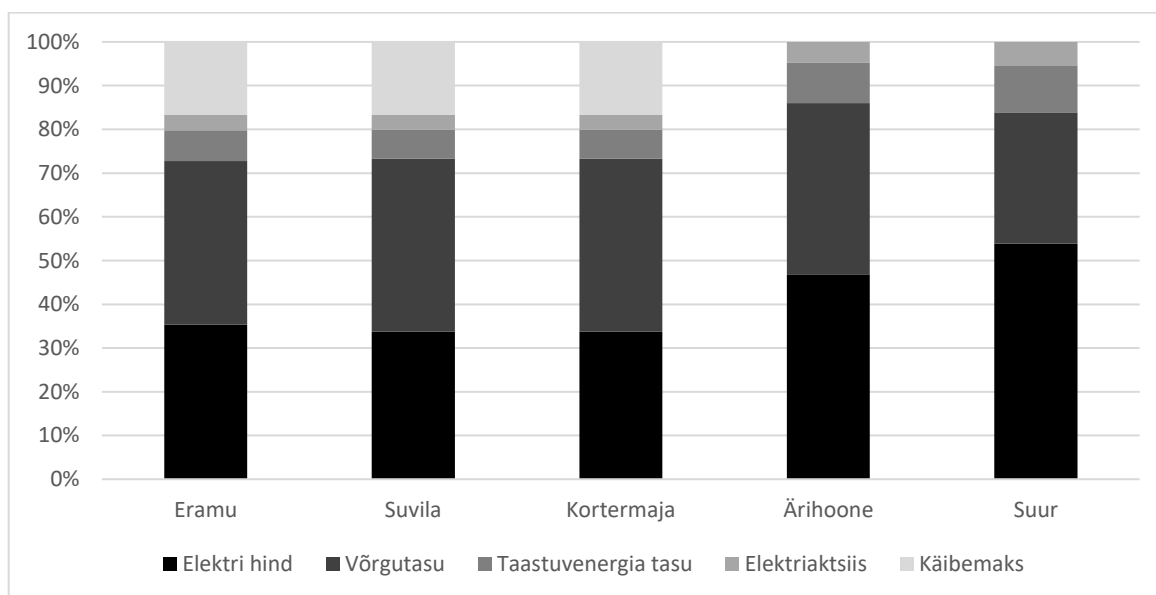
**Elektrienergia** hinnad on kõikumad nii aastate, kuude, nädalate kui ka tundide lõikes. Lisaks on hetkel elektrienergia turg avatud ning ka pakettide raames hinnad erinevad. Antud töö raames arvutuste tegemiseks on võetud Eesti Energia kodulehel asuvad viimase aasta keskmised päevased elektrienergia börsihinnad. Lisas 8 on välja toodud keskmised päevased elektrienergia hinnad koos marginaalidega kuude kaupa. Vastavalt kuude kaupa välja toodud keskmisele, on antud lõputöös kasutatud keskendatud elektri hinnaks 0,0448 €/kWh. See hind on kõikide tarbijate lõikes sama. [47]

**Võrgutasu** arvestamine on keerulisem kui kõikidele tarbijatele ühtse keskendatud elektrienergia hinna leidmine. Võrgutasu sõltub suuresti erinevatest pakkujatest ja pakettidest. Antud töös kasutatakse Elektrilevi poolt kasutatud hinnakirja. Vastavalt 01.11.2017 Elektrilevi poolt kehtestatud võrgutasu pakettidele on võimalik välja arvutada võrgutasud erinevatele tarbijatele. Arvutuste tegemisel võib järeldada, et mida suurem elektri tarbimine, seda väiksem on võrgutasu. Kuigi hinnakirjas ei ole öeldud konkreetseid €/kWh summasid, siis arvutades nende poolt soovitatud pakette vastavalt hoone peakaitsmele ja tarbimisele, on leitud vastavad keskmised väärtused, millega arvutada. Arvutuste tulemusel on saadud väikeste erinevustega võrgutasud tarbijate vahel. Võrgutasud on välja toodud lisas 7, kus on välja toodud kõik elektri ostuhinna komponendid antud töös käsitletavatele tarbijatele. Kui eramaja, suvila ja kortermaja puhul on võrgutasud väga sarnased, siis ärihoone puhul on tarbitud elektri kogus suurem ning seega võrgutasu väiksem. Suurtootja puhul võib jääda arusaamatuks, et milleks arvutada välja elektri

ostuhinda, kui päikeseelektrijaam ehitatakse vaid elektri müügiks. Antud võrgutasu summa 0,025 €/kWh on lisatud sellel eesmärgil, et juhul kui päikeseelektrijaam ehitatakse mõne tööstusettevõtte kõrvale ning tekib võimalus nendele otse müüa, saaksid nad pakkuda elektrit ostjale turuhinnast odavamalt ning samas endale võimalikult kasumliku hinnaga. [47], [48]

**Elektriaktsiis, taastuenergia tasu ja käibemaks** on fikseeritud summad. Elektriaktsiis on 1. märtsil 2010 avaldatud elektriaktsiisi määra järgi 0,00447 €/kWh. Taastuenergia tasu arvutab põhivõrguettevõtja Elering, kes iga aasta 1. detsembril avaldab järgmise kalendriaasta taastuenergia tasu suuruse. 2018. aastal on see 0,0089 €/kWh. 2017. aastal oli sama näitaja 0,0104 €/kWh, mis näitab, et viimasel aastal toimus oluline langus. Kuigi keskmine summa aastatel 2010-2018 on 0,0091 €/kWh, kasutatakse antud töös 2018. aasta väärtust, mis kajastab hetkeseisu ja erineb väga vähe viimase 9 aasta keskmisest. Käibemaksu määr on 20% ning hetkel muutumatu suurus. [48], [49], [50]

**Elektri ostuhinnad** on tarbijate lõikes erinevad ning graafikul (Joonis 4.1) on välja toodud komponentide osakaalud. Täpsemad maksumused on välja toodud lisa 7.

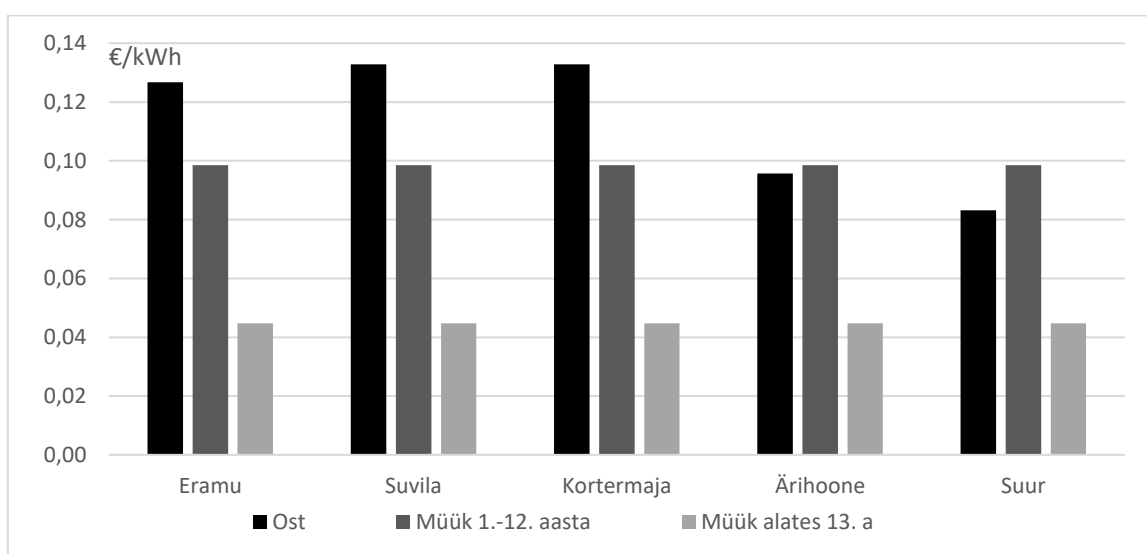


Joonis 4.1 Elektri ostuhinna komponentide osakaalud erinevatel tarbijatel (Lisa 7)

## 4.1.2 Elektri müügihind

**Elektri müügihind** on tarbijate lõikes sama, kuna elektrit müüakse börsihinnaga. Kuid arvestades hinna sisse ka taastuenergia toetus, erineb müügihind aastate lõikes. Esimesed 12 aastat lisandub

müüdavale elektri börsihinnale taastuenergia toetus 0,0537 €/kWh. Taastuenergia toetus on elektrituruseadusega määratud toetus, mis on mõeldud taastuenergia tootjatele. Eesmärgiks on soodustada taastuenergiat tootvate elektrijaamade kasutuselevõttu. Tänu toetusele lüheneb oluliselt investeeringute tasuvusaeg, mis omakorda soodustab vastavate investeeringute tegemist. Taastuenergia toetuse suuruseks on 0,0537 €/kWh päikeseenergia tootjatele. Toetus määratakse esimeseks 12 aastaks ning seda maksab vastavalt elektrituruseadusele põhivõrguettevõtte Elering, kes on ka taastuenergia tasude koguja. Esimesel 12. aastal koosneb elektri müügihind elektrienergia börsihinnast ja taastuenergia toetusest. Ostu- ja müügihinna võrdlus on toodud graafikul (Joonis 4.2). [45]



Joonis 4.2 Elektri ostu- ja müügihinna võrdlus tarbijatele

Ostuhind erinev tarbijate lõikes. Müügihinnad on kõigile tarbijatele arvestatud võrdsetena. Esimesel 12 aastal 0,0985 €/kWh ja 13. aastast alates 0,0448 €/kWh. Kuigi eramu, suvila ja kortermaja hinnad ja erinevused ostu- ja müügihindade vahel on sarnased, siis ärihoone on siinkohal erandiks. Kuna elektri ostuhind on ärihoone puhul käibemaksu võrra odavam, kuid väljamüügi hind on teistega sama, siis esimesel 12 aastal pole ärihoonel vahet, kas ostetakse elektrit sisse või müüakse välja. See ka langetab ärihoone sõltuvust omatarbimise osakaalust. Alates 13. aastast langeb müügihind ja omatarbimise osakaalu tõstmine mõjutab oluliselt majanduslikku tasuvust. Suurtootjate puhul on ka vajalik ära märkida, et graafikul (Joonis 4.2) välja toodud ostuhinda ei ole antud töös olevate arvutuste puhul arvestatud, kuna omatarbimine on 0%. Antud ostuhind väljendab vaid võimalust müüa turuhinnast odavama hinnaga elektrit suurtootja lähedal asuvale suurtarbijale, kuid see on pigem erand ja võimalik lahendus tasuvuse tõstmiseks.

## 4.2 Investeeringute tasuvusanalüüs standardtingimustel

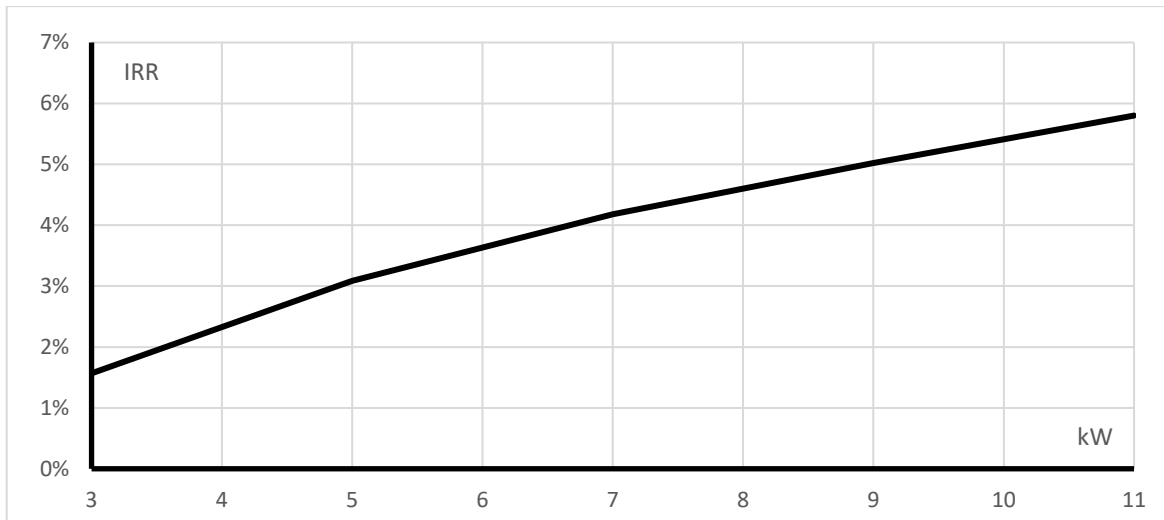
Antud alapeatükis tuuakse välja eelmainitud tarbijatele tasuvuse sõltuvused paigaldatud võimsusest. Erandiks on suurtarbija, mille puhul mastaabiefekti välja ei tule, kuid saab mõõta IRR sõltuvust keskmisest süsteemi ühikhinnast €/W<sub>p</sub>. PV süsteemide tasuvuse arvutamisel on palju tegureid, mis võivad olla muutlikud ja sõltuda erinevatest muutujatest. Selleks aga, et võrrelda omavahel tarbijaid ja nende tasuvust, on vaja sätestada standardtingimused. Kui mõned tingimused, nagu näiteks süsteemi võimsus ja omatarbimise osakaal, on tarbijagrupidel erinevad, siis mitmed standardtingimused on samad. Ühisteks standardtingimusteks on valitud:

- Aastased hoolduskulud 0,5% algsest investeeringust (pt 3.4);
- Päikesepaneelide degradeerumine, ehk tootlikkuse vähenemine esimesel aastal 3% ja järgnevatel aastatel 0,5% aastas (pt 2.3.2);
- PV süsteemi eluiga 30 aastat (pt 2.3.2);
- Elektri hinnad on fikseeritud vastavalt 4.1 alapeatükis välja toodud graafikule (Joonis 4.2);
- 1 kW süsteemi aastane elektrienergia toodang väiketarbijatele tehtud pakkumiste keskmised (Lisa 6). Kesktarbijatele ja suurtootjatele on autor otsustanud vastavalt varasemalt analüüsitle valida 1 kW süsteemi toodanguks 950 kWh aastas.

Tundlikkusanalüüsiks on vajalik leida igale tarbijale vastavad omatarbimise osakaalud. Punktides analüüsitud IRR sõltuvusi paigaldatud nimivõimsusest on arvatud vastavalt ühes varasemalt teostatud uuringus kasutatud omatarbimise osakaaludele. Lisaks standardtingimustel investeeringute välja toomisele arvutatakse selle alapeatüki raames välja ka IRR-i sõltuvus paigaldatud nimivõimsusest ja omatarbimise osakaalust. [51]

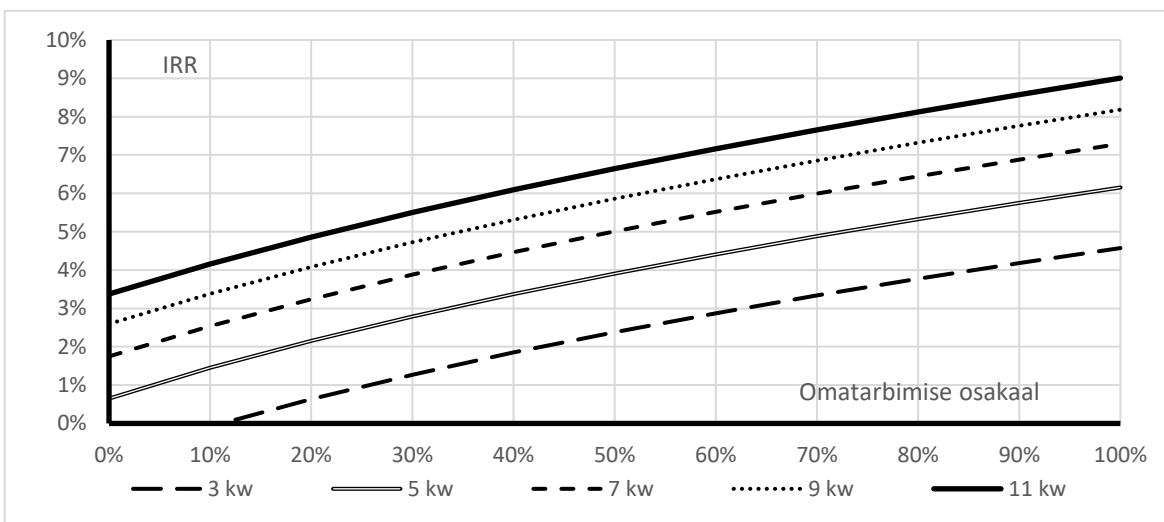
### 4.2.1 Väiketarbija

Väiketarbija hindade ja nimivõimsuste vahelist seost väljendava graafiku (graafik 3.1) ja alapeatükis 4.1 välja toodud hindade abil on võimalik leida seos IRR ja paigaldatud nimivõimsuse vahel. Selle seose leidmiseks on vajalik ka täpsustada omatarbimise osakaalu. Varasemalt teostatud analoogsetes uuringutes on kasutatud eramaja omatarbimise osakaaluks 35%. Seda osakaalu arvestades leiame graafikul (Joonis 4.3) IRR-i sõltuvuse paigaldatud nimivõimsusest. Graafikult on näha, et mida suurem nimivõimsus 35% omatarbimise juures, seda tasuvam süsteem on. [51]



Joonis 4.3 IRR sõltuvus paigaldatud võimsusest väiketarbijatele

**Omatarbimise** mõju tasuvusele on küllaltki suur ja selle iseloomustamiseks sobib graafik (Joonis 4.4), kus on toodud 5 erineva nimivõimsusega väiketarbijale mõeldud PV süsteemi IRR sõltuvus omatarbimisest. Siit saab ka järeldada, et 3 kW süsteemi paigaldamine alla 20% omatarbimise juures on negatiivse sisemise tulumääraga. Arvestades väiksema tarbimisega suvilat, siis graafiku järgi on 11 kW paigaldamine 0% omatarbimise osakaaluga kõrgema IRR-ga, kui 50% omatarbimisega 3 kW süsteem.

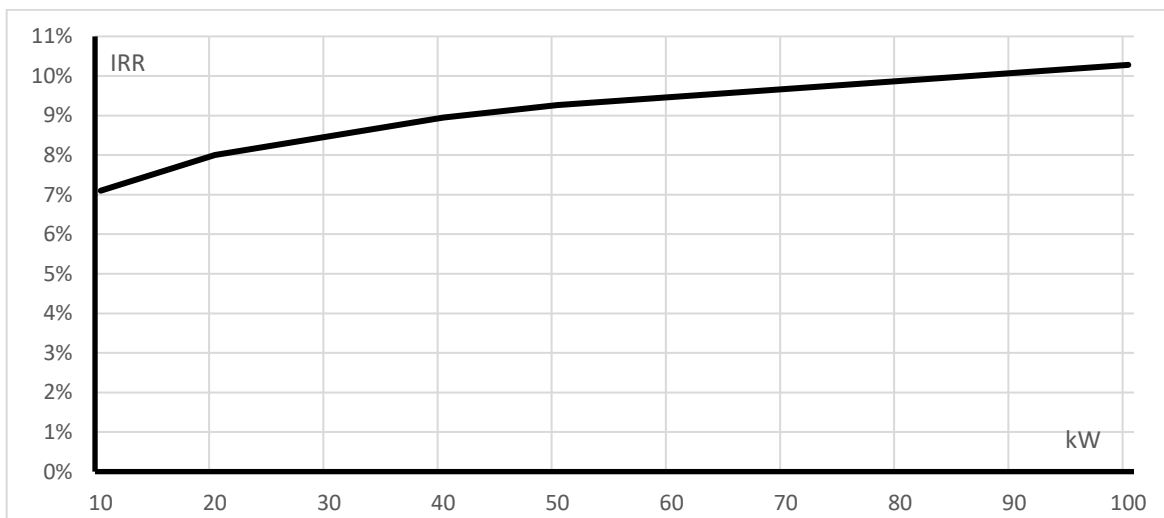


Joonis 4.4 IRR sõltuvus omatarbimise osakaalust erinevate eramaja süsteemi võimsuste juures

**Tundlikkusanalüüsi** jaoks kasutame väiketarbijatest 9 kW süsteemi 35% omatarbimisega. Nende näitajatega võrdleme väiketarbijaid teiste tarbijatega. Kuigi väiketarbijate grupi alla käisid nii eramu kui ka suvila, siis kuna suvilate ja eramute puhul on suurimaks erinevuseks omatarbimise osakaal ja minimaalne elektri hinna vahe, võrreldakse teiste tarbijatega tundlikkusanalüüsi raames vaid 9 kW ja 35% omatarbimisega eramu näidet.

## 4.2.2 Kesktarbija

Kesktarbijate grupi alla kuuluvad nii kortermajad kui ka ärihoone. Nende ühiseks jooneks on sarnased paigaldusmahud, mis jäävad väiketarbijate ja suurtootja vahele. Lisaks on mõlema tarbija puhul kõige levinum paigaldusviis lamekatusele paigaldamine. Ärihoonete puhul on paigaldatavad võimsused üldjuhul suuremad kortermajadest, sest suuremad on nii tarbimismahud, investeerimisvõimalused kui ka katuse pindala. Investeeringute poolest erinevad kortermaja ja ärihoone maksustamise põhimõtted. Kui ärihoone saab PV süsteemi kogumaksumuselt käibemaksu riigilt tagasi, kuna tegemist on ettevõtlusega seotud kuluga, siis kortermajade puhul on enamjaolt tegemist mittetulundusühingutega, kellel sisendkäibemaksu sellisel kujul tagasi nõuda pole võimalik. Viimaseks erisuseks antud punkti all võrreldavate tarbijate vahel on omatarbimine. Kuna ärihoone puhul langeb tootmise ja tarbimise graafik hästi kokku, on omatarbimise osakaal kortermajade omast kõrgem. [50]

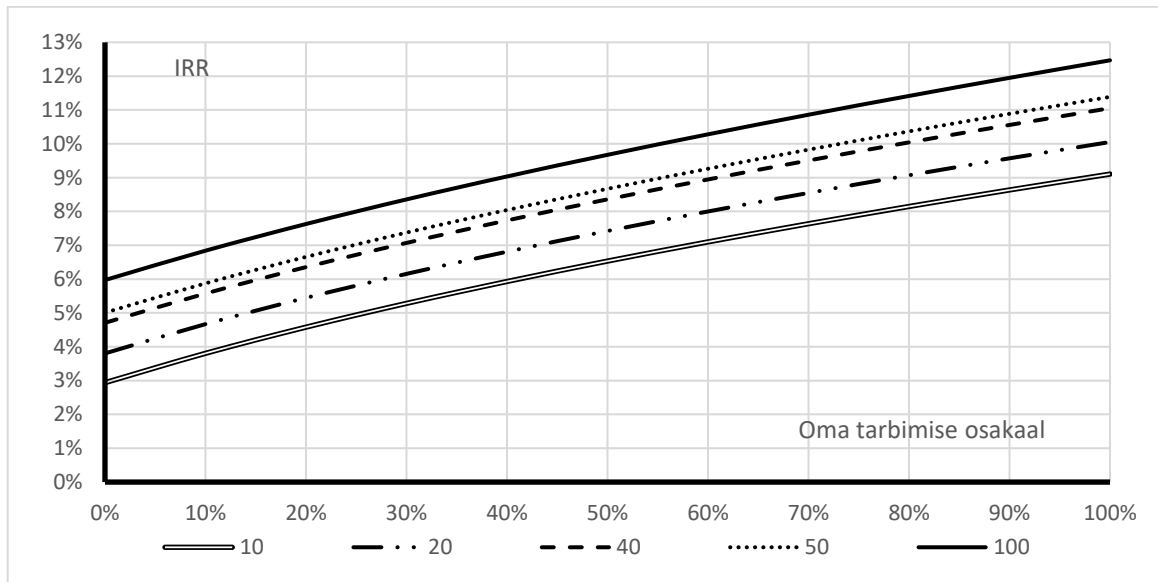


Joonis 4.5 IRR sõltuvus paigaldatud võimsusest kortermajade puhul

**Kortermajade** tasuvuse sõltuvust paigaldatud nimivõimsusest iseloomustab hästi graafik (Joonis 4.5). Graafik näitab IRR sõltuvust paigaldatud nimivõimsusest 60% omatarbe juures. Omatarbimise osakaal on sarnaselt väiketarbijale võetud varasemates uuringutes kasutatud väärtustest. Graafik iseloomustab mastaabiefekti ning paigaldatud nimivõimsuse mõju IRR-le. Samuti on märgata, et mastaabiefekt väheneb  $W_p$  kasvades. [51]

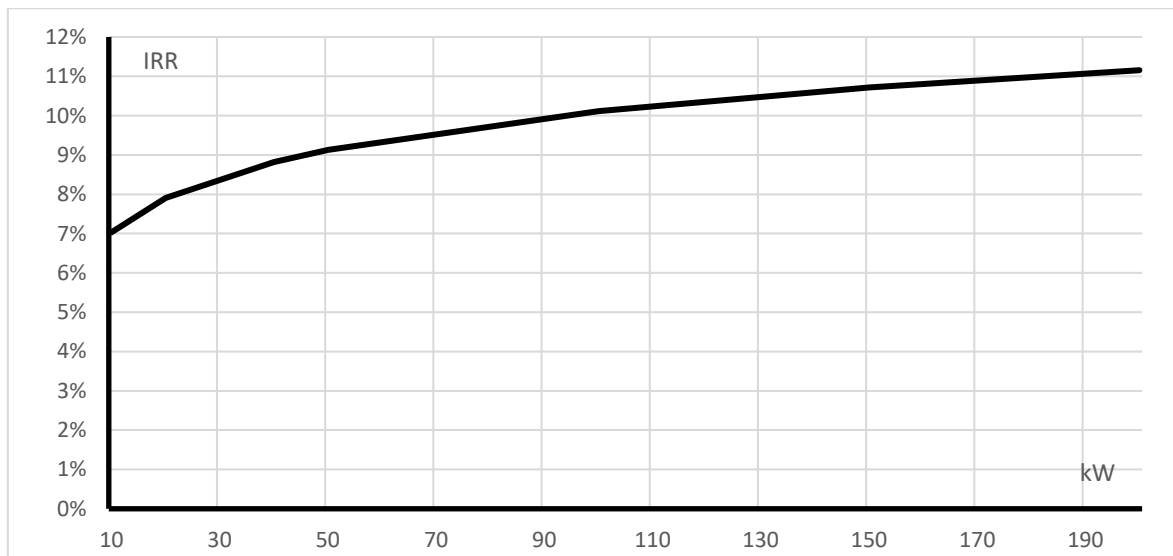
Kui eelmine graafik oli toodud 60% omatarbimise juures, siis on antud näitaja ikkagi sõltuv tarbimisgraafikutest, mis erinevad sõltuvalt kortermaja elanike tarbimisharjumustest.

Omatarbimise osakaalu mõju IRR-le kortermajade puhul väljendab hästi järgnev graafik (Joonis 4.6). Sarnaselt väiketarbijatele on madalama võimsuse ja väikese omatarbimise osakaaluga sisemine tulumäär madal. Samas, võrreldes väiketarbijatega, on IRR-i väärtused üldiselt kõrgemad just madalama €/W<sub>p</sub> alginvesteeringu ja suurema omatarbimise osakaalu tõttu.



Joonis 4.6 IRR sõltuvus omatarbimise osakaalust erinevate kortermaja süsteemi võimsuste juures

**Tundlikkusanalüüsi** tarbeks valitakse kortermajade näitel 50 kW süsteemi 60% omatarbimise osakaaluga. Kuigi süsteemide suurused ja omatarbimise osakaalud võivad erineda, on just need keskendatud väärtused sobivad keskmised võrdlemaks teiste tarbijate standardlahendusi.

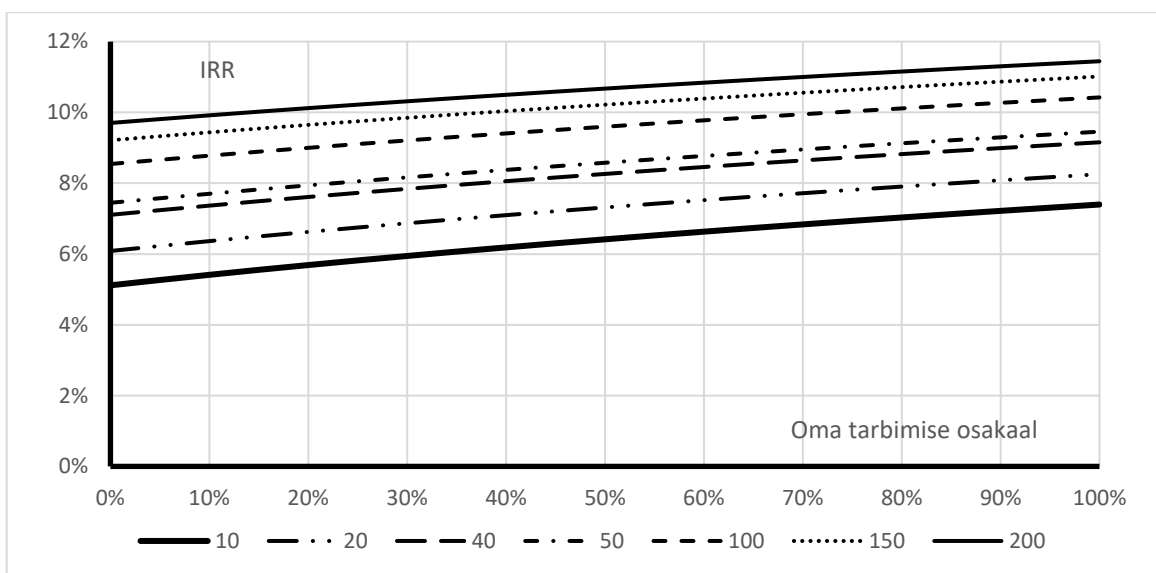


Joonis 4.7 IRR sõltuvus paigaldatud võimsusest ärihoone puhul



**Ärihoone** puhul on toodud IRR-i sõltuvus paigaldatud nimivõimsusest graafikul (Joonis 4.7). Näitajad on välja toodud 80% omatarbimise osakaalu juures. See näitaja on valitud vastavalt varasemas sarnases uuringus kasutatud väärtusele. Võrreldes ärihoone ja kortermajade graafikuid (joonis 4.7, joonis 4.5) on tulemused väga sarnased. [51]

Ärihoone omatarbimise osakaal on suurem, kui teistel tarbijatel. Kuna ärihoone puhul on elektri ostu- ja müügihindade vahe esimesel 12 aastal väga väike, on ärihoone ka vähem tundlik omatarbimise osakaalu muutumisele. Seda näitab selgelt ka omatarbimise mõju IRR-le väljendav graafik (Joonis 4.8). Omatarbimise mõju IRR-le tarbijate lõikes tuuakse välja ka 4.3 alapeatüki alguses olevad tabelis (Tabel 4.1)



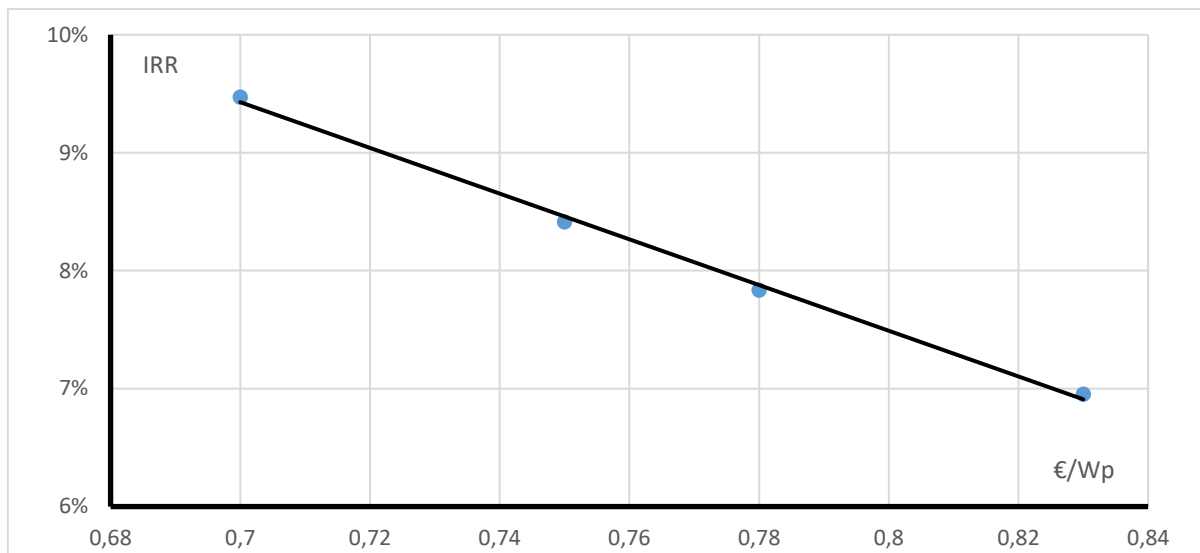
Joonis 4.8 IRR sõltuvus omatarbimise osakaalust erinevate ärihoone süsteemi võimsuste juures.

**Tundlikkusanalüüsi** tarbeks valitakse standardlahenduseks ärihoone puhul 100 kW süsteemi 80% omatarbimise osakaaluga. Sarnaselt eelnevatele tarbijatele on nimivõimsuste vahemikud laiad ja ka omatarbimise osakaalud erinevad. Kuid antud näitajad on autori arvates sobivaimad keskendatud väärtused tarbijate vahelise tundlikkusanalüüsi läbiviimiseks. 100 kW on piir, millest suurema elektri jaama rajamisel on vaja taotleda elektriettevõtja tegevusluba. [52]

### 4.2.3 Suurtootja

Erinevalt väike- ja kesktarbijatest ei ole suurtootjate puhul mastaabisäästu väljendavat graafikut võimalik luua. Hind sõltub rohkem paigaldustehnoloogiast ja objekti omapärast, kui paigaldatud nimivõimsuse mahust. Antud väärtused on välja toodud punktis 3.5.3 ja kuigi ei ole võimalik luua

graafikut, mis väljendaks IRR sõltuvust paigaldatud nimivõimsusest ja tooks välja selge sõltuvuse, on võimalik luua IRR sõltuvust päikeseelektrijaama ühiku hinnast €/W<sub>p</sub>. Antud sõltuvust väljendab graafik (Joonis 4.9).



Joonis 4.9 IRR sõltuvus elektrijaama €/W<sub>p</sub> hinnast suurtarbijate puhul

Graafikul on näha, et seos on lineaarne ja IRR kõigub vahemikus 7 – 9,5%. Antud töö raames uuritud hinnapakumiste hulgas oli üks konkreetne pakkumine hinnaga 0,7 €/W<sub>p</sub> elektrijaamale võimsusega 1200 kW. Kuna alla 1 MW päikeseelektrijaama ehitamise puhul võib €/W hind tõusta erinevate väärtuste võrgu teenusepakkujale edastamiseks vajalike seadmete soetamisele, on sellises suurus elektrijaama tundlikkusanalüüsi lisamine sobivaks näiteks. Kuid kuna antud pakkumise raames välja toodud hind ei sisalda elektrivõrguga liitumiseks vajalikke lisaseadmeid, lisame süsteemi hinnale juurde hinnangulised 60 000€, mis teeb süsteemi ühikhinnaks 0,75 €/W. Just selle ühiku hinnaga ja 1200 kW suuruse süsteemiga andmeid kasutatakse tundlikkusanalüüsis teiste tarbijatega võrdlemisel. Omatarbimise osakaaluks arvestatakse 0%, sest kogu toodang müüakse võrku.

### 4.3 Tundlikkusanalüüs

Eelmises alapeatükis toodi välja erinevate tarbijate standardväärtused tundlikkusanalüüsi lisamise eesmärgil. Need väärtused on veel välja toodud tabelis (Tabel 4.1). Standardtingimustel arvatud süsteemide rahavoogude tabel on lisa 9. Antud alapeatüki eesmärgiks on kajastada graafikute abil tarbijate sõltuvusi erinevatest tasuvust mõjutavatest muutujatest. Kui süsteemi maksumus mõjutab tasuvust läbi alginvesteeringu summa, siis on veel ka teisi näitajaid, mis IRR-i mõjutavad.

Elektri hinnast sõltub PV süsteemi poolt toodetud elektrienergia väärtus. Lisaks mängib olulist rolli ka paigaldus. Erinevate nurkade või ilmakaarte suunas asetatud paneelide tasuvused on erinevad optimaalseima paigutusega PV süsteemi tasuvusest. Lisaks on suur mõju tasuvusele ka omatarbimise osakaalul, mida eelnevas alapeatükis iga tarbija lõikes eraldi analüüsiti.

Tabel 4.1 Tundlikkusanalüüsiks vajalikud standardtingimused

Standardtingimused	Eramu	Korterimaja	Ärihoone	Suurtootja
Omatarbimise osakaal	35%	60%	80%	0%
Võimsus (kW)	9	50	100	1200
IRR standardtingimustel	5,02%	9,26%	10,11%	8,41%

### 4.3.1 Omatarbimise mõju

4.2 alapeatükis olid välja toodud erinevate tarbijate sõltuvused omatarbimise osakaalust. Kui arvutada välja kõikide tarbijate puhul IRR väärtuste vahed 0% ja 100% omatarbimiste juures, on võimalik võrrelda, milline tarbija on kõige vähem ja kõige rohkem sõltuv omatarbimise osakaalust. Erinevust ilmestab järgnev tabel (Tabel 4.2). Tegemist on keskmiste väärtustega, mis on saadud kõikide võimsuste juures saadud  $\Delta$ IRR keskmise tulemusena.

Tabel 4.2 IRR muut 0% ja 100% omatarbimise juures erinevatele tarbijatele

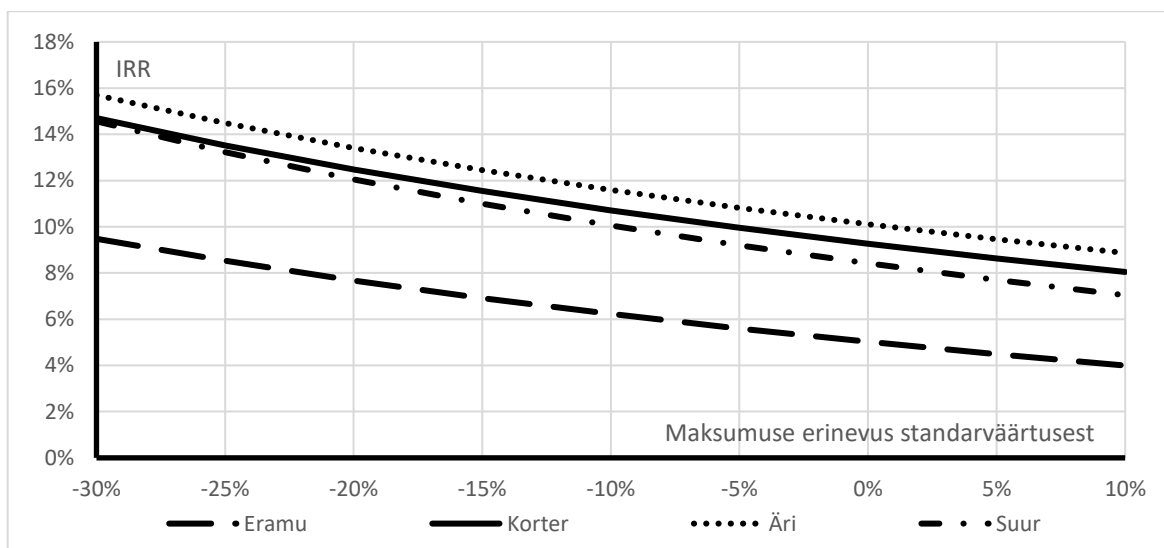
	Eramu	Korterimaja	Ärihoone
IRR <sub>0%</sub>	1,49%	4,49%	7,60%
IRR <sub>100%</sub>	7,04%	10,81%	9,59%
$\Delta$ IRR	5,55%	6,33%	1,99%

Eramu ja korterimaja puhul omatarbimise osakaalul IRR-le sarnane mõju. Ärihoone puhul on mõju oluliselt väiksem ning see on seotud elektri ostu- ja müügihinna vähese erinevusega esimesel 12 aastal.

### 4.3.2 Süsteemi maksumuse muutumine

Antud töö raames välja toodud keskendatud hinnad on välja toodud vastavalt saadaolevatele allikatele, kuid reaalsuses võivad hinnad vastavalt objektide omapärale või ka turul olevate hindade muutuse tõttu erineda siin välja toodust. Hindade tõusule ja langusele vastavalt võib osutada süsteem ka mitte tasuvaks või vastupidi, standardtingimustest veelgi tasuvamaks. Järgnev graafik (Joonis 4.10) väljendab IRR sõltuvust algsest investeringust. 0% juures on toodud välja eelnevalt

mainitud standardväärtused. Negatiivsed protsendid väljendavad hinna vähenemist. Teisalt võib algse investeeringu vähenemine väljendada ka mõne riikliku toetuse saamist, mis omakorda langetab PV süsteemi soetaja investeeringule kuluvat kogusummat. Hinnatõus, mis on väljendatud positiivse protsendina, väljendab vastavalt objekti eripärast tulenevat hinnatõusu või ka vajadust 30 aasta jooksul mõni PV süsteemi osa välja vahetada. Näiteks võib vajalikuks osutuda inverteri väljavahetamine.



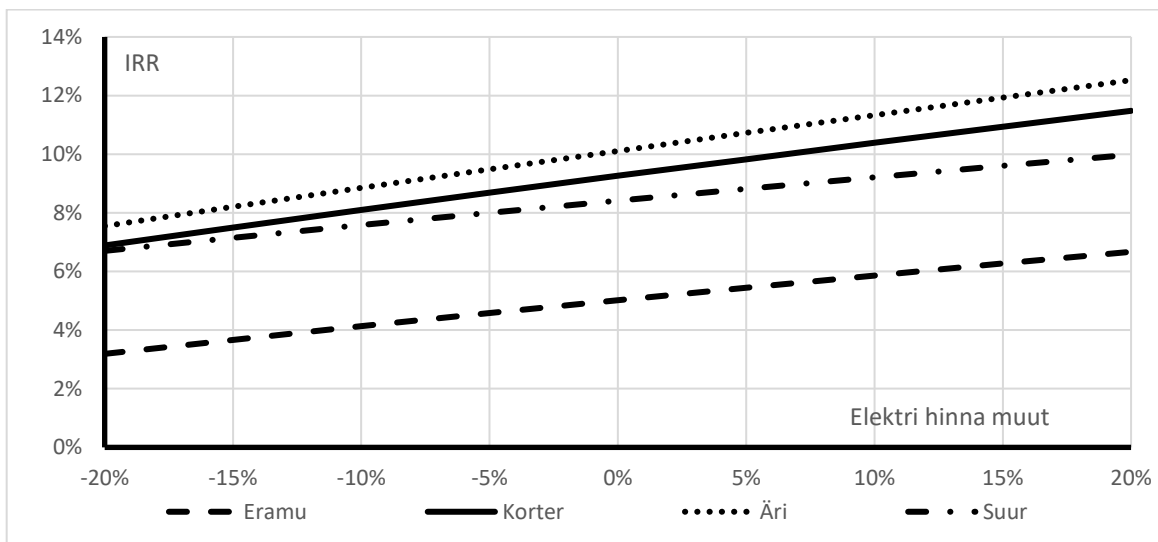
Joonis 4.10 IRR sõltuvus PV süsteemi hinna muudust erinevatele tarbijatele

Jooniselt (Joonis 4.10) tuleb hästi välja ka tarbijate vaheline erinevus. Kui kesktarbijad ja suurtootja on väga sarnaste väärtustega, siis väiketarbija IRR väärtused on oluliselt madalamad. 10% hinnatõusu korral langeb eramu IRR 4% piirimaile, ülejäänud tarbijate puhul jääb IRR üle 7%. Lisaks, kui ärihoone ja kortermaja jooned liiguvad paralleelselt, siis suurtootja puhul tõuseb IRR süsteemi hinna langemisel rohkem, kui ärihoone ja kortermaja puhul.

### 4.3.3 Elektri hinna ja taastuvenergia toetuse mõju

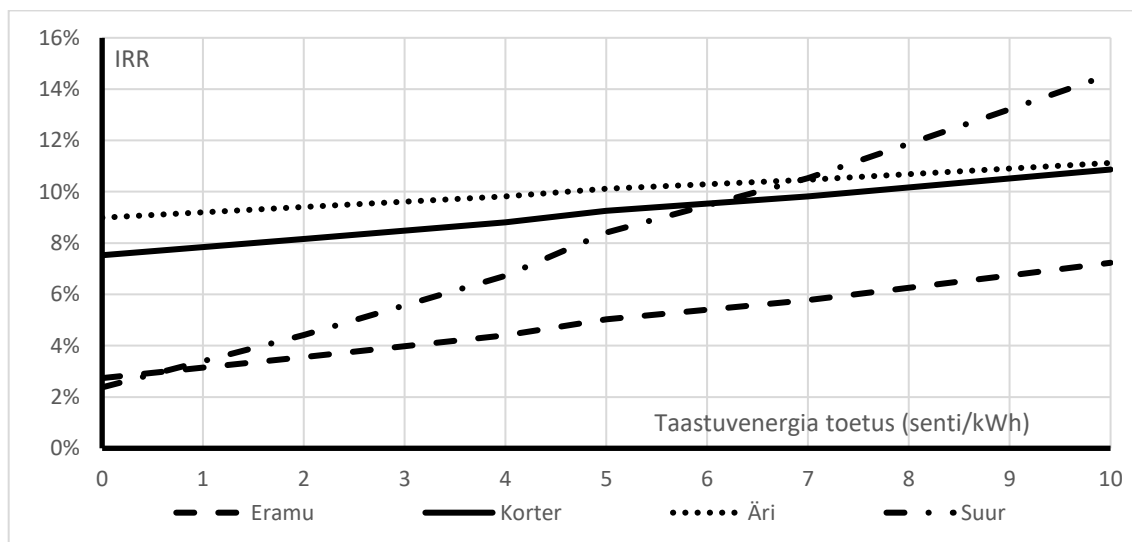
Investeeringu suurus mõjutab tasuvust eelkõige väljaminekute poolest. Tasuvus sõltub teiselt poolt ka investeeringust tagasi saadavast tulust. PV süsteemi tuluaallikaks on kas säästetud elektriarve või välja müüdüd elektrist saadav tulu. Kuna elektri hind on muutuv, on oluline vaadelda, kuidas muutub PV süsteemi tasuvus elektri hinna muutumisel. Samuti võib muutuda ka taastuvenergia toetuse maksmise kord.

**Elektri hinna** mõju IRR-le väljendava graafiku (Joonis 4.11) puhul on arvestatud standardväärtuseks 0%. Positiivse väärtusega protsendid väljendavad elektri hinna kasvu ja negatiivsed elektri hinna alanemist. Muutuse % väljendab hinna muutust kõikidele elektri hinna komponentidele peale taastuenergia toetuse. Selle mõju analüüsitakse eraldiseisvalt. Joonisel (Joonis 4.11) analüüsitud elektri hinna muudu % väljendab hetke hinna muutumist ja selle hinna säilimist järgmised 30 aastat.



Joonis 4.11 IRR sõltuvus elektri hinna muudust erinevatele tarbijatele

Jooniselt (Joonis 4.11) on selgelt näha, et elektri hinna alanemine vähendab PV süsteemide tasuvust. Visuaalselt hinnates on suurtootja kõige vähemal määral mõjutatud elektri hinna muutumisest. Seda tõenäoliselt põhjusel, et kuna suurtootja müüb 100% elektrist võrku ja on seeläbi kõige suuremas sõltuvuses taastuenergia toetusest, mille muutu antud graafikul kajastatud ei ole.



Joonis 4.12 IRR sõltuvus taastuenergia toetuse suurusest erinevatele tarbijatele

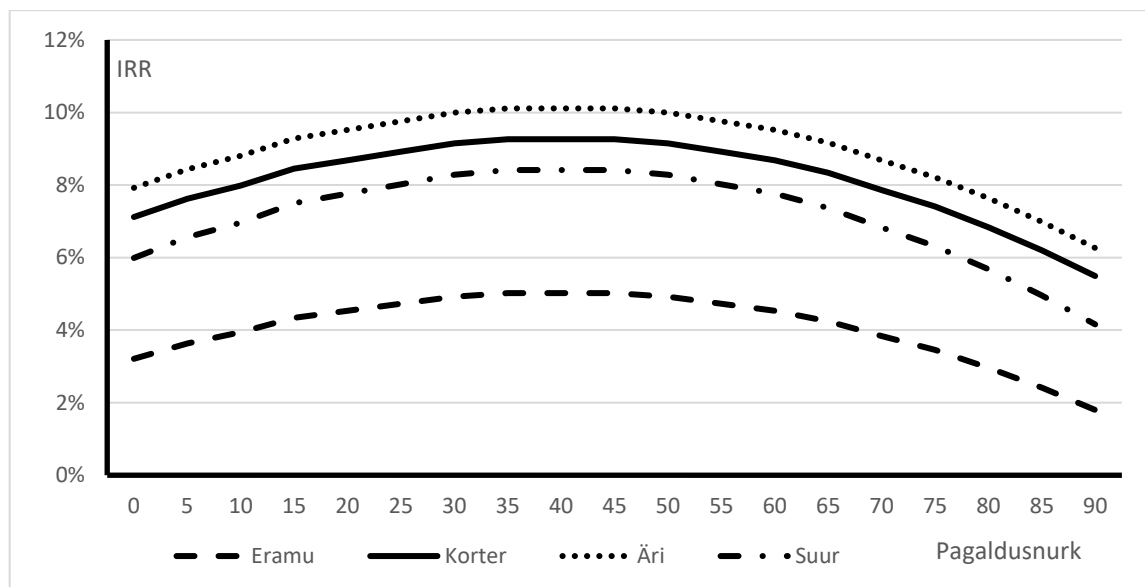
**Taastuenergia toetus** on eelkõige määratud taastuenergiat tootvate elektrijaamade rajamise soodustamiseks. Kuid kuna PV süsteemide hinnad muutuvad, siis peab ka toetuste määrasid teatud aja jooksul muutma. Järgnev graafik (Joonis 4.12) väljendab IRR sõltuvust taastuenergia toetuse suurusest. Graafikul on toodud väärtused vahemikus 0 – 10 senti/kWh. Standardväärtuseks on 5,37 senti/kWh.

Kui varasematel tundlikkusanalüüsi graafikutel on erinevate tarbijate sõltuvusi näitavad jooned olnud peaaegu paralleelsed, siis antud graafikul eristub teistest suurtootja. Graafiku järgi vaadates sõltub suurtootja majanduslik tasuvus taastuenergiatoetusest rohkem kui teised. Kui graafikul välja toodud taastuenergia toetuste vahemikus on suurtootja IRR-de vahe üle 12%, siis ärihoone puhul on see vaid 2%. Kuigi hea on, et kõikide tarbijate puhul jääks toetuste lõppemise puhul IRR väärtus positiivseks, oleks nii suurtootja kui väiketarbija puhul tegemist madala sisemise tulumääraga.

#### **4.3.4 Paigalduse mõju**

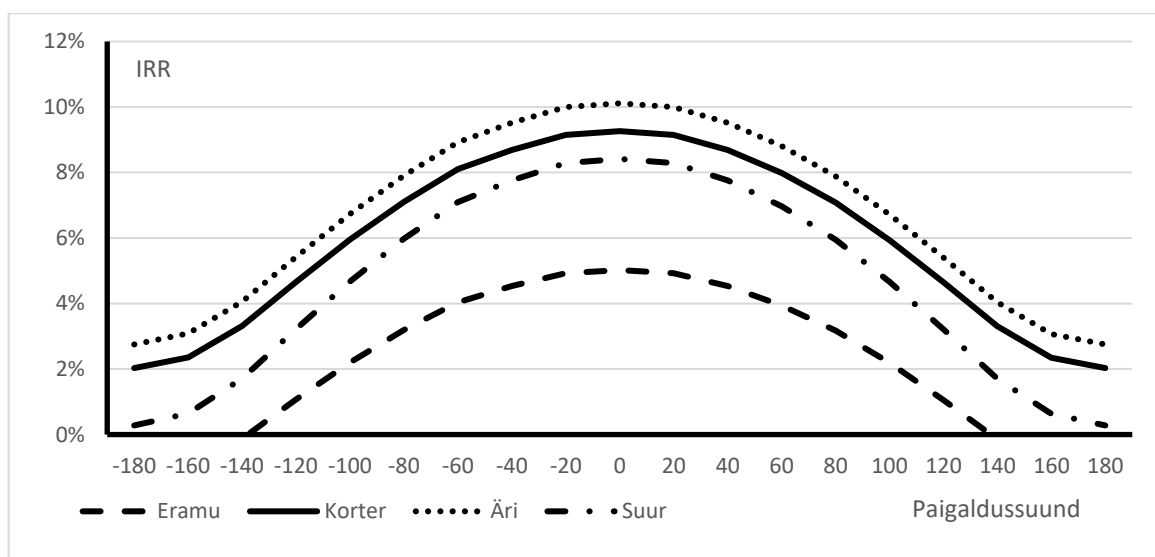
Lisaks elektri hinnale sõltub investeeringutest saadud tulu toodetud elektrienergia kogusest. Mida suurema efektiivsusega on PV süsteem, seda rohkem kWh saab ära tarbida või välja müüa. Toodetud elektrienergia hulka mõjutavaid tegureid analüüsiti 2. peatüki all. Kuigi analüüsitud sai erinevaid tegureid, siis selged sõltuvused ja mõjud olid leitud paigalduse ja tootlikkuse vahel. Arvestades 2. peatükis välja toodud graafikutes (Joonis 2.2 ja Joonis 2.3) olevaid päikesepaneelidele langevaid päikeseenergia hulkasid vastavate paigaldusnurdade või paigaldussuundade juures, on võimalik leida paigalduse mõju IRR-le.

**Paigaldusnurga** mõju IRR-le väljendab graafik (Joonis 4.13). Optimaalne nurk paigalduseks on 40 kraadi. Objektide eripäradest sõltuvalt ei ole alati võimalik paneele optimaalseima nurga alla paigaldada. Antud graafik aga aitab otsustada, millise nurga alla paigaldades on PV süsteem loodetud sisemisest tulumäärast suurem või väiksem. Näiteks lamekatusele paigaldades 15-20 kraadise nurga all langeb IRR nii kortermaja kui ärihoone puhul alla 1%. Kui paigaldada paneelid aga horisontaalselt või vertikaalselt, kaotatakse vastavalt 15,83% ja 27,22% võrreldes optimaalseima nurgaga paigaldatud paneeli toodanguga. IRR langeb võrreldes optimaalseima nurgaga horisontaalselt ja vertikaalselt vastavalt tarbijatele erinevalt.



Joonis 4.13 IRR sõltuvus paigaldusnurgast erinevatele tarbijatele  
 0 kraadine paigaldusnurk – horisontaalne  
 90 kraadine paigaldusnurk – vertikaalne

**Paigaldussuund** mängib majandusliku tasuvuse juures suuremat rolli kui paigaldusnurk. Graafikul (Joonis 4.14) olevad tulemused on arvestades optimaalseimat paneelide paigaldusnurka, milleks on 40 kraadi. Graafik näitab selgelt, et paigaldades paneelid põhja suunda, on IRR eramu puhul negatiivne ning investeeringud ei too kasumit. Kagu ja edela suunale paigaldades pole kaod veel suured, kuid ida ja lääne suunas kaotatakse juba 20% päikesepaneelide toodangust võrreldes lõuna suunda paigutamiselega.



Joonis 4.14 IRR sõltuvus paigaldussuunast erinevatele tarbijatele  
 0 – lõuna suund

## 4.4 Tasuvusanalüüsi järeldused

Võrreldes tarbijate lõikes IRR näitajaid 4.2 peatükis sätestatud standardtingimustel, eristub väiketarbija kesktarbijatest ja suurtootjast. Nii kesktarbijate ja suurtootja vaheline IRR muut oli väiksem. Standardtingimustel on eramu IRR 5,02%, kortermajal 9,26% ja ärihoonel 10,11%. Suurtootja sisemine tulumäär on standardtingimustel 8,41%. Antud erinevuse taga on esiteks PV süsteemi ühikhinna €/W<sub>p</sub> erinevus, mis eramu puhul on suurim. Teiseks suuremaks erinevuseks on standardtingimustel valitud omatarbimise osakaal, mis eramu puhul oli kõige väiksem.

**PV süsteemi nimivõimsus** mõjutab kõige enam ühikhinda €/W<sub>p</sub>. Mida suurema nimivõimsusega süsteem, seda odavam oli ühikhind €/W<sub>p</sub>. Alapeatükis 3.5 olevatelt graafikutelt sai järeldada, et kuni 50 kW nimivõimsuseni oli mastaabisääst märgatav. 50 kW ja suuremate süsteemide puhul hindade langus pidurdus. Lõputöö raames uuritud hinnapakumiste alusel leitud ühikhindadest loodi keskendatud väärtused. Hinnad sõltuvad suuresti objekti eripäradest ja paigaldusviisist. Süsteemi kogumaksumuse mõju IRR-le väljendav graafik annab ka arusaama juhuks, kui PV süsteem kujuneb standardtingimustest kallimaks või odavamaks.

**Omatarbimise** osakaalu mõju IRR-le väljendasid erinevad graafikud 4.2 alapeatükis. Väiketarbija puhul järeldati, et kui suvilasse paigaldada 20% omatarbimise osakaaluga 3 kW süsteem, on IRR väärtus negatiivne. Teisalt, olenemata negatiivsest IRR-st võib olla suvilasse PV süsteemi paigaldamine kokkuvõttes odavam kui elektrivõrguga liitumisega seonduvad kulud. Kui suvilasse paigaldada 11 kW süsteem 0% omatarbimisega, on IRR väärtuseks 3,38%. Võib järeldada, et isegi kui suvilas on elektri tarbimine madal, on võimsama süsteemiga päikeseelektrijaama investeerimine tasuvam. Tarbijate vahelises võrdluses selgus, et kõige vähem on omatarbimise osakaalust sõltuv ärihoone. Põhjus on elektri hinna väheses erinevuses esimesel 12 aastal, kus ärihoone puhul on elektri ostu- ja müügihinnad peaaegu samad.

**Elektri hinna** mõju jaotati kaheks. Taastuvenergia toetuse mõju ja ülejäänud elektri hinna komponentide mõju IRR-le. Eramu, kortermaja ja ärihoone IRR-le oli nii elektri hinna kui taastuvenergia toetuse mõju tarbijate lõikes sarnane. Suurtootja sõltuvus taastuvenergia toetusest oli märkimisväärselt suur. Põhjus seisneb 0% omatarbimise osakaalus, mille tõttu müüakse kogu elekter võrku. Võrku müüdnud elektri hinnast üle poole moodustab esimesel 12 aastal taastuvenergia toetus, mille vähenemine või suurenemine mõjutab kogu elektri müügist saadud tulu.



**Paigalduse** mõju IRR-le jaotati sarnaselt elektri hinna analüüsile kaheks: sõltuvus nii paigaldussuunast kui ka paigaldusnurgast. Optimaalseim nurk on 40 kraadi. Paigaldades paneelid 20-60-kraadise nurga vahele, langeb IRR vähem kui 0,5%. Paigaldusnurk mõjutab IRR-i vähemal määral, kui paigaldussuund. Kui paneelid 40-kraadise nurga all põhja suunas paigaldada, on eramu puhul IRR väärtus negatiivne. Samas kui paigaldada paneelid lõuna suunas kas maapinnaga risti või paralleelselt, on IRR väärtus positiivne. Paigaldussuundade analüüsist selgub veel, et paigaldades paneelid kas ida või lääne suunas 40-kraadise nurga all, kaotatakse toodangust 20% ning IRR langeb kõikidel tarbijatel vähemalt 2% võrra.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli tuua esile PV süsteemi paigaldamise tasuvus erinevatele tarbijatele ning võrrelda neid omavahel. Kuna tasuvuse leidmiseks kasutati keskendatud väärtuseid, oli vajalik teostada ka tundlikkusanalüüs, mis väljendab erinevate tegurite mõju tasuvusele. Töö eesmärgi saavutamiseks uuriti tarbijate vahelisi erinevusi, päikesepaneelide tootlikkust mõjutavaid tegureid, PV süsteemi maksumusi ning elektri hindu.

Töö esimeses sisupeatükis uuriti tarbijate erinevusi. Tarbijad liigitati vastavalt väike- ja kesktarbijateks ning suurtootjaks. Põhilisteks erinevusteks tarbijate vahel olid tootmise eesmärgid, omatarbimise osakaalud, paigaldusviisid ning PV süsteemi suurused ja ühikhinnad.

Teises sisupeatükis uuriti Eesti päikeseenergia potentsiaali ning erinevaid päikesepaneelide tootlikkust mõjutavaid tegureid. Uuriti paneelide poolt toodetud elektri hulga sõltuvust paigaldusest, temperatuurist, paneelidel olevast mustusest või lumest ning varjudest.

Kolmanda peatüki raames uuriti PV süsteemi osasid ning nende maksumusi. Toodi välja maksumused vastavalt saada olevale informatsioonile. Eesmärgiks oli leida kõikidele tarbijatele PV süsteemide hinnad nende võimsusvahemike kohta. Vastavalt saada olevale informatsioonile koostati ühikhindu väljendavad graafikud. Ootuspäraselt tuli ühikhindu väljendavatest graafikutest välja mastaabisääst, mis küll 50 kW ja suuremate süsteemide puhul ei avaldanud eriti suurt mõju.

Neljas peatükk jagunes kolmeks. Esiteks uuriti elektri hinna komponente ja nende erinevusi tarbijate lõikes. Teiseks uuriti neljanda peatüki raames tarbijate IRR näitajaid varasemalt valitud standardtingimustel. Selgelt eristus teistest väiketarbija. Kui kesktarbijate IRR näidud olid vastavalt kortermajal 9,26% ja ärihoonel 10,11%, siis väiketarbijal oli IRR 5,02% ning suurtootjal 8,41%. Erinevus tuli eelkõige PV süsteemi ühikhinna €/W<sub>p</sub> erinevusest. Teisalt mõjutas IRR-i ka omatarbimise osakaal, mis eramute puhul on madalam (35%) kui kortermajadel (60%) ja ärihoonel (80%). Tulemustest on näha, et ärihoonele PV süsteemi paigaldamine on tarbijate võrdluses kõige kõrgema sisemise tulumääraga.

Kuna töö raames kasutati standardtingimustel IRR näitajate võrdluseks keskendatud väärtuseid, oli vajalik teostada ka tundlikkusanalüüs. Selle eesmärgiks oli muuta erinevaid tasuvust mõjutavaid näitajaid ja analüüsida, kuidas muutub muutuste tagajärjel tasuvus. PV süsteemi hind on üks näitajatest, mis võib kas paneelide hinna languse või objekti eripärade tõttu muutuda. Kui süsteemi

hinda ei saa tarbija ise mõjutada, siis omatarbimise osakaalus on võimalik tarbijal endal tasuvust tõsta tarbimisharjumusi muutes. Kortermajade ja väiketarbijate puhul võis IRR-i väärtus erineda 0% ja 100% omatarbimise juures vastavalt 6,33% ja 5,55%. Ärihoone oli siinkohal erandiks, näitajaga 1,99%. Ärihoone madalam sõltuvus omatarbimise osakaalust tuleneb väikesest elektri ostu- ja müügihinna erinevusest esimesel 12 aastal, kui taastuenergia allikast elektri võrku müümisel makstakse tootjale taastuenergia toetust. Suvilasse 3 kW süsteemi paigaldamine alla 20% omatarbimise osakaaluga on negatiivse IRR-ga. Kui suvilasse paigaldada 11 kW süsteem 0% omatarbimisega, on IRR väärtuseks 3,38%. Võib järeldada, et isegi kui suvilas on elektri tarbimine madal, on võimsama süsteemiga päikeseelektrijaama investeerimine tasuvam.

Taastuenergia toetuse mõju IRR-le väljendavas graafikus oli näha, et kõige enam mõjutas see suurtootjaid. Kui toetus ära kaotada, langeb IRR alla 3%, standardtingimustel on IRR 8,41%. Ärihoone ja kortermaja olid kõige vähem mõjutatud taastuenergia toetusest, sest nende omatarbimise osakaal on kõrge.

Viimaseks tasuvust mõjutavaks teguriks oli paigaldus. Paneelide maksimaalse tootlikkuse tagamiseks on vajalik paneelid paigaldada optimaalseima nurga alla ja lõuna suunas. Optimaalseimaks nurgaks on 40 kraadi. 20-60 kraadi vahele paigaldades ei muutu IRR oluliselt optimaalseima nurgaga võrreldes. Paigaldades paneelid kagu või edela suunas, on kaotused madalad. Samas, ida või lääne suunda paigaldades langeb kõikidel tarbijatel IRR vähemalt 2% võrra.

Magistritöös selgus, et kõige kõrgema sisemise tulumääraga saab PV süsteemi paigaldada ärihoonele ja kortermajale. See võiks olla ka lähiaastate trend Eestis. Lisaks tasuvusnäitajatele tuleb uurida ka päikesepaneelide terviklikumat mõju inimesele ja keskkonnale, jätkusuutlikuma tuleviku perspektiivis. Seda teemat võiks käesolevast magistritööst järgnevalt edasi käsitleda.

## SUMMARY

The aim of the work was to highlight the cost-effectiveness of PV system installation for different consumers and compare them with each other. Since concentrated values are used to find profitability, a sensitivity analysis was also needed to demonstrate the impact of various factors on profitability. The thesis investigated the differences between consumers, factors affecting the productivity of solar panels, PV system costs and electricity prices.

The work on the first content section explored consumer differences. Consumers were classified as small and medium-sized consumers and as a major producer. The main differences between consumers were the production objectives, share of consumption, installation methods and PV system sizes and unit prices.

The second part of the study examined the potential of solar energy in Estonia and the factors influencing the productivity of solar panels. In addition to installation methods the factors influencing the amount of electricity produced by panels were temperature, dirt or snow in the panels and shadows.

Third chapter investigates the parts of the PV system and the cost the parts. The prices were given according to the information available. The goal was to find prices for PV systems for all consumers in terms of their power ranges. According to the information available, unit pricing graphs were drawn up. As expected, the unit prices went down on larger power scales. But it did not have a significant impact on 50 kW and larger systems

The fourth chapter was divided into three. Firstly, the components of electricity prices and their differences among consumers were examined. Secondly, in the fourth chapter, consumer IRR indicators were examined under previously selected standard terms. IRR indicators were 9.26% in the apartment house and 10.11% in the commercial building, the small consumer had an IRR of 5.02% and the major producer with 8.41%. The difference was mainly due to the difference in PV unit price €/W<sub>p</sub>. On the other hand, the IRR was also affected by the share of own consumption, which is lower in residential buildings (35%) than in apartment buildings (60%) and in commercial buildings (80%). It can be seen from the results that the PV system for a commercial building has the highest IRR in consumer comparison.

As the work was based on the use of standard values for the comparison of IRR indicators, a sensitivity analysis was also required. Its purpose was to change the various indicators affecting profitability and to analyze how profitability would change as a result of change. The price of a PV system is one of the indicators, which may either change depending on the price of the panels or the characteristics of the object. If the price of the system can not be influenced by the consumer himself, the proportion of own consumption can make it possible for the consumer to increase profitability by changing his or her consumption habits. For apartment buildings and small consumers, if own consumption is changed from 0% to 100%, the IRR differences 6,33% and 5,55%. The commercial building was an exception here, with an indicator of 1.99%. The lower dependence of a commercial building on the share of own consumption results from a small difference in the purchase and selling price of electricity in the first 12 years when renewable energy support is paid to the producer when selling electricity from the renewable energy source. The installation of a 3 kW PV system with a share of less than 20% of its own consumption has a negative IRR. If the 11 kW system is installed in the cottage with 0% of its own consumption, the IRR is 3.38%. It is clear that even if the cottage has low electricity consumption, investing in a more powerful solar power plant is more profitable.

The effect of the renewable energy support on the IRR graph shows that it had the biggest influence on large producers. If there would not be any support, the IRR will fall below 3%. IRR is 8.41% on standard terms. The business and apartment buildings were least affected by renewable energy support, as their share of consumption is high.

Last cost-effective factor was the installation. In order to maximize the efficiency of panels, it is necessary to install the panels at optimum angles and southwards. The optimum angle is 40 degrees. Between 20-60 degrees, the IRR will not change significantly compared to the optimal angle. When laying panels southwest or south-east, losses are low. At the same time, setting the direction of the East or the West, all IRR users will fall by at least 2%.

The Master's thesis revealed that commercial building and an apartment building have the highest IRR. This could also be the trend in the coming years in Estonia. In addition to the cost-effectiveness indicators, the fuller impact of solar panels on humans and the environment should be explored in future. This topic could be investigated further.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. BP Statistical Review of World Energy June 2017 [WWW]  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf> (27.03.2018)
2. Andres Meesak. Päikeseenergeetika koolitus Tartu veebruar 2018 [WWW]  
<http://trea.ee/wp-content/uploads/2018/02/27.02.2018-PV-koolitus-Andres-Meesak.pdf> (10.05.2018)
3. We Could Power The Entire World By Harnessing Solar Energy From 1% Of The Sahara. Forbes [WWW]  
<https://www.forbes.com/sites/quora/2016/09/22/we-could-power-the-entire-world-by-harnessing-solar-energy-from-1-of-the-sahara/#4de53e6ad440> (27.04.2018)
4. Taastuenergia aastaraamat 2016. Eesti Taastuenergia koda. [WWW]  
[http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2017/06/TEK\\_aastaraamat\\_2016\\_A4\\_5mmBleed\\_31.05.2017-1.pdf](http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2017/06/TEK_aastaraamat_2016_A4_5mmBleed_31.05.2017-1.pdf) (27.04.2018)
5. Share of electricity from renewable sources in gross electricity consumption,2004-2015%. Eurostat. [WWW]  
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share\\_of\\_electricity\\_from\\_renewable\\_sources\\_in\\_gross\\_electricity\\_consumption,2004-2015\\_%25\\_T2\\_New.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share_of_electricity_from_renewable_sources_in_gross_electricity_consumption,2004-2015_%25_T2_New.png) (14.04.2018)
6. Paigaldussüsteemid. Tipsolar. [WWW]  
<http://www.tipsolar.ee/12-tooted-paigaldussusteemid.html> (20.04.2018)
7. Päikesepaneelide paigaldamine ja ühendamise võrguga. Eesti kütte- ja ventilatsiooniinseneride ühendus. [WWW]  
<http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/P%C3%A4ikesepaneelide%20paigaldus%20ja%20%C3%BChendamine%20v%C3%B5rguga.pdf> (10.04.2018)
8. SNAPSHOT OF GLOBAL PHOTOVOLTAIC MARKETS. IEA International Energy Agency. [WWW]  
[http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2015\\_-\\_Final\\_2\\_02.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2015_-_Final_2_02.pdf) (17.04.2018)
9. Neuhardenberg Solar Power Plant. Power Technology. [WWW]  
<https://www.power-technology.com/projects/neuhardenberg-solar-power-plant/> (29.03.2018)
10. Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine PVGIS andmebaasi abil. Taastuenergia OÜ. [WWW]  
<http://www.taastuenergia.ee/paikese-ja-tuuleenergia-alased-infomaterjalid/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine-pvgis/> (11.04.2018)
11. PVGIS andmebaas. [WWW]  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (03.04.2018)
12. Küla elektrivarustus taastuenergiaallikate baasil. Sergei Iljin. [WWW]  
<https://digi.lib.ttu.ee/i/file.php?DLID=1886&t=1> (11.04.2018)
13. Päikesepaneelide paigaldamine ja suunamine. Taastuenergia OÜ. [WWW]  
<http://www.taastuenergia.ee/paikese-ja-tuuleenergia-alased-infomaterjalid/paikesepaneelide-paigaldamine-suunamine/> (11.04.2018)
14. Päikeseelektrijaam lamekatusega hoonele. Taastuenergia OÜ. [WWW]  
<http://www.taastuenergia.ee/paikeseelektrijaam/paikeseelektrijaam-lamekatus/> (15.04.2018)
15. Kinnitused ja kaldenurk. Energiapartner OÜ. [WWW]  
<http://energiapartner.ee/paikeseenergia/kinnitused-ja-kaldenurk/> (17.04.2018)

16. Päikeseelektrijaam paigaldusega maapinnale. Taastuenergia OÜ. [WWW]  
<http://www.taastuenergia.ee/paikeseelektrijaam/paikeseelektrijaam-maapinnal/>  
(17.04.2018)
17. Päikese jälgimissüsteemid. Tipsolar. [WWW]  
<http://www.tipsolar.ee/18-tooted-paigaldussusteemid-paikese-jalgimissusteemid.html>  
(17.04.2018)
18. How Does Heat Affect Solar Panel Efficiencies? CivicSolar. [WWW]  
<https://www.civicsolar.com/support/installer/articles/how-does-heat-affect-solar-panel-efficiencies> (20.04.2018)
19. Measuring the temperature coefficient of a PV module. SinoVoltaics. [WWW]  
<http://sinovoltaics.com/solar-basics/measuring-the-temperature-coefficients-of-a-pv-module/> (20.04.2018)
20. PV paneelide tootlikkus. Soojapood. [WWW]  
<http://www.soojapood.ee/et/p/pv-paneelide-tootlikus> (22.04.2018)
21. Solar Efficiency Losses Over Time. Sroeco Solar. [WWW]  
<http://sroeco.com/solar/solar-efficiency-losses-over-time/> (22.04.2018)
22. Testing a Thirty-Year-Old Photovoltaic Module. Green Building Advisor. [WWW]  
<http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/testing-thirty-year-old-photovoltaic-module> (22.04.2018)
23. A new correlation between photovoltaic panel's efficiency and amount of sand dust accumulated on their surface. Ahmad Y. Al-hasan, Adel A. Ghoneim. [WWW]  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786450500291834?src=recsys>  
(23.04.2018)
24. Hooldus. Tera AS. [WWW]  
<https://www.tera.ee/hooldus/> (23.04.2018)
25. Päikeseelektrijaama toodangu simulatsioon ja majanduslik analüüs linnatingimustes asuvatel hoonetel. Mihkel Mahlapuu. [WWW]  
[https://www.ttu.ee/public/e/energeetikateaduskond/Instituudid/elektroenergeetika\\_instituut/Loputood/magistritoode\\_kokkuvotted2013/files/basic-html/page40.html](https://www.ttu.ee/public/e/energeetikateaduskond/Instituudid/elektroenergeetika_instituut/Loputood/magistritoode_kokkuvotted2013/files/basic-html/page40.html)  
(23.04.2018)
26. Alberta Solar Performance Data. Solar Energy Society of Alberta. [WWW]  
<https://solaralberta.ca/content/alberta-solar-performance-data> (24.04.2018)
27. Solar Panel Efficiency. Pursolar & Electrical. [WWW]  
<https://www.pursolaraz.com/solar/what-affects-solar-panel-efficiency/> (17.04.2018)
28. PV Päikesepaneelide valimine. City Kliima OÜ. [WWW]  
<https://www.citykliima.ee/tooted/pv-paikesepaneelide-valimine/> (02.05.2018)
29. CHARACTERIZING SHADING LOSSES ON PARTIALLY SHADED PV SYSTEMS. National Renewable Energy Laboratory. [WWW]  
<https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/49504.pdf> (02.05.2018)
30. Swanson's Law and Making US Solar Scale Like Germany. Green Tech Media. [WWW]  
<https://www.greentechmedia.com/articles/read/is-there-really-a-swansons-law#gs.DoEFBJ0> (02.05.2018)
31. Solar Panel Prices Continue Falling Quicker Than Expected. Clean Technica. [WWW]  
<https://cleantechnica.com/2018/02/11/solar-panel-prices-continue-falling-quicker-expected-cleantechnica-exclusive/> (02.05.2018)
32. Päikesepaneelide energiatoodangu võrdlus. Heliost OÜ. [WWW]  
[https://paikeseenergia.ee/index.php?route=information/information&information\\_id=13](https://paikeseenergia.ee/index.php?route=information/information&information_id=13)  
(04.05.2018)
33. Inverterid. Tera AS. [WWW]  
<https://www.tera.ee/inverterid/> (05.05.2018)
34. MICRO INVERTERS VS. STRING INVERTERS. Complete Solar. [WWW]  
<http://completesolar.com/micro-inverters-vs-string-inverters> (05.05.2018)

35. What are the different types of solar inverters? Solar Power World. [WWW]  
<https://www.solarpowerworldonline.com/2016/05/different-types-solar-inverters/>  
(05.05.2018)
36. Võrguinverterite valik ja kasutusala päikeseelektrijaamades. Tartu Regiooni Energiaagentuur. [WWW]  
<http://trea.ee/wp-content/uploads/2018/02/27.02.2018-V%C3%B5rguinverterite-valik-ja-kasutusala-PV-jaamades-Robert-M%C3%A4gi.pdf> (05.05.2018)
37. Europe's largest thin-film PV power plant in Templin. SMA. [WWW]  
<https://www.sma.de/en/products/references/templin-germany.html> (05.05.2018)
38. SUNNY CENTRAL 800CP XT / 850CP XT / 900CP XT. SMA. [WWW]  
<https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-central-800cp-xt-850cp-xt-900cp-xt.html> (06.05.2018)
39. Paigaldustööd. Tera AS. [WWW]  
<https://www.tera.ee/paigaldustood/> (05.05.2018)
40. Mikrotootja liitumine. Smartecon. [WWW]  
<https://smartecon.ee/mikrotootja-liitumine/> (08.05.2018)
41. Liitumised ja võrguleping. Elektrilevi. [WWW]  
<https://www.elektrilevi.ee/et/liitumised> (08.05.2018)
42. Võrgueeskiri. Riigi Teataja. [WWW]  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/13344551?leiaKehtiv> (08.05.2018)
43. Vajalikke teadmisi ettevõtlusest. Dr Peedu Zeiger. [WWW]  
<https://ettevotlusope.weebly.com/822-investeeringute-planeerimine-ja-investeeringimisprojektide-efektiivsuse-hindamine.html> (09.05.2018)
44. Eesti elektrituru täielik avanemine. Energiatalgud. [WWW]  
[https://energiatalgud.ee/img\\_auth.php/c/c8/Eesti\\_elektrituru\\_t%C3%A4ielik\\_avanemine.pdf](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/c/c8/Eesti_elektrituru_t%C3%A4ielik_avanemine.pdf) (10.05.2018)
45. Taastuenergia toetus. Elering. [WWW]  
<https://elering.ee/taastuenergia-toetus> (29.04.2018)
46. Elektrituru toimimine. Eesti Energia. [WWW]  
<https://www.energia.ee/elekter/elektriturg> (29.04.2018)
47. Elektrilevi võrguteenuse hinnakiri. Elektrilevi. [WWW]  
[https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/kliendile/el\\_hinnakiri\\_vorguteenused\\_01112017\\_est.pdf](https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/kliendile/el_hinnakiri_vorguteenused_01112017_est.pdf) (29.04.2018)
48. Võrguteenuse hind. Elektrilevi. [WWW]  
<https://www.elektrilevi.ee/taastuenergia-tasu> (29.04.2018)
49. Taastuenergia tasu. Elering. [WWW]  
<https://elering.ee/taastuenergia-tasu#tab1> (29.04.2018)
50. Käibemaks. Eesti.ee. [WWW]  
<https://www.eesti.ee/et/ettevotja/maksud-ja-toll/kaebemaks/> (06.05.2018)
51. Liginullenergiahoonete lokaalse taastuvelektri vajadus. World Energy Council Estonia. [WWW]  
<http://www.wec-estonia.ee/publikatsioonid/liginullenergiahoonete-lokaalse-taastuvelektri-vajadus/> (06.05.2018)
52. Elektriettevõtja tegevusluba ja selle taotlemine. Konkurentsiamet. [WWW]  
<http://www.konkurentsiamet.ee/index.php?id=27114> (06.05.2018)
53. Päikesepaneelide hinnad kodutarbijatele ja väikeärile. Smartecon. [WWW]  
<https://smartecon.ee/paikesepaneelide-hinnad/> (06.04.2018)
54. Mikrotootja kuni 17250 kWh/a. Päikesejaam.  
<http://paikesejaam.ee/P%C3%A4ikesepaneelide-komplektid/mikrotootja-kuni-17250-kWha?sort=p.price&order=ASC> (06.04.2018)
55. Päikesepaneelide hind. Bakeri. [WWW]  
<http://bakeri.ee/paike.asp?id=9&sub=P%C3%A4ikesepaneelide-hind> (06.04.2018)



56. Päikesepaneelide kalkulaator. Energogen. [WWW]  
[http://energogen.ee/?gclid=CjwKCAjwzoDXBRBbEiwAGZRleHVYuXkHYlwRr-i633QBpPQLws45xGI2L09A80yWcpA-CQOKsg4r9BoCHbQQAvD\\_BwE](http://energogen.ee/?gclid=CjwKCAjwzoDXBRBbEiwAGZRleHVYuXkHYlwRr-i633QBpPQLws45xGI2L09A80yWcpA-CQOKsg4r9BoCHbQQAvD_BwE) (06.04.2018)

**LISAD**

**Lisa 1. Optimaalselt paigaldatud päikesepaneelide ruutmeetritele langev päikeseenergia hulk Eestis ja Saksamaal kuude lõikes**

Asukoht (Eesti): Paide (58.882, 25.552)

Asukoht (Saksamaa): Neuhardenberg (52.612, 14.242)

Kuu	Eesti (kWh/m <sup>2</sup> )	Saksamaa (kWh/m <sup>2</sup> )
1	20,1	31,7
2	48,5	56,6
3	90,9	92,5
4	137	129
5	175	160
6	173	142
7	178	158
8	143	142
9	95,8	113
10	56,1	80,2
11	21,4	36
12	12,4	22,6
Kokku	1151,2	1163,6

**Lisa 2. Päikesepaneelidele langeva päikeseenergia hulk erinevate  
paigaldussuundade juures.**

Asukoht (Eesti): Paide (58.882, 25.552)

Asukoht (Saksamaa): Neuhausen (52.612, 14.242)

Paigaldussuund	kWh/m <sup>2</sup> aastas
-180	586
-170	592
-160	608
-150	634
-140	674
-130	723
-120	773
-110	823
-100	873
-90	921
-80	967
-70	1010
-60	1050
-50	1080
-40	1100
-30	1120
-20	1140
-10	1150
0	1150
10	1150
20	1140
30	1120
40	1100
50	1080
60	1040
70	1010
80	965
90	920
100	872
110	822
120	772
130	721
140	673
150	633
160	607
170	591
180	586

### Lisa 3. Päikesepaneelidele langeva päikeseenergia hulk erinevate paigaldusnurkade juures

Asukoht (Eesti): Paide (58.882, 25.552)

Asukoht (Saksamaa): Neuhardenberg (52.612, 14.242)

Paigaldusnurk	kWh/m2 aastas
0	968
5	1010
10	1040
15	1080
20	1100
25	1120
30	1140
35	1150
40	1150
45	1150
50	1140
55	1120
60	1100
65	1070
70	1030
75	992
80	945
85	893
90	837

## Lisa 4. PV süsteemi näidispakkumine ettevõttest Taastuenergia OÜ

### MÜÜGIPAKKUMINE

Kuupäev: 7. mai 2018. a.

Klient: Eraisik  
Objekt: Elumaja



#### Elektrivõrguga ühendatud PV paneelide süsteem 10 080 W (9 576 kWh aastas)

SolBet 20° paigalduslahendus lamekatusele: ridasid 2 tk

Seadmed ja paigaldustarvikud	Kogus	Hind	Kokku
Võrguinverter ABB PVI-10.0-TL-OUTD-FS (norm 10300W, max 13000W)	1	1 807,08 €	1 807,08 €
ABB VSN300 WIFI LOGGER CARD + ABB Aurora Vision Plant Management Platform	1	113,33 €	113,33 €
Q-CELLS Päikesepaneel Q.PLUS BFR-G4.1 280W (bl. Frame)	36	112,30 €	4 042,80 €
SolBet 20° 50kg ballastraam	38	25,00 €	950,00 €
Module clamp 33 mm black (paneeli kinnituskamber)	76	1,66 €	126,16 €
Edge end piece 32.4mm black (äärmise paneeli otsatugi kinnituskambrile)	8	0,62 €	4,96 €
MC4 plug + socket type 4/6II D 5.5-9.0 mm (UV kindla kaabli pistikute komplekt)	2	1,41 €	2,82 €
Suncable 1x4 mm² special solar cable (kaabel paneelide taga ja ridade vahel)	36	1,41 €	50,76 €
Suncable 1x4 mm² special solar cable (kaabel paneelide ja inverteri vahel)	40	1,41 €	56,40 €
	0	0,00 €	0,00 €
<b>Seadmete maksumus:</b>			<b>6 954,29 €</b>

Päikesepaneelide paigaldamine	Kogus	Hind	Kokku
Päikesepaneelide paigaldamine	36	15,00 €	540,00 €
SolBet 20 paigaldamine	38	10,00 €	380,00 €
Inverteri paigaldamine ja ühendamine elektrikiilbiga	1	55,00 €	55,00 €
Inverteri ja peakilbi vaheline kaabel (ühik: m)	2	1,42 €	2,84 €
Inverteri ja kilbi vahelise kaabli paigaldamine	1	15,00 €	15,00 €
Inverteri häälestamine	1	210,00 €	210,00 €
Projektjuhtimine	1	162,00 €	162,00 €
Kaupade ja töötajate transport (ühik: km)	10	1,20 €	12,00 €
	0	0,00 €	0,00 €
<b>Paigaldusteenus:</b>			<b>1 376,84 €</b>

Elektritootjana liitumise vormistamine*	Kogus	Hind	Kokku
Elektritootja liitumistaotlus	1	0,00 €	0,00 €
Elektripaigaldise põhimõtteskeem	1	0,00 €	0,00 €
Tootmisseadme kaitsesätete seadistamise protokoll	1	5,00 €	5,00 €
Elektrijaama elektriosa projekt	1	28,00 €	28,00 €
Elektripaigaldise nõuetekohasuse deklaratsioon	1	25,00 €	25,00 €
Elektrotehniline kontrollmõõtmine ja nõuetekohasuse tunnistus	1	80,00 €	80,00 €
Elektripaigaldise nõuetekohasuse teatis	1	0,00 €	0,00 €
<b>Liitumise vormistamine:</b>			<b>138,00 €</b>

**KOKKU (seadmed; paigaldus; liitumine): 8 469,13 €**

Käibemaks 20%: 1 693,83 €

**Summa + KM 20%: 10 162,96 €**

(päikesepaneelid: 0,401 €/W +km; elektrijaam kokku: 0,840 €/W +km)

## MÜÜGIPAKKUMINE

Kuupäev: 7. mai 2018. a.

Klient: Erasisik  
Objekt: Elumaja



### Elektrivõrguga ühendatud PV paneelide süsteem 201 600 W (191 520 kWh aastas)

SolBet 20<sup>o</sup> paigalduslahendus lamekatusele: ridasid 40 tk

Seadmed ja paigaldustarvikud	Kogus	Hind	Kokku
Võrguinverter ABB TRIO-60.0-TL-OUTD-POWER/12INPUT/OUT MODULE	4	4 383,33 €	17 453,33 €
ABB VSN300 WIFI LOGGER CARD + ABB Aurora Vision Plant Management Platform	4	113,33 €	453,32 €
Q-CELLS Päikesepaneel Q.PLUS BFR-G4.1 280W (bl. Frame)	720	112,30 €	80 856,00 €
SolBet 20 <sup>o</sup> 50kg ballastraam	780	25,00 €	19 000,00 €
Module clamp 33 mm black (paneeli kinnituskamber)	1 520	1,06 €	2 523,20 €
Edge end piece 32,4mm black (äärmise paneeli otsatugi kinnituskambrile)	160	0,62 €	99,20 €
MC4 plug + socket type 4/6II D 5.5-9.0 mm (UV kindla kaabli pistikute komplekt)	40	1,41 €	56,40 €
Suncable 1x4 mm <sup>2</sup> special solar cable (kaabel paneelide taga ja ridade vahel)	720	1,41 €	1 015,20 €
Suncable 1x4 mm <sup>2</sup> special solar cable (kaabel paneelide ja inverteri vahel)	80	1,41 €	112,80 €
	0	0,00 €	0,00 €

Seadmete maksumus: 121 569,45 €

Päikesepaneelide paigaldamine	Kogus	Hind	Kokku
Päikesepaneelide paigaldamine	720	15,00 €	10 800,00 €
SolBet 20 paigaldamine	780	10,00 €	7 800,00 €
Inverteri paigaldamine ja ühendamine elektrikiibiga	4	55,00 €	220,00 €
Inverteri ja peakilbi vaheline kaabel (ühik: m)	2	1,42 €	2,84 €
Inverteri ja kilbi vahelise kaabli paigaldamine	1	15,00 €	15,00 €
Inverteri häälestamine	4	210,00 €	840,00 €
Projektjuhtimine	1	2 214,00 €	2 214,00 €
Kaupade ja töötajate transport (ühik: km)	10	1,20 €	12,00 €
	0	0,00 €	0,00 €

Paigaldusteenus: 21 703,84 €

Elektritootjana liitumise vormistamine*	Kogus	Hind	Kokku
Elektritootja liitumistaotlus	1	0,00 €	0,00 €
Elektripaigaldise põhimõtteskeem	1	0,00 €	0,00 €
Tootmiseseadme kaitsesätete seadistamise protokoll	1	5,00 €	5,00 €
Elektrijaama elektriosa projekt	1	28,00 €	28,00 €
Elektripaigaldise nõuetekohasuse deklaratsioon	1	25,00 €	25,00 €
Elektrotehniline kontrollmõõtmine ja nõuetekohasuse tunnistus	1	80,00 €	80,00 €
Elektripaigaldise nõuetekohasuse teatis	1	0,00 €	0,00 €

Liitumise vormistamine: 138,00 €

**KOKKU (seadmed; paigaldus; liitumine): 143 411,29 €**

Käibemaks 20%: 28 682,26 €

**Summa + KM 20%: 172 093,55 €**

(päikesepaneelid: 0,401 €/W +km; elektrijaam kokku: 0,711 €/W +km)

## Lisa 5. Taastuenergia OÜ pakkumine erinevatele paigaldusviisidele

10 kW juures

Müügihind e. võtmed kätte	Seadmed	Seadmed €/W	Võtmed kätte €/W
Puitraam: 9 110,74 €	7 007 €	0,70 €/W	0,90 €
Plekk-katus: 10 203,22 €	7 620 €	0,76 €/W	1,01 €
Kivikatus: 11 169,94 €	8 107 €	0,80 €/W	1,11 €
TreeSystem maapaigaldus: 9 664,63 €	7 810 €	0,77 €/W	0,96 €
Aero 2.0: 9 123,85 €	7 269 €	0,72 €/W	0,91 €
Trapetsplekk: 8 168,47 €	6 566 €	0,65 €/W	0,81 €
SolBet: 8 511,34 €	6 986 €	0,69 €/W	0,84 €

200 kW juures

Müügihind e. võtmed kätte	Seadmed	Seadmed €/W	Võtmed kätte €/W
Puitraam: 56 696,10 €	123 086 €	0,61 €/W	0,78 €
Plekk-katus: 78 796,06 €	135 476 €	0,67 €/W	0,89 €
Kivikatus: 98 352,00 €	145 322 €	0,72 €/W	0,98 €
TreeSystem maapaigaldus: 67 688,49 €	139 047 €	0,69 €/W	0,83 €
Aero 2.0: 58 248,18 €	129 606 €	0,64 €/W	0,78 €
Trapetsplekk: 37 820,77 €	114 219 €	0,57 €/W	0,68 €
SolBet: 44 255,49 €	122 214 €	0,61 €/W	0,72 €



## Lisa 6. Väiketarbijate PV süsteemide hinnad erinevatelt pakkujatelt

Smartecon [53]			
Nimivõimsus (W)	Kõik hinnas (€)	€/Wp	Aastane toodang (kWh)
3120	5780	1,853	3060
4160	6980	1,678	4100
5200	8300	1,596	5130
5720	8960	1,566	5600
6760	9980	1,476	6620
7800	10700	1,372	7660
8840	11780	1,333	8660
10920	14000	1,282	10700
Päikesejaam [54]			
3500	4910	1,403	3500
4320	6000	1,389	4300
6480	7529	1,162	6400
8500	9488	1,116	8500
11000	12959	1,178	11300
Bakeri [55]			
1560	3111	1,994	1490
2600	4408	1,695	2512
3120	5011	1,606	2995
4160	5834	1,402	3995
5200	6844	1,316	5060
6240	7616	1,221	6023
7280	8456	1,162	7058
8320	9280	1,115	8095
9360	10097	1,079	9134
10400	10975	1,055	10176
11440	11783	1,030	11153
15600	15348	0,984	14464
14040	14439	1,028	13729
17160	16861	0,983	16302
Energogen [56]			
3000	5900	1,967	2900
5000	7820	1,564	4830
7000	9620	1,374	6770
9000	11660	1,296	8700
11000	13340	1,213	10700

**Lisa 7. Elektri ostuhinnad komponentide kaupa erinevatele tarbijatele  
(€/kWh)**

	Eramu	Suvila	Kortermaja	Ärihoone	Suur
Elektri hind	0,0448	0,0448	0,0448	0,0448	0,0448
Võrgutasu	0,0475	0,0525	0,0525	0,0375	0,0250
Taastuenergia tasu	0,0089	0,0089	0,0089	0,0089	0,0089
Elektriaktsiis	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045	0,0045
Käibemaks	0,0211	0,0221	0,0221		
Kokku	0,1268	0,1328	0,1328	0,0956	0,0831

## Lisa 8. Elektri keskmised päevased börsihinnad koos marginaalidega 2017.

mai kuni 2018. aprill

Mai 2017	1,93	3,48	3,67
Juuni 2017	2,19	3,80	4,02
Juuli 2017	1,99	4,10	4,30
August 2017	1,94	4,49	4,68
September 2017	1,88	4,33	4,52
Oktoober 2017	2,13	4,08	4,29
November 2017	1,81	3,92	4,10
Detsember 2017	1,90	3,81	4,00
Jaanuar 2018	1,92	4,46	4,65
Veebruar 2018	2,08	5,22	5,43
Märts 2018	2,25	5,24	5,47
Aprill 2018	2,33	4,37	4,60
		Keskmine	4,48

## Lisa 9. Rahavoo tabel erinevatele tarbijatele.

	Eramu		Korterimaja		Ärihoone		Suurtootja	
Võimsus	9 kW		50 kW		100 kW		1200 kW	
Maksumus	10 806 €		48 083 €		74 358 €		900 000 €	
Aasta	Rahavoog	Kumulatiivne	Rahavoog	Kumulatiivne	Rahavoog	Kumulatiivne	Rahavoog	Kumulatiivne
0	- 10 806 €	- 10 806 €	- 48 083 €	- 48 083 €	- 74 358 €	- 74 358 €	- 900 000 €	- 900 000 €
1	889 €	- 9 917 €	5 415 €	- 42 668 €	8 769 €	- 65 589 €	107 766 €	- 792 234 €
2	861 €	- 9 056 €	5 245 €	- 37 423 €	8 494 €	- 57 095 €	104 398 €	- 687 835 €
3	856 €	- 8 200 €	5 218 €	- 32 205 €	8 450 €	- 48 645 €	103 854 €	- 583 982 €
4	852 €	- 7 349 €	5 191 €	- 27 015 €	8 406 €	- 40 239 €	103 312 €	- 480 670 €
5	847 €	- 6 502 €	5 163 €	- 21 851 €	8 362 €	- 31 877 €	102 773 €	- 377 897 €
6	842 €	- 5 659 €	5 136 €	- 16 715 €	8 318 €	- 23 558 €	102 237 €	- 275 660 €
7	838 €	- 4 821 €	5 109 €	- 11 605 €	8 275 €	- 15 283 €	101 703 €	- 173 957 €
8	834 €	- 3 988 €	5 083 €	- 6 523 €	8 232 €	- 7 052 €	101 172 €	- 72 785 €
9	829 €	- 3 159 €	5 056 €	- 1 467 €	8 189 €	1 137 €	100 644 €	27 858 €
10	825 €	- 2 334 €	5 030 €	3 563 €	8 146 €	9 283 €	100 118 €	127 976 €
11	820 €	- 1 514 €	5 003 €	8 566 €	8 103 €	17 387 €	99 595 €	227 571 €
12	816 €	- 698 €	4 977 €	13 543 €	8 061 €	25 447 €	99 074 €	326 645 €
13	533 €	- 165 €	4 014 €	17 558 €	7 082 €	32 530 €	42 360 €	369 005 €
14	530 €	365 €	3 993 €	21 551 €	7 045 €	39 575 €	42 126 €	411 131 €
15	527 €	892 €	3 972 €	25 523 €	7 008 €	46 582 €	41 893 €	453 024 €
16	524 €	1 416 €	3 951 €	29 474 €	6 971 €	53 553 €	41 661 €	494 686 €
17	521 €	1 937 €	3 930 €	33 403 €	6 934 €	60 488 €	41 430 €	536 116 €
18	518 €	2 455 €	3 909 €	37 312 €	6 898 €	67 385 €	41 201 €	577 316 €
19	515 €	2 970 €	3 888 €	41 201 €	6 861 €	74 247 €	40 972 €	618 288 €
20	513 €	3 483 €	3 868 €	45 068 €	6 825 €	81 072 €	40 745 €	659 033 €
21	510 €	3 993 €	3 847 €	48 916 €	6 789 €	87 861 €	40 519 €	699 552 €
22	507 €	4 500 €	3 827 €	52 742 €	6 753 €	94 615 €	40 293 €	739 845 €
23	504 €	5 004 €	3 806 €	56 549 €	6 718 €	101 332 €	40 069 €	779 915 €
24	501 €	5 505 €	3 786 €	60 335 €	6 682 €	108 015 €	39 847 €	819 761 €
25	499 €	6 004 €	3 766 €	64 101 €	6 647 €	114 662 €	39 625 €	859 386 €
26	496 €	6 499 €	3 746 €	67 847 €	6 612 €	121 274 €	39 404 €	898 790 €
27	493 €	6 992 €	3 726 €	71 573 €	6 577 €	127 851 €	39 185 €	937 975 €
28	490 €	7 483 €	3 706 €	75 279 €	6 542 €	134 393 €	38 966 €	976 941 €
29	488 €	7 970 €	3 686 €	78 965 €	6 508 €	140 901 €	38 749 €	1 015 690 €
30	485 €	8 455 €	3 667 €	82 632 €	6 473 €	147 374 €	38 533 €	1 054 223 €