



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

---

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ERAMU ELEKTRIENERGIA TOOTMISE  
TEHNILISED VÕIMALUSED

RESIDENTIAL-SCALE POWER GENERATION SYSTEMS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jaan Raudsepp

Üliõpilaskood: 163288AAVM

Juhendaja: professor Juhan Valtin

Tallinn, 2017.a.

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“.....” ..... 201.....

Autor:.....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja:.....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201.....

Kaitsmiskomisjoni esimees.....

/ nimi ja allkiri /

# Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Jaan Raudsepp	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> ERAMU ELEKTRIENERGIA TOOTMISE TEHNILISED VÕIMALUSED	
<i>Kuupäev:</i> 23.05.2017	72 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> professor Juhan Valtin	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i>	
<i>Sisu kirjeldus:</i>	
<p>Käesoleva magistritöö eesmärk on hinnata eramu elektrienergia tootmise tehnilisi võimalusi ja anda hinnang majanduslikule tasuvusele.</p> <p>Töö on jaotatud neljaks osaks. Esimeses osas on antud ülevaade energiamajanduse hetkeseisust, kehtivast seadusandlusest ja elektrienergia tootmise liitumise reeglistikust. Teises osas on antud ülevaade elektrienergia mikrotootmise tehnoloogiate kohta. Kolmandas osas on analüüsitud kolme eramu energiatarbimist, leitud sobivaimad tehnoloogiad ja uuritud erinevate elektritootmise stsenaariumite sobivust eramutele. Neljandas osas on hinnatud valitud tehnoloogiate majanduslikku tasuvust.</p> <p>Töö tulemusena järeldeb autor, et lokaalselt toodetud elektrienergia kasutamine eramu enda vajaduste katmiseks on otstarbekas kuid pikaajaline. Majanduslik tasuvus on vastavalt erinevatele stsenaariumite korral 9 – 86 aastat.</p>	
<i>Märksõnad:</i> energiatõhusus, mikrotootmine, mikrokoostootmine, päikeselektrijaam, tasuvusaeg	

# Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Jaan Raudsepp	<i>Type of the work:</i> Master's Thesis
<i>Title:</i> RESIDENTIAL-SCALE POWER GENERATION SYSTEMS	
<i>Date:</i> 23.05.2017	<i>72 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology School of Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Juhan Valtin <i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i>  The purpose of this master's thesis is to evaluate residential-scale power generation technologies and analyze the payback period of these systems.  The master thesis is divided into four sections. The first section provides an overview of the current state of the energy sector, the current legislation and connection rules for small electricity producers. The second part provides an overview of the small scale electricity generation technologies. The third part analyzes energy consumption of three private houses, selection of best technical solutions and examines the suitability of various power generation scenarios for private houses. The fourth section analyzes the payback period of the chosen power generation systems.  The use of locally produced electricity for on-site consumption is rational. The economic efficiency of different scenarios is from 9 to 86 years.	
<i>Keywords:</i> energy efficiency, microgeneration, micro combined heat and power, solar power plant, payback period	

# Sisukord

<b>Lõputöö ülesanne</b> .....	<b>6</b>
Teema põhjendus:.....	6
Töö eesmärk:.....	6
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	6
Lähteandmed:.....	7
<b>Eessõna</b> .....	<b>8</b>
<b>Sissejuhatus</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Energiamaajanduse hetkeseis</b> .....	<b>13</b>
1.1. Energiamaajanduse arengukava aastani 2030 .....	13
1.2. Säστεv areng, energia säästlik kasutamine .....	14
1.3. Nõuded hoone energiatõhususele ja energiatõhususarv .....	16
1.4. Liitumistingimused elektritootjale .....	20
1.5. Taastuvenergia toetus ja elektrienergia müük.....	21
<b>2. Mikrotootmine, areng ja tehnoloogiad</b> .....	<b>23</b>
2.1. Mikro- ja hajatootmine .....	23
2.2. Mikrokoostootmine .....	25
2.3. Koostootmise areng.....	25
2.4. Mikrokoostootmisjaamade juhtimine.....	26
2.5. Stirlingmootor .....	26
2.6. Orgaanilisel Rankine'i ringprotsessi põhinev seade .....	29
2.7. Sisepõlemismootor .....	30
2.8. Mikroturbiin.....	31
2.9. Kütuseelement .....	32
2.10. Termoelektriline generaator.....	33
2.11. Fotoelektriline päikesepaneel ja SOLAR CHP .....	34
<b>3. Mikrotootmise stsenaariumid kolme eramu näitel</b> .....	<b>36</b>
3.1. Eramute põhiparameetrid .....	37
3.2. Elektrienergia tarne ja lokaalne soojusenergia tootmine .....	38
3.3. Tehnoloogia valik ja nende kombinatsioonide võrdlemine .....	44
3.4. Stsenaarium 1 – Pelletiküttel mikrokoostootmiseseade .....	45
3.5. Stsenaarium 2 – Päikeeselektrijaama lisamine eramutele (4 kW).....	47
3.6. Stsenaarium 3 – Päikeeselektrijaama lisamine eramutele (10 kW) .....	52
<b>4. Mikrotootmiseseadmete majanduslik analüüs</b> .....	<b>55</b>
4.1. Mikrotootmisjaamade kapitalikulud .....	55
4.2. Stsenaariumite nüüdispuhasväärtus.....	56
4.3. Tasuvusaeg .....	59
<b>Lõputöö kokkuvõte</b> .....	<b>64</b>
<b>Lisad</b> .....	<b>72</b>

# Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	<b>Eramu elektrienergia tootmise tehnilised võimalused</b>
Üliõpilane:	<b>Jaan Raudsepp, 163288AAVM</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika</b>
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Juhan Valtin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	01.09.2017
Lõputöö esitamise tähtaeg:	

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Instituudi direktor (allkiri)

## Teema põhjendus:

Eestis on kodumajapidamiste sektori energiatarve 42,7% koguenergia bilansist.

Lähitulevikus ehitatavad hooned peavad olema nullenergiahooned. Teema on oluline hoonete projekteerimise valguses, et tagada nõutud energiatarvitus. Nullenergiahoone kriteeriumite täitmiseks on oluline, et toodetakse sama palju energiat, kui kohapeal tarbitakse.

Olemasoleva elamufondi puhul rakendatakse toetusmeetmeid energiatarvitususe suurendamiseks ja mikrotootmise toetamiseks. Magistritöös on uuritud eramute elektrienergia mikrotootmise võimalusi täna turul olevate seadmetega. Annab hinnaindikatsiooni kapitalikulu osas ja annab hinnangu erinevate lahenduste tasuvuse kohta kolme eramu näitel.

## Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida eramute elektrienergia tootmise tehnilisi võimalusi.

## Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Energiamaajanduse hetkeseis ja seadusandlus
2. Mikrotootmise tehnoloogiad
3. Mikrotootmise stsenaariumid B ja C energiaklassiga eramutele
4. Mikrotootmisseadme investeeringute tasuvuse analüüs

## **Lähteandmed:**

1. Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 (ENMAK 2030)
2. Elektriturseadus
3. Võrgueeskiri
4. Taastuvenergia toetuste kord
5. Raamatud
6. Teadusartiklid
7. Eramute 2013 – 2016.aasta elektrienergia tunnipõhised tarbimisandmed
8. Harku aeroloogiajaama tunnipõhised temperatuuri andmed 2013 – 2016.aasta
9. Taastuvenergia toetuste kord
10. Mikrotootmiseseadmete põhiparameetrid
11. Teadusartiklid
12. Mikrotootmiseseadmete tarnijatelt saadud tehniline – ja hinnainfo.

## Eessõna

Käesoleva magistritöö teema kujunes välja autori isiklikust huvist elektrienergia tootmisvõimaluste kohta eramu sektoris. Töö autor on olnud osaline taastuenergia lahendusi kasutatavate side- ja seirerajatiste projekteerimise, ehitamise ja neist tulenevate tehniliste väljakutsete lahendamisel.

Täna juhendajat Juhan Valtinit lõputöö juhendamise ja struktureerimise eest. Täna eramute omanikke oma eramute tehniliste andmete ja elektrienergia tarbimise ajalooliste andmete edastamise eest. Mikrotootmiseadmete hinnapakumuste eest ja konsultatsioonide avaldan tänu Onninen AS-i-le, W.E.G. Eesti OÜ-le ja Seebeck OÜ-le.

Magistritöö koostamiseks võimaldatud aja eest täna Ülev Lilleorg'i (Empower AS), kelle toetus töö kõrvalt õpingute jätkamiseks on olnud märkimisväärne. Suurimad tänud avaldan oma isale Toomas Raudsepp'le, kes on mind elektroenergeetika valdkonnaga maast-madalast kokku viinud ja oma perele nende tingimusteta toetuse eest õpingute ja magistritöö kirjutamise ajal.

Töö autori kontaktandmed:

Jaan Raudsepp

Telefon: +372 502 9665

e-post: jaan@raudsepp.ee

Töökoht lõputöö kirjutamise ajal: Empower AS



# Sissejuhatus

Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 (ENMAK 2030) kirjeldab Eesti energiapoliitika eesmärgi aastani 2030, energiamajanduse visiooni aastani 2050, ENMAK 2030 üld- ja alaeesmärgi ning meetmeid nende saavutamiseks. [1]

Eesti energiamajanduse eesmärkide täitmine aastal 2030 saab eraldi välja elamufondi puhul tuua järgmised iseloomustatavad tulemused: [1]

- toimib vaba ja avatud kütuse- ja elektriturg
- taastuvatest energiaallikatest elektri tootmise maht moodustab 30% sisemisest elektri lõpptarbimisest
- valdav enamus Eestis toodetud soojusest toodetakse taastuvate energiaallikate ja turba baasil
- läbi rekonstrueerimistegevuse on suurenenud hoonete energiatõhusus (väikeelamutest 40% = C või D energiatõhususarvu klass; korterelamutest 50% = C; mitteilamud 20% = C);
- uued hooned vastavad liginullenergiahoone energiatõhususarvu väärtusele

Energiasäästu ja -tõhususe saavutamiseks panustatakse elamu- ja soojusmajandusse eelkõige toetuste abil (toetatakse olemasoleva hoonefondi rekonstrueerimist, energiasäästlike üürielamute ehitamist ning liginullenergiahoonete rajamist) ning transpordis maksusüsteemi muutmisega. Aastaks 2030 püsib aastane energia lõpptarbimine 32 TWh juures, taastuvenergia osakaal energia lõpptarbimises moodustab 45 %, primaarenergia tarbimine muutub oluliselt tõhusamaks. [1]

Eesti eluasemesektori probleemiks on eluruumide madal energiatõhusus ja kvaliteet võrreldes teiste Euroopa liidu liikmesriikidega. Ekspertide hinnangute põhjal võib väita, et energiasäästu potentsiaal Eesti korterelamutes võrreldes põhjanaabritega on ligikaudu 30%. Eluasemefondi juures on probleemiks ka sotsiaalsed tegurid: elanikkonna nõrgemate gruppide vähene maksevõime, nõrk koostöö omavalitsuste, riigi ning kodanikuorganisatsioonide vahel, mõningate piirkondade ja korterelamute tühjenemine. [2] ENMAK 2030 kohaselt on Eesti Vabariigi põhitegevused energiajulgeolekuga seotud taristu tagamisel täna ning tulevikus on elektri- ja gaasivarustuses piiriüleste ühenduste tagamisel, õigusnõuetes sätestatud vedelkütuste varu ja gaasivaru tagamine Eestis, soojuse tootmise

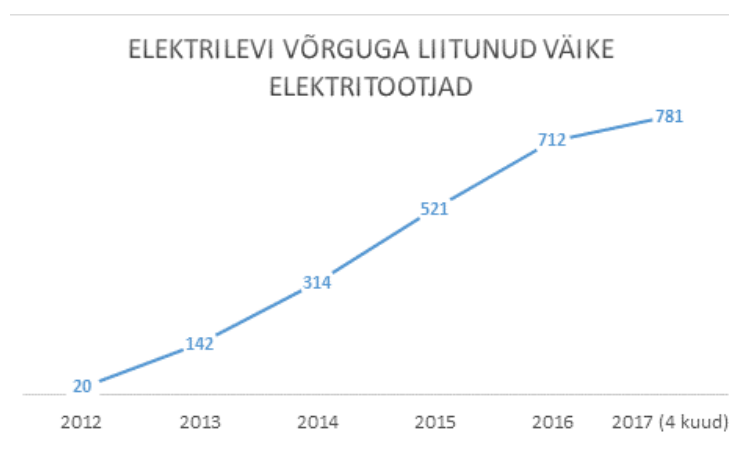
võimsuste olemasolu baas- ja tipukoormuste katmiseks, õigusloome tagamine haja- ja mikrotootmise edendamiseks. Elutähtsate teenuste energiavarustus peab olema tagatud. [1] Eestis on kodumajapidamiste sektori energiatarve 42,7% koguenergia bilansist. Hoonete energiakulukust vähendades on võimalik kõige efektiivsemalt vähendada energia lõpptarbimist, samuti on sellel otsene mõju eluaseme kuludele ning inimeste toimetulekule. [3]

Euroopa Parlamendi 2002. aasta hoonete energiatõhususe direktiivi järgi peavad kõik hooned, mis on ehitatud pärast 31. detsembrist 2018, olema nullenergiahooned - tootma sama palju energiat, kui kohapeal tarbivad. [3]

Nullenergia nõue kehtib läbivalt, erasektori puhul kehtib see nii elamutele kui ka äripindadele. Olemasolevaid hooneid nõue mõjutama ei hakka, kuid kõiki uusi ehitatavaid hooneid küll. [3]

Ehitusettevõtete juhtide arvamus on, et otseseid tehnilisi takistusi ei ole, asi jääb rohkem tellijate taha, tellijad ei taha tellida selliseid hooneid ning tellijad ei hakkagi ilmselt tahtma, enne kui nullenergia nõuded on rakendatud. [3]

Elektrilevi OÜ andmetel on 2016.aastal liitunud 196 uut mikroelektrijaama ja mikrotootjate poolt aasta jooksul anti Elektrilevi võrku ligi 3000 MWh elektrienergiat. [4]



**Joonis 1 Elektrilevi võrguga liitunud väike elektritootjad.** [4]

Eramusektoris on mikrotootmiseseadmete pakkumine elavnenud – kuid jätkub arengufaas. Hinnatundiku eratarbija jaoks on ilma toetuseta elektrienergia tootmiseseadmete ja koostootmiseseadmete soetamine raskendatud.

Lahendused kodumajapidamiste sektori energiatarbe vähendamiseks on suurendada energiatõhusust olemasolevas elamufondis ja uute rajatavate elamute energiatõhususe nõuetest kinnipidamisel.

Kehtiva seadusandluse juures piisab energiatõhusa hoone ehitamisest. Eramu kohustuslik hoone energiatõhususarv on täna ehitusloa taotlemisel väiksem või võrdne 121 kWh/(m<sup>2</sup>a). [5] Lähitulevikus on liginullenergia hoone tingimuste täitmiseks vajalik toota elektrienergiat lokaalselt. Tõhusaim viis seda täita on soojuse- ja elektrienergia tootmine.

Magistritöös on uuritud eramu elektrienergia mikrotootmise võimalusi ja vaadeldud hoonete energiatõhusust.

Esimeses peatükis antakse ülevaade energiamajanduse hetkeseisust ja tulevikust. Tuuakse välja nõuded hoonete energiatõhususele ja kehtivatele seadusandlusele ja mikrotootjate liitumise kohta elektrivõrguga.

Teises peatükis on toodud välja saadaolevate mikrotootmiseseadmed eramusektori jaoks. Uuritud on tänapäevaseid tehnoloogiaid ja tehtud ülevaade saadaolevatest mikrotootmiseseadmetest. Välja on jäetud tuulenergiat kasutavad mikrotootmiseseadmed tingituna nende poolt tekitatavast mürareostusest, mis ei ole sobilik lahendus eramajadele. Uuritud on tõhusa koostootmise lahendusi, mis on sobivad eramu piirkonnadesse.

Kolmandas peatükis on valikuuringu raames valitud kolm eramut. Uuritud on eramute soojus- ja elektrienergia vajadusi.

Kaks eramut on valminud 2006.a ja 2012.a ja üks on 2017.aastal projekteeritud eramu. Analüüsitud on kahe olemasoleva eramu elektritarbimist perioodil 2013 – 2016.aasta. Kolmanda eramu puhul on tehtud elektrienergia tarbimise prognoos tuginedes Maaküte OÜ poolt koostatud ja energiamärgise arvutuses toodud andmetele. Võrreldavate hoonete puhul on tegemist C-energiaklassiga eramutega ja kolmanda puhul B-energiaklassiga eramuga. Uuritud on soojusenergia tootmisele lisanduvat võimalikku elektrienergia tootmise potentsiaali. Aluseks on võetud, et soojusenergia tootmiseks vajalik seade on dimensioneeritud soojusenergia vajadustele vastavaks ja uuritud elektrienergia tootmise võimalusi jääsoojusest või fotoelektriliste päikesepaneelide abil - katmaks netoliginullenergiaaja aastast summaarset energiatarvet.

Analüüsitakse 3 stsenaariumit:

1. Stsenaarium 1 - mikrotootmine pelletil töötava mikrokoostootmiseseadmega (maksimaalse elektrilise võimsusega 1 kW)
2. Stsenaarium 2 - mikrotootmine päikesepaneelidega (maksimaalse elektrilise võimsusega 4 kW)
3. Stsenaarium 3 - mikrotootmine päikesepaneelidega (maksimaalse elektrilise võimsusega 10 kW)

Läbi analüüsi leitakse optimaalne tehniline lahendus mikrotootmiseks.

Töö neljandas osas on teostatud kolme eramu näitel mikrotootmisesse investeerimise majanduslik analüüs erinevate stsenaariumite rakendamisel. Analüüsist on väljajäetud kütusena gaasi kasutatavate mikrokoostootmiseseadmete analüüs tingituna nende kõrgest alginvesteeringust ja magistraalgaasitrassi puudumisest valitud kolme eramu juures. Leitakse stsenaariumite nüüdispuhasväärtused ja tasuvusajad.

Antud töö annab ülevaate eramusektoris kasutatavate mikrotootmiseseadmete tehnilistest lahendustest ja hindab kolme eramu näitel majanduslikku tasuvust.

# 1. Energiamajanduse hetkeseis

Euroopal Liidu eesmärk on aastaks 2020 suurendada taastuvatest energiaallikatest toodetava energia koguseks 20 % summaarsest energiatootmisest. Aastaks 2030 on eesmärk jõuda 27% Euroopa Liidu kogutootmisest. [5]

Euroopa Liidu tasandil on võetud selge suund üleminekule vähese CO<sub>2</sub>-heitega majandusele. Eesmärgiks on seatud, et aastaks 2050 väheneksid kasvuhoonegaaside (edaspidi KHG) heitkogused võrreldes 1990 aastaga 80–95%. Eesmärk on liikuda madala konkurentsivõimelise madala süsiniku majanduse suunas aastaks 2050. [6]

## 1.1. Energiamajanduse arengukava aastani 2030

Energiamajanduse arengukava aastani 2030 (lühendatult ENMAK 2030) koostamine algatati Vabariigi Valitsuse 08.08.2013 otsusega. ENMAK 2030 on valdkonna arengukava riigieelarve seaduse mõistes. ENMAK 2030 kirjeldab meetmeid arengukava elluviimiseks. Riigi põhitegevused energiajulgeolekuga seotud taristu tagamisel täna ning tulevikus on elektri- ja gaasivarustuses piiriüleste ühenduste tagamine, õigusnõuetes sätestatud vedelkütuste varu ja gaasivaru tagamine Eestis, soojuse tootmise võimsuste olemasolu baas- ja tipukoormuste katmiseks, õigusloome tagamine haja- ja mikrotootmise edendamiseks [1].

Elektritootmine toimub avatud elektrituru tingimustes. Uusi elektritootmise võimsusi rajatakse lähtuvalt elektrituru tingimustest, kus riigipoolne sekkumine toimub vaid elektri tootmise võimekuse kriteeriumi täitmiseks või uute innovaatiliste tehnoloogiate turule aitamiseks. Uute elektritootmisvõimsuste rajamiseks Eestisse on vaja luua eeldused maksusüsteemi, keskkonnatasude süsteemi ja õigusruumi korrastamisega. Elektrivõrkude töökindluse kasv tagatakse minimaalse ülekandetasu tõusuga. Koostootmisel on aastal 2030 võetud kasutusele majanduslikult tasuv koostootmise potentsiaal kaugküttepiirkondades. [1]

**Tabel 1.1 EL energia- ja kliimapolitiika raamistik aastani 2030 ja ENMAK 2030**

*oodatavad tulemused* [1]

Valdkond	EL-i raamistik Eesti jaoks 2020	ENMAK 2030 tulemusena aastal 2020	EL-i summaarsed eesmärgid aastaks 2030	ENMAK 2030 tulemusena aastal 2030
Taastuvenergia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 25% energia lõpptarbimises</li> <li>▪ 10% transpordikütuste lõpptarbimises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 11% transpordikütuste lõpptarbimises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 27% energia lõpptarbimises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 45% energia lõpptarbimises</li> </ul>
Energia lõpptarbimine	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energia lõpptarbimine 32,8 TWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energia lõpptarbimine 32,4 TWh</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energia lõpptarbimine 31,6 TWh</li> </ul>
Primaarenergia sisemine tarbimine	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Primaarenergia tarbimine ↓27% (vs 2030 prognoos PRIMES mudelis)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Primaarenergia varustus 57,7 TWh<sup>a</sup></li> </ul>
Kasvuhoonegaaside (KHG) heitkogus <sup>5</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ KHG heitkogus ↓20% vs 1990 (40,6 mln t CO<sub>2</sub>ekv /a)</li> <li>▪ CO<sub>2</sub> non-ETS ↑11% vs 2005</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ KHG heitkogus energiasektorist ↓54% (16,6 mln t CO<sub>2</sub>ekv /a)</li> <li>▪ KHG heitkogus kauplemisüsteemi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ KHG heitkogus ↓40% (vs 1990)</li> <li>▪ CO<sub>2</sub>ekv heitkogus ETS sektoritest ↓43% vs 2005 (12,6 mln t CO<sub>2</sub>ekv /a)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ KHG heitkogus energiasektorist ↓70% (10,5 mln t CO<sub>2</sub>ekv /a)</li> <li>▪ KHG heitkogus ETS energiasektorist</li> </ul>

2013. aastal oli näiteks Elektrilevi võrgust ligikaudu 50 000 tarbimispunkti (s.o. 8% kõikidest tarbimispunktidest), kus aastane tarbimine oli minimaalne või puudus sootuks. Seni on kasutusel olnud valdavalt muutuvkomponenti sisaldav võrgutasude struktuur, mis ei motiveeri tarbijaid lepinguliste tarbimistingimuste vastavusse viimist tegelike vajadustega ega kaaluma kasutamata võrguühendusest loobumist. Võrkude parema ja reaalsest tarbijate vajadustest sõltuva planeerimise seisukohalt on otstarbekas rakendada tarbimispunkti liitumisvõimsusest või võrguühenduse läbilaskevõimsusest sõltuvat tariifi püsikulu komponenti, sh rakendada võrguühenduse kasutamise tasu kõigile võrguteenusest kasu saajatele. Täiendava väljakutse jaotusvõrkudele loob järjest kasvav hulk haja- ja mikrotootjaid jaotusvõrkudes, mis loob vajaduse võrkude planeerimisel ja arendamisel nendega üha enam arvestada ja kasutusele võtta järjest enam tarkvõrgu lahendusi. Haja- ja mikrotootmise arendamiseks tuleb jaotusvõrkude arendamisel liikuda ka tehniliste lahenduste poole, mis lubaks tootjatel töötada ka lahutatuna elektrivõrgust, seda eriti piirkondades, kus jaotusvõrkude arendamine on väikse või sesoone tarbimismahu tõttu ebaotstarbekas. [1]

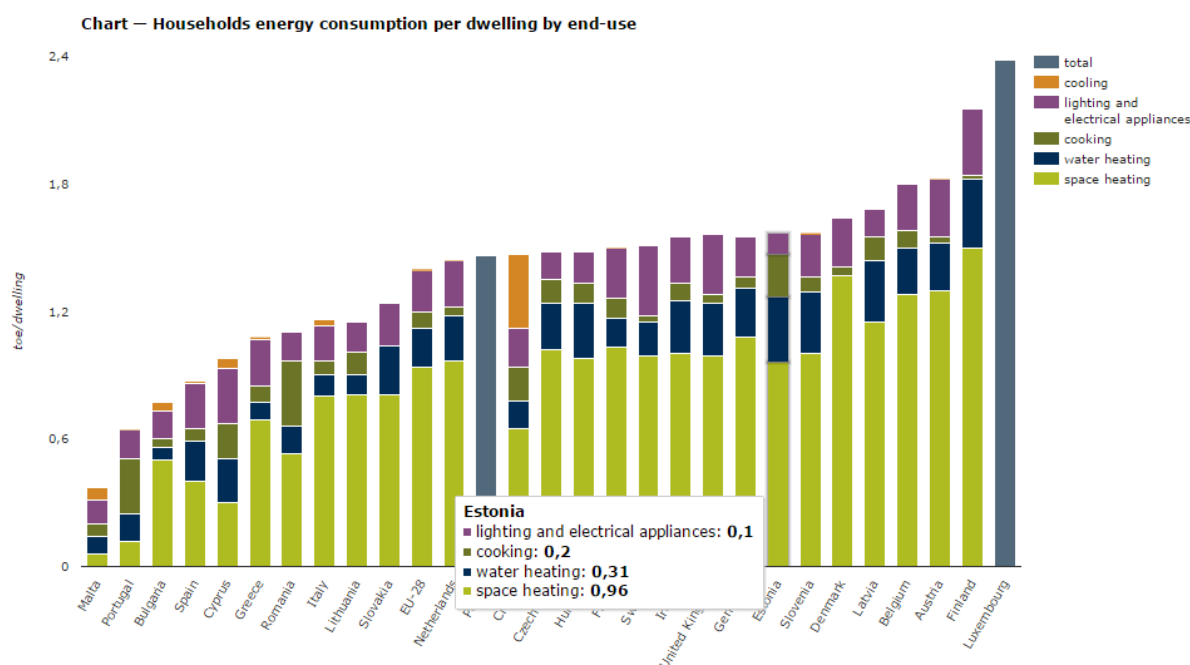
## 1.2. Säστεv areng, energia säästlik kasutamine

On levinud arusaam, et kui lülitada ümber vaid taastuvate energiaallikate kasutamisele, muutub kogu energiasüsteem automaatselt säästvaks. Iga-aastane taastuva energia (päike,

tuul, vesi jne) hulka võib lugeda praktiliselt konstantseks, kuid taastuva energia hulk, mis on praegu jätkuva arengu kindlustamiseks veel vaba, väheneb kogu aeg. Arengu tagamiseks on vaja pidevalt suurendada energia kasutamise tõhusust (energia efektiivsust igas energiaahela lülis) isegi siis, kui toetuda vaid taastuvatele energiaallikatele. [7]

Mõistet energiasääst on hakatud viimasel ajal üha sagedamini kasutama ainult energia kokkuhoiu meetmete tähistamiseks lõpptarbija juures. Energiasääst – see on tarbijate energiavajaduse rahuldamine väiksemate kulutustega, mitte tarbimise otsene piiramine. Energia säästmine ei tohiks oluliselt alandada elatustaset. Õigem on öelda - energia säästlik kasutamine - energiakasutuse vähendamine. [7]

Euroopa Keskkonnaagentuuri andmetel on Euroopa kodumajapidamiste energia järgmine:



**Joonis 1.1 Euroopa energiatarbimine kodumajapidamistes majapidamise kohta [8]**

Toe - Naftatonnekvivalent ehk energia, mis on võrdväärne ühe tonni nafta põletamisest saadava energiaga, 1 toe = 41,868 GJ, 1 TWh elektrienergiat = 0,086 Mtoed. [9]

Võrreldes teiste Euroopa riikidega tuleb arvesse võtta ka Eesti geograafilist asendit ja kliimaatilisi tingimusi. Sellest tingituna on suurem vajadus ruumide kütteks. Tingituna küttevajadusest näeb autor suurt potentsiaali soojuse- ja elektrienergia koostootmiseks – seeläbi vähendades kodumajapidamistes energiale suunatud kulutusi. Eestis on kodumajapidamiste sektori energiatarve 42,7% koguenergia bilansist. Hoonete

energiakulukust vähendades on võimalik kõige efektiivsemalt vähendada energia lõpptarbimist, samuti on sellel otsene mõju eluaseme kuludele ning inimeste toimetulekule. [1]

### 1.3. Nõuded hoone energiatõhususele ja energiatõhususarv

Vastavalt Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi määrusele nr. 55 vastu võetud 03.06.2015 sätestatakse hoone energiatõhususe miinimumnõuded vastavalt § 3 toodule: Nõuded hoone energiatõhususele ja energiatõhususarv: [10]1

(1) Hoone vastavust energiatõhususe nõuetele hinnatakse hoone projekteerimisel ehitusprojekti alusel.

(2) Energiatõhususe nõuded on väljendatud energiatõhususarvuna ja teiste käesolevas määruses käsitletud nõuetena.

(3) Ehitatava hoone energiatõhususarv ei tohi hoonete puhul ületada järgmist piirväärtust: [10]

**Tabel 1.2. Ehitatava hoone energiatõhususarvu piirväärtused [10]**

Hoone	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
1) väikeelamu kōetava pinnaga kuni 100 m <sup>2</sup>	184
2) väikeelamu kōetava pinnaga üle 100 m <sup>2</sup>	160
3) korterelamu	150
4) büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	160
5) ärihoone	210
6) avalik hoone	200
7) kaubandushoone ja terminal	230
8) haridushoone	160
9) koolieelne lasteasutus	190
10) tervishoiuhoone	380

(4) Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv ei tohi hoonete puhul ületada järgmist piirväärtust:



**Tabel 1.3. Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarvu piirväärtused [10]**

Hoone	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
1) väikeelamu	210
2) korterelamu	180
3) büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	210
4) ärihoone	270
5) avalik hoone	250
6) kaubandushoone ja terminal	280
7) haridushoone	200
8) koolieelne lasteasutus	240
9) tervishoiuhoone	460

**Hoone energiatõhususarvu (ETA) või kaalutud energiaerikasutuse (KEK) klassi skaala** valitakse hoone kasutamise otstarbe alusel. Hoone energiatõhususarvu (ETA) või kaalutudenergiaerikasutuse (KEK) klass määratakse kindlaks lähtuvalt energiatõhususarvust, mis on määratud kindlaks määruse § 7 alusel, või hoone kaalutud energiaerikasutusest, mis on määratud kindlaks määruse § 15 alusel, alljärgnevatelt klasside skaaladelt: [10]

**Tabel 1.4. Väikeelamu energiatõhususarvu (ETA) või kaalutud energiaerikasutuse (KEK) klassi skaala [11]**

ETA või KEK, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Klass
ET või KEK ≤ 50	A
51 ≤ ET või KEK ≤ 120	B
121 ≤ ET või KEK ≤ 160	C
161 ≤ ET või KEK ≤ 210	D
211 ≤ ET või KEK ≤ 260	E
261 ≤ ET või KEK ≤ 330	F
331 ≤ ET või KEK ≤ 400	G
ET või KEK ≥ 401	H

## § 6. Madalenergiahoone

(1) Madalenergiahoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhususe- ja taastuvenergiatehnoloogia lahendusega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille puhul ei eeldata lokaalset elektri tootmist taastuvast energiaallikast.

(2) Madalenergiahoone energiatõhususarv ei tohi ületada järgmist piirväärtust: [10]

**Tabel 1.5. Madalenergiahoone energiatõhususarvu piirväärtused [11]**

Hoone	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
1) väikeelamu	120
2) korterelamu	120
3) büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	130
4) ärihoone	160
5) avalik hoone	150
6) kaubandushoone ja terminal	160
7) haridushoone	120
8) koolieelne lasteasutus	140
9) tervishoiuhoone	300

## § 7. Liginullenergiahoone

(1) Liginullenergiahoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhususe- ja taastuvenergiatehnoloogia lahendusega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m<sup>2</sup>·a), kuid mitte suurem kui käesolevas paragrahvi järgmises lõikes 2 sätestatud piirväärtus. [10]

(2) Liginullenergiahoone energiatõhususarv ei tohi hoonete puhul ületada järgmisi järgnevas tabelis toodud piirväärtusi:

**Tabel 1.6. Liginullenergiahoone energiatõhususarvu piirväärtused [11]**

Hoone	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
1) väikeelamu	50
2) korterelamu	100
3) büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	100
4) ärihoone	130
5) avalik hoone	120

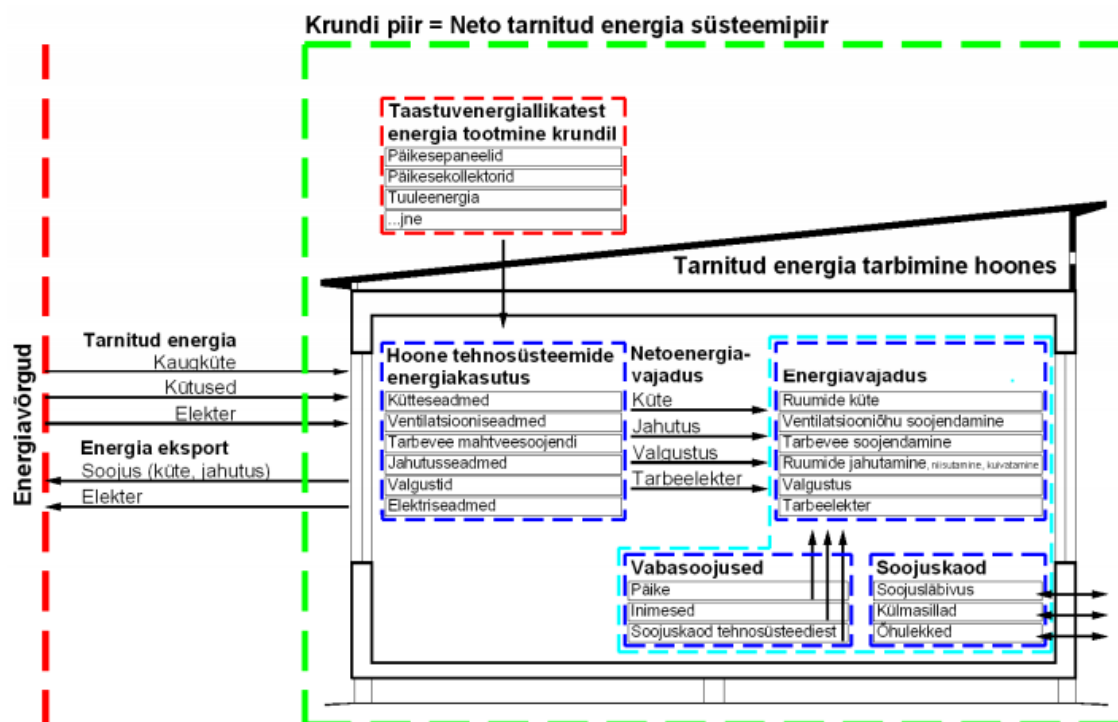
6) kaubandushoone ja terminal	130
7) haridushoone	90
8) koolieelne lasteasutus	100
9) tervishoiuhoone	270

## § 8. Netonullenergiahoone

(1) Netonullenergiahoone on hoone, mille energiatõhususarv on  $0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

(2) Netonullenergiahoonesse võib hankida tarnitud energiat, kui see kompenseeritakse eksporditud energiaga. [10]

Eestis on uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe määramise aluseks energiatõhususarv, mis tuleb leida Vabariigi Valitsuse määruse nr. 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ järgi. Energiatõhususarv  $\text{ETA } \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  on aastane arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, mis võtab arvesse primaarenergia kasutuse ja selle keskkonnamõju ning vaadeldud krundil taastuvatest energiaallikatest toodetud energia, vt. Joonis 2.1. [12]



Joonis 1.2. Energiatõhususe mõisted ja komponendid. [12]

## 1.4. Liitumistingimused elektritootjale

Mikrotootmist reguleeriv seadusandlus:

1. Vabariigi Valitsuse määrus Võrgueeskiri näeb ette nõuded elektripaigaldiste ühendamiseks elektrivõrguga ja kehtestab tootmiseseadmetele kohaldatavad tehnilised nõuded. [13]
2. Vabariigi Valitsuse Elektriturseaduse reguleerimisala - reguleerib elektrienergia tootmist, edastamist, müüki, eksporti, importi ja transiiti ning elektrisüsteemi majanduslikku ja tehnilist juhtimist. Seadus näeb ette elektrituru toimimise põhimõtted, lähtudes vajadusest tagada põhjendatud hinnaga, keskkonnanõuete ja tarbija vajaduste kohane tõhus elektrivarustus ning energiaallikate tasakaalustatud, keskkonnahoidlik ja pikaajaline kasutamine. [14]
3. EVS-EN 50438:2013 - Nõuded mikrogeneraatorjaamade ühendamiseks rööbiti avalike madalpingeliste jaotusvõrkudega. [15]

Elektrilevi lihtsustatud liitumistingimused:

Elektrilevi OÜ on lihtsustanud mikrotootjate liitumise tingimusi alates 2017.aastast. Kuni 200 kilovattise võimsusega elektritootjatel ei ole üldjuhul enam vaja taotlusele lisada põhimõtteskeemi, seadmete andmelehti ja muid lisadokumente. Samuti pole vajalik täiemahulise elektriprojekti kooskõlastamine ja piisab teostusdokumentide esitamisest. [4]

Lisaks nõutud dokumentide hulga vähendamisele laiendas Elektrilevi inverterite nimekirja ja loobus vähelevinud standardi EN 50438 tüübikatsetuste protokollide nõudmisest. Viimane muudatus võimaldab ka kuni 200-kilovattise võimsusega elektritootjatel kasutada mugavat lähenemist, kus inverterite nimekirjast valitud mudeli puhul ei pea selle vastavust iga kord eraldi tõendama. [4]

Teatud erisused, mis puudutavad liitumistasu arvutamise meetodikat ja võrgulepingu tingimusi, jäävad praegu mikrotootjate (nimivõimsusega kuni 15 kW) ja 16 – 200 kW nimivõimsusega elektritootjate liitumisprotseduurides veel kehtima. Nende dokumentide muutmine on oluliselt ajamahukam ja vajab muuhulgas kooskõlastust Konkurentsiametilt. Lisaks tuleb teha muudatusi võrgueeskirjas. Järgmise sammuna on Elektrilevi eesmärk mikrotootjate (kuni 15 kW) ja 16 – 200 kW elektritootjate liitumisprotseduurid täielikult ühtlustada. [4]

## 1.5. Taastuenergia toetus ja elektrienergia müük

Toetusi taastuvate energiaallikate kasutuselevõtuks, energiasektori efektiivsemaks muutmiseks ja sisemaise varustuskindluse/võimsuse piisavuse tagamiseks jagatakse Elektrituruseaduse §59 alusel. [16]

Toetusi makstakse elektrienergia eest, mis on toodetud taastuvatest energiaallikatest, koostootmise režiimil biomassist või tõhusa koostootmise režiimil. Alates 2013 aastast on toetused ette nähtud ka põlevkivil töötava tootmiseseadme netovõimsuse kasutatavuse eest. Vastavalt elektrituruseadusele maksab toetused välja põhivõrguettevõtja - Elering. [16]

Toetuse rahastamisest tekkiva kulu kannab tarbija vastavalt võrguteenuse tarbimise mahule ning otseliini kaudu tarbitud elektrienergia kogusele. [16]

Taastuvateks energiaallikateks loetakse vesi, tuul, päike, laine, tõus-mõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass, kusjuures biomassiks loetakse põllumajanduse (sealhulgas taimsete ja loomsete ainete) ja metsanduse ning nendega seonduva tööstuse toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev osa ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunevad komponendid. [16]

**Tabel 1.7 Toetuste määrad ja maksmise tingimused** [16]

Toetuse määr	Toetuse saamise tingimused
Toetust makstakse elektrienergia eest, mis on toodetud:	
0,0537 Euro/kWh	taastuvast energiaallikast, välja arvatud biomassist
0,0537 Euro/kWh	koostootmise režiimil biomassist. Pärast 31.12.2010 biomassist elektrienergia tootmist alustanud tootja võib saada toetust ainult koostootmise režiimil toodetud elektrienergia eest.
0,032 Euro/kWh	tõhusa koostootmise režiimil jäätmetest, jäätmeseaduse tähenduses, turbast või põlevkivitöötlemise uttegaasist

0,032 Euro/kWh	tõhusa koostootmise režiimil tootmiseseadmega, mille elektriline võimsus ei ületa 10 MW.
-------------------	--

Taastuvenergia toetuse saamiseks sobivad antud uurimisvaldkonna raames: biomassist koostootmise režiimil ja päikseenergiast toodetud elektrienergia. Tõhusa koostootmise korral lähtudes soojusenergia nõudlusest ja tagades energiasäästu vastavalt tõhusa koostootmise nõuetele. [14]

Toodetud ja tarbitud elektrienergia edastamiseks sõlmitakse võrguleping. Elektrihinna määrab sõlmitud leping.

## 2. Mikrotootmine, areng ja tehnoloogiad

### 2.1. Mikro- ja hajatootmine

**Mikrotootmiseks** k.a mikroenergeetikaks nimetatakse väikesemahulist elektrienergia tootmist. Käesolevalt peetakse silmas elektrienergia tootmist taastuvatest energiaallikatest. Võimalik on samuti kasutada elektrienergia tootmiseks ka teisi võimalusi, näiteks gaasiturbiine vms. Teisisõnu on energia mikrotootmine ka kodumajapidamise või väikeettevõtte poolt tarbimiskohas elektri(energia) tootmine, mille eesmärgiks on katta eelkõige tootja enda vajadusi. [17]

Mikrotootmiseseadme jaoks kvalifitseeruvad ühefaasilised tootmiseseadmed, mille nimivõimsus on kuni 3,68 kW või kolmefaasilised tootmiseseadmed, mille nimivõimsus on kuni 11 kW. Mikrotootmiseseade võib koosneda ka mitmest seadmetest, mille summaarne koguvõimsus ei ületa eelpooltoodud suurusi. [2]

Toodetud mehaanilist energiat saab kasutada elektrienergia tootmiseks, mida saab kasutada kohalike vajaduste katmiseks ja ülejäägi korral elektrivõrku müüa.

Elektrienergia ja koostootmisel on kütuse kasutamise kasutegur tavaliselt 85 – 92%, seega see on võrreldav tänapäevase lokaalkatlamaja katla kasuteguriga soojuse tootmisel. [18]

**Mikrokoostootmiseseade** – koostootmiseseade mille maksimaalne elektriline võimsus on alla 50 kW<sub>e</sub>.

#### Hajatootmine

Hajatootmine, ehk teisisõnu ka hajaenergeetika kujutab endast elektrienergia tootmist tarbijaga seotult ja hajutatult paiknevates mikro- ja minielektri- ja küttejaamades. Hajaenergeetika kontseptsiooni korral eeldatakse, et kogu toodetav elektrienergia tarbitakse ära võimalikult tootmiskoha ligidal. Juhul kui tarbija poole liitumispunkti ühendatud väiketootmiseseadme nimivõimsus  $P_n$  on väiksem kui tarbija minimaalne võimsus  $P_{tmin}$ , siis läheb kogu toodetav elektrienergia kohaliku tarbimise katteks. Kui  $P_n$  on suurem kui  $P_{tmin}$ , siis läheb osa elektrienergiat võrku. [2]

Võrku mineva elektrienergia kogust mõõdetakse kahepoolse töörežiimiga elektriarvestite abil. Hajaenergeetika baseerub väikeelektritootmiseseadmetel, mis võib jagada kolme gruppi:

- 1) stohhastilise väljundvõimsusega (tuul, päike)

- 2) kontrollitava väljundvõimsusega (gaasiturbiin, sise põlemismootoriga elektrigeneraator)
  - 3) Piiratud kontrollivõimalusega väljundvõimsusega (hüdroelektrijaam, koostootmisjaam)
- [2]

Elektri ja soojuse koostootmine on protsess, kus ühe seadme abil muundatakse kütusest saadav energia samaaegselt nii elektri- kui ka soojusenergiaks.

Üldises kontseptsioonis võib koostootmiseseadmed vastavalt elektrilisele väljundvõimsusele jagada: [19]

- 1) mikrokoostootmiseseade - koostootmiseseade, mille  $P_e < 50 \text{ kW}$ ;
  - 2) väikekoostootmiseseade - koostootmiseseade, millel  $50 \text{ kW} < P_e < 1 \text{ MW}$ ;
  - 3) suured koostootmiseseadmed - koostootmiseseadmete talituslik kogum, mille  $P_e > 1 \text{ MW}$ .
- [17]

Tänane energiapoliitika üldiselt tuleneb kahest olulisest suundumusest: [19]

- Energiasäästlikkus
- Keskkonnakaitse

Et täita eelpooltoodud kahte tingimust, tuleks efektiivsemalt “toota” energiat. Heaks lahenduseks on siin soojuse ja elektri koostootmine. Soojuse ja elektri koostootmise (koostootmine) on protsess, mille puhul ühest seadmest väljastatakse kahte liiki energiat.

Koostootmise väljunditeks on:

- Soojus, mida võib kasutada tehnoloogilistes protsessides, tarbevee soojendamiseks, ruumide kütteks. Kui ka absorptsioonil põhineva jahutusprotsessi käitamiseks
- Mehaaniline energia, mis muundatakse elektrienergiaks, kuid võib kasutada ka pumpade ja kompressorite otseseks käitamiseks.

Soojuse ja elektri koostootmise iseloomustamiseks kasutatakse mõistet kogukasutegur, mis avaldub summana elektrilisest kasutegurist ja soojuslikust kasutegurist ehk analüütiliselt: [19]

$$\text{elektriline kasutegur} = \frac{\text{toodetud elektrienergia}}{\text{süsteemi sisseviidud kütuseenergia}}$$

$$\text{soojuslik kasutegur} = \frac{\text{toodetud soojus}}{\text{süsteemi sisseviidud kütuseenergia}}$$

$$\text{Kogukasutegur} = \frac{\text{toodetud elektrienergia} + \text{toodetud soojus}}{\text{süsteemi sisseviidud kütuse energia}} \quad [19]$$



## 2.2. Mikrokoostootmine

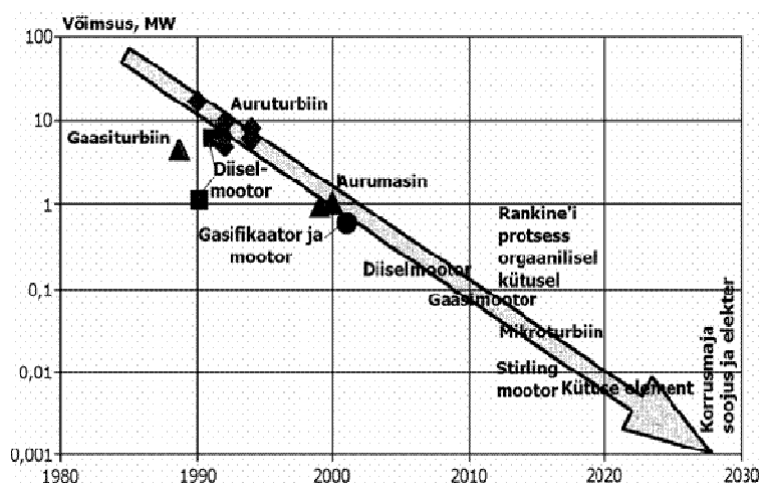
Töö autor on käesolevas töös tähelepanu suunanud soojusjuhitava soojus- ja elektrienergia mikrokoostootmise võimalustele. Alternatiivina on uuritud päikeseenergia lisamist olemasolevatele eramutele.

Mikrokoostootmiseks kasutatakse biomassi, maagaasi, LPG, kivisüsi ja olmejäätmeid. Elektrienergia tootmiseks on mikrotootmise mõistes on järgmised võimalused:

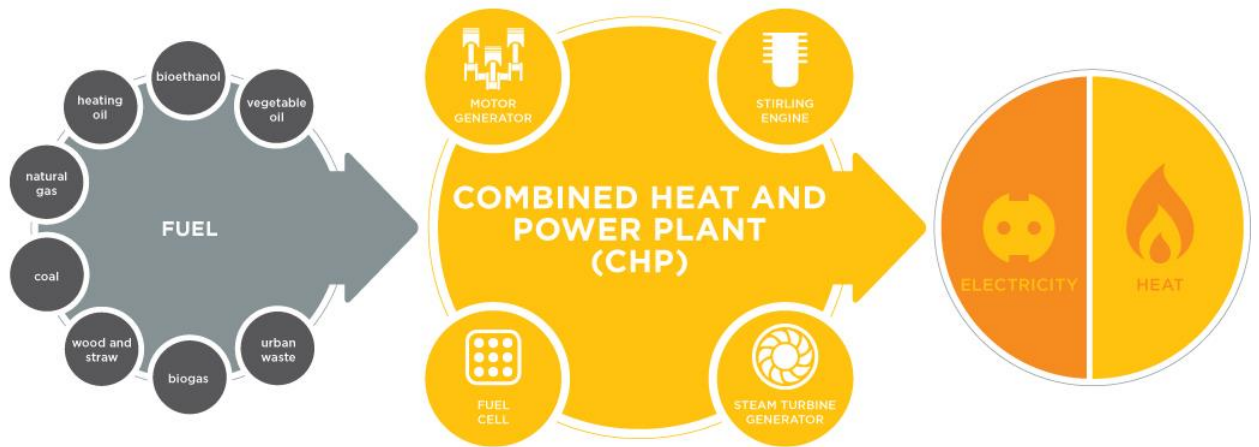
1. Stirlingmootor
2. Mikroturbiin
3. Sisepõlemismootor
4. Kütuselement
5. Termoelektriline generaator
6. Solar CHP – fotoelektriline paneel koos päikesekollektoriga.

## 2.3. Koostootmise areng

Tööstusrevolutsioon algas 19.sajandi lõpus ja tõi kaasa kogu tööstusvaldkonna mehhaniseerimise. Tööstuses toodeti kivisöe põletamisel auru, mis muudeti aurumootorites mehaaniliseks energiaks. Victoria ajastu inseneride väike samm aitas tuvastada, et tekkiva jääksoojuse abil võib talvel kütta tehasehooneid ja mõnel juhul toetada tootmisprotsessi. [20] Sajandivahetusel asendus mehaanilise energia kasutamine vähehaaval elektrienergia tootmisega tehastes – kasutades ära tekkivat jääksoojust. Seda lahendust loetakse tänapäevase soojuse ja elektrienergia koostootmise alguseks. Peale seda algas üleliigse energia „eksport“ elamutesse ja lähedal olevatele äridele. [20]



Joonis 2.1. Koostootmise arengud [18]



*Joonis 2.1. Mikrokoostootmise tehnoloogiad [21]*

## 2.4. Mikrokoostootmisjaamade juhtimine

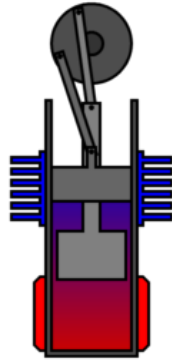
Mikrokoostootmisjaama juhtimiseks on kolm põhilist stsenaariumit [22]:

1. Soojusjuhitav soojus- ja elektrienergia koostootmine  
Jaama käitamine on sõltuv eramu soojuslikust koormusgraafikust.
2. Elektri juhitav soojus- ja elektrienergia koostootmine  
Antud stsenaariumi puhul on määrav hoone elektritarbimise koormusgraafik.
3. Kulutusi minimaliseeriv koostootmine  
Stsenaariumi kohaselt leitakse madalaimate kuludega opereerimise mudel.

Eestis on otstarbekas valida mikrokoostootmisjaama juhtimiseks soojusjuhitav elektrienergia tootmine tingituna tõhusa koostootmise puhul makstava toetuse tõttu.

## 2.5. Stirlingmootor

Välispõlemismootor ehk stirlingmootor, mis saab mehhaaniliseks tööks muundatavat soojust väljastpoolt. Nüüdisaegne stirlingmootor põhineb kinnisel ringprotsessil, mis koosneb 2 isotermilisest ja 2 isohoorsest protsessist. [18]



**Joonis 2.2. Stirling mootori tööpõhimõte [23]**

Maailmas on tänasel päeval mikroskoostootmiseadmes kasutusel Microgen Engine Corporation Holding BV poolt väljaarendatud 1 kW 50 Hz Stirling mootor. Tootja andmetel on seade hooldevaba ja mootori kasutegur 26%. Antud mootorid kasutavad näiteks Vaillant, ÖkoFEN Viessmann ja Baxi.



**Joonis 2.3. Microgen Engine Corporation Holding BV Stirling generaator [24]**

Maksimaalne elektriline võimsus: 1050 W

Kaal 49 kg.

Kõrgus 450 mm ja 300 mm diameetriga

Müratase 52,5 dB.

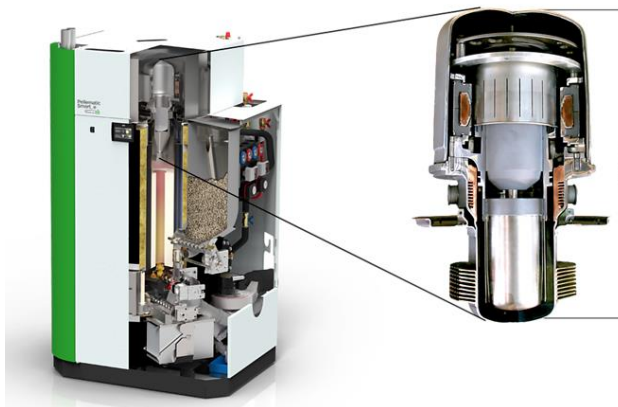
Projekteeritud eluiga 50 000 h. [25]

Kasutegur 26 %

Puuduseks saab lugeda tema kõrget mürataset ja projekteeritud eluiga. Tehase andmeel on seade hooldevaba.

## ÖkoFEN Forschungs- und Entwicklungs Ges.m.b.H.

Tegemist on pelletit kütusena kasutatavat katelt. Jääksoojusest toodetakse elektrienergiat. Pellematic Smart\_e eeliseks teiste Micro-Gen Stirling mootorit kasutavate tootjate ees võib lugeda tema automaatse puhastamise süsteemi soovimatute tahmaosakeste eemaldamiseks kütteseadmelt. [26]



Joonis 2.4. Pellematic Smart\_e [26]

## Viessmann Werke GmbH & Co. KG

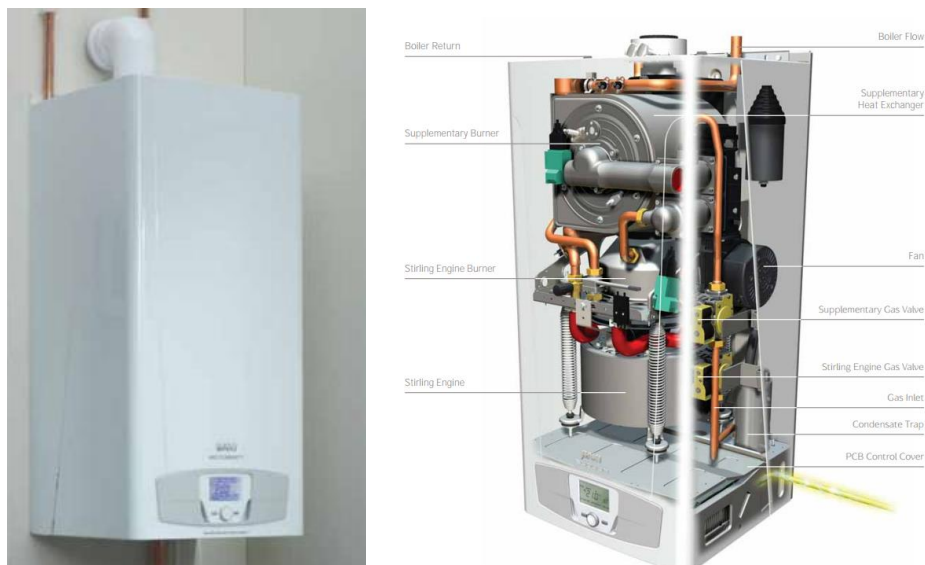
Viessmann Werke GmbH & Co. KG toodanguportfellis on saadaval maagaasi või LPG toitega mikrokoostootmisseadet. Soojuslik võimsus 3,6 – 26 kWh. Elektriline võimsuse 0,6 – 1,0 kWh.



Joonis 2.5. Viessmann VitoTwin 300-W ja VitoTWIN 350-F [27]

## Baxi Ecogen Dual Energy System

Sertifitseeritud mikrokoostootmiseseade Baxi Ecogen Dual Energy System.



**Joonis 2.6. Baxi Ecogen Dual Energy System [28]**

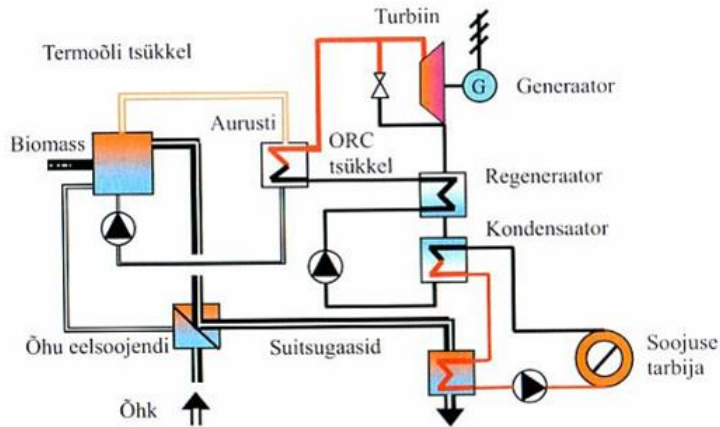
Maksimaalne elektriline võimsus 1 kW ja soojuslik maksimaalne võimsus 25,3 kW. Paremuseks on tavalise gaasiboileri asendamine Baxi mikrokoostootmiseseadmega. Puudub sõltuvus maja orientatsioonist ilmakaarte suhtes. Toodab elektrit elektrienergia tarbimise tipukoormuste juures. Vähendab võrgust ostetava elektri kogust ja vähendab keskkonnasaastet. [28] Puuduseks tuleb lugeda Microgen stirling mootori projekteeritud eluiga – 50 000 tundi. [25] Tavalise gaasiboileri asendamise mikrokoostootmiseseadmega on tehniliselt lihtne.

## 2.6. Orgaanilisel Rankine'i ringprotsessi põhinev seade

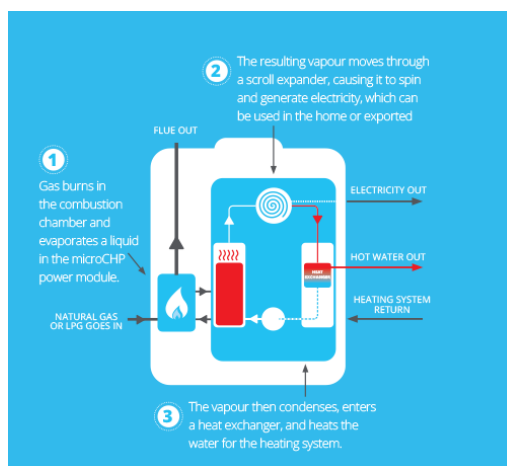
Uuemaid elektritootmise tehnoloogiaid on ORC - Organic Rankine Cycle ehk termaalõli soojuskandja vahendusel energia üle kandmine elektri tootmiseks. Soojust muundatakse mehhaaniliseks energiaks siin Rankine'i tsükli abil, kuid nn termodünaamiliseks kehaks on orgaanilised vedelikud. Tegemist on tehnoloogiaga, mis arendati välja geotermiliste- ja päikeseelektrijaamade tarbeks. [29]

ORC tööprintsip on järgmine:

Katlas (katla kütuseks võib olla mistahes kütus, kuid levinum on nn puitpõhiste ehk biokütuste kasutamine) kuumutatakse termoõli kuni 3000 C-ni ning soojus kantakse üle silikoonõlile soojusvahetis. Orgaaniline soojuskandja aurustub ja paisub turbiinis. [29]



**Joonis 2.7. Orgaanilise Rankine'i ringprotsessiga tehnoloogia skeem [29]**



**Joonis 2.8 Flow mikrokoostootmiseseade [30]**

Elektriline võimsus kuni 1 kWe ja soojuslik 7,4 kWt – 14,1 kWt. [31]

## 2.7. Sisepõlemismootor

Sisepõlemismootoriga jõuseade, mille töö põhineb kas Diesel või Otto ringprotsessil. Otto ringprotsessil töötavad seadmed kasutavad reeglina kütuseks maagaasi. Soojusenergiat toodetakse nii heitgaaside arvelt kui ka mootori jahutussüsteemist. Jõuseade koosneb tavalises komplektis mootorist, elektrigeneraatorist ja soojusenergia tootmiseks vajalikest soojusvahetitest, mis on seotud mootori veesärkjahutuse ja õlitussüsteemiga ning heitgaasi ärajuhtimissüsteemiga. Energiabilansiliselt kujuneb siin välja vahetuskord, kus kütusega

protsessi viidud energiast (100%) toodetakse elektrienergiat 40% ja soojusenergiat 50% ning kaod moodustavad ligikaudu 10% [29]

Puudustena saab välja tuua kõrge mürataseme, suure heitgaaside hulga ja hooldusvajaduse. Antud lahendus ei ole sobiv paigaldamiseks eramajade juurde.

Näitena saab tuua pikalt seeriatootmises oleva Honda Ecowill on sise põlemismootoril põhinev mikrokoostootmisseade.



**Joonis 2.9. Honda ECOWILL 1 kWe** [32]

Elektriline väljundvõimsus 1,2 kWe ja soojuslikvõimsus 3 kWt. Maksumus £5600.

## 2.8. Mikroturbiin

Mikroturbiiniga CHP konteiner sisaldab turbiinikompressorit, mis asuvad ühel võllil elektrigeneraatoriga, rekuperaatorit (soojusvahetit) ja inverterit. Generaator võib vajadusel töötada ka turbiini starterina. Mikroturbiiniga  $\mu$ -CHP võib saavutada elektrilise kasuteguri 25–30% ja kogukasuteguri vahemikus 70–90%. Viimane nõuab rekuperaatori kasutamist, mille abil soojendatakse lahkvate gaasidega ette turbiini suunatav õhk. Selle võttega paranebki oluliselt kasutegur. [33]

Seeriatootmisesse on tulemas on ettevõtte MTT Micro Turbine Technology BV mikrokoostootmisseade EnerTwin. Elektrit toodetakse 4 kW mikroturbiiniga. Käivitusaeg alla 2 minuti. Eeliseks loetakse madalaid hoolduskulusid ja keskkonnasõbralikkus. Elektrilinevõimsus 1,0 – 3,2 kWe ja soojuslikvõimsus 6,0 – 15,6 kWt. [34] Seade tuleb turule 2017.aastal.



*Joonis 2.10 EnerTwin* [35]

## **2.9. Kütuseelement**

Kütuseelement koosneb elektroodidest – anoodist ja katoodist, mida eraldab ioone juhtiv membraan või elektrolüüt. Elektroodiplaadid on metallist, nanopoorsest süsinikust või keraamikast. Reaktsioonide kiirendamiseks (eriti madalatel töötemperatuuridel), on elektroodid kaetud katalüsaatori (plaatina, pallaadiumi) kihiga. Elektrolüüdiks, mille ülesandeks on juhtida ioone (kuid mitte elektrone), võib sõltuvalt tüübist olla happe või leelise lahus, samuti tahke aine polümeermembraani kujul, kõrgetemperatuurilistes elementides keraamiline materjal. Elektrienergia tootmiseks vajab element anoodil vesinikku või orgaanilist ühendit, näiteks metanooli, metaani või sünteesgaasi, ja katoodil hapnikku. Neid reaktsioonikomponente tuleb kütuseelemendi elektroodidele pidevalt juurde anda. Vesinik-hapnik-kütuseelemendi pinge on temperatuuril 25 °C teoreetiliselt 1,23 V, praktiliselt saavutatud väärtused jäävad vahemikku 0,5 – 1,0 V. Vajaliku pinge saamiseks moodustatakse elementidest järjestikpatarei. [33]

Kütuselementidel põhinevat mikrokoostootmisseadet toodab Viessmann koostöös Panasonic Corporationiga. Kütuselemendiks on Panasonicu kütuselement.





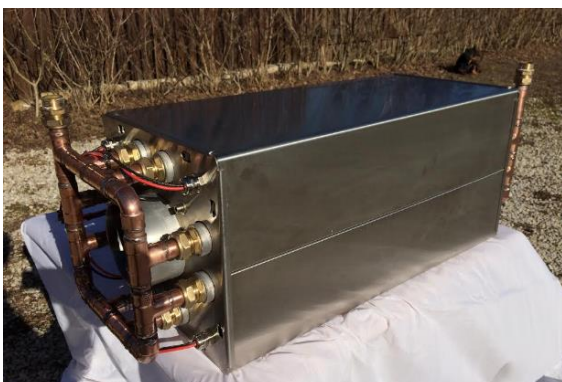
**Joonis 2.11 Viessmann Vitovalor 300-P** [36]

Kütuselemendi energiaallikaks on vesinik, mida toodetakse maagaasist. Elektriline võimsus 0,75 kWe ja soojusvõimsus 5,5 kuni 19 kWt. [36]

Tehniliseks väljakutseteks võib lugeda kütuselemendi tehnoloogial põhinevate seadmete juures tema piiratud tööiga, mis on ca 30 000 kuni 60 000 tundi. [18]. Seadme soetusmaksumus on kõrge - 22 600 €. [37]

## 2.10. Termoelektriline generaator

Termoelektrilise generaatori töö põhineb kolmel efektil: Seebecki, Peltieri ja Thomsoni efektidel. [38] Termoelektriline muundamine (Peltier efekt), jahutatava juhi ja kuumutatava juhi vahel tekib elektrivool. Seade on termoelektriline generaator (TEG). [7]



**Joonis 2.12. Seebeck termoelektriline generaator** [39]

Puuduseks saab lugeda madalat 5% kasutegurit. Eeliseks on müravaba töötamine ja pikk hooldusvälp – üks kord aastas. [39]

## 2.11. Fotoelektriline päikesepaneel ja SOLAR CHP

### Fotoelektriline päikesepaneel

Fotoelektriline efekt ja päikeseelemendi töötamise põhimõte - päikeseelement on pooljuht p-n siirde fotodiod, mis on võimeline valguse neeldumisel andma välja elektrilist võimsust. On mitmeid eritüüpi pooljuhtmaterjale, mida kasutatakse PV-elementide tootmisel. Enamlevinud on monokristalliline, polükristalliline ja amorfne räni (Si) pooljuhtplaadid. PV-elementi peamine tööpõhimõte seisneb nähtusel, mida nimetatakse fotoelektriliseks efektiks. [40]

Saksamaa tootja päikesepaneelide tootja Solar World toode Sunmodule Plus SW 260 poly.



*Joonis 2.13. SolarWorld Sunmodule Plus SW 260 poly [41]*

Maksimaalne võimsus – 260 W

Mõõtmed - 1675 x 1001 x33 mm

Kaal – 18,0 kg

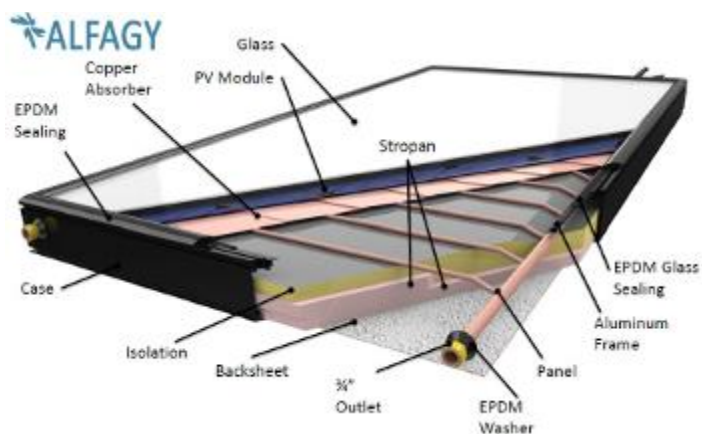
Kasutegur – 15,51%

Garantii – 86,85% algvõimusest peale 30 aastat.

### SOLAR CHP

Fotoelektrilised päikesepaneelid on pooljuhid ja töötamiseks vajavad päikeseenergiat aga tootlikkus väheneb tema soojenemisel. Standardsed fotoelektrilised päikesepaneelid suudavad muuta 10 – 15% päikese kiirgusest elektriks ja ülejäänud on jääsoojus. [42]

SOLAR CHP toodab elektrit ja kasutatavat soojusenergiat samas paneelis. Fotoelektrilise päiksepaneelil tekkiv soojus juhitakse paneelilt ära sooja tootmiseks. See läbi tõstetakse paneeli kasutegurit kuna soe vesi juhitakse kohapeale tarbimiseks. [42]



**Joonis 2.14. Alfagy Solar CHP** [42]

Solar CHP põhiliseks puudusteks on tema mittejuhitavus ja Eesti kliimasse sobivus. Kõrge energiatarvidusega ajal on tema elektri- ja soojatootlikkus madal.

### **3. Mikrotootmise stsenaariumid kolme eramu näitel**

Tulenevalt elektrivõrgu globaalsusest on soojuse ja elektrienergia koostootmisjõujaama töö kõrge efektiivsuse saavutamiseks otstarbekas järgida seadmete dimensioneerimisel alljärgnevat põhimõtteid. [29]

Projekteerida jaam soojusvõimsusele, mis vastab tarbija baassoojuskoormusele. Sellisel juhul tagatakse jõujaama võimalikult suur aastane kasutusaeg. Tarbija baaskoormust ületav soojustarve kaetakse kas tipuseadmetega või ostetakse suurtootjatelt. Juhul, kui jõujaama käitaja elektrienergia omatarve osutub seejuures väiksemaks kui jaama tootlikkus, on võimalik toodetud ülejääk müüa võrku teistele tarbijatele. [29]

Eestis rajatavate uuseramute puhul valitakse põhiküte vastavalt oma investeerimise võimekusele. Levinud on suurema alginvesteeringuga soojuspumba või väiksema alginvesteeringuga pelletiküttel põhinevad süsteemide paigaldamine. Olemasoleva magistraalgaasitrassi olemasolul gaasikütte valimine.

Käesolevas töös on valitud eramud selliselt, et on võimalik hinnata laiemalt eramu elektrienergia tootmise võimalusi ka teistes sarnaste põhiparameetritega eramutes.

Töö käigus on läbiviidud analüüs kahe olemasoleva C energiaklassiga eramu ja ühe 2017 aastal projekteeritud B energiaklassiga eramu võimalusi elektrienergia tootmiseks.

Võrdluses on kahe erineva lokaalse soojusenergia tootmise tehnoloogiaga olemasolevat eramut – ühes pelletit kütusena kasutatav ja teiseks õhk-vesi soojuspumpa kasutatav. Kolmas projekteeritav parema energiaklassiga eramu on valitud näitamaks energiatõhususe mõju eramu energiatarbe bilansile.

Uuringu fookuses on eramu välise elektrienergia tarnimise vähendamine kasutades mikrokoostootmisseadmeid. Eesmärk on maksimaalselt kasutada toodetavat elektrienergiat omatarbe katmiseks ja ülejääk müüa elektrivõrku. Lisaks on hinnatud päikesepaneelide integreerimist olemasolevatesse eramutesse ja projekteeritud eramusse:

Stsenaarium 1 kohaselt on tegemist soojusjuhitava soojuse- ja elektrienergia koostootmisega. Eesmärk on tekkivast jääsoojusest elektrienergiat toota ja hinnata tehnilisi võimalusi ja tehtava investeeringu tasuvust.

Stsenaarium 2 ja 3 on autor arvestanud sellega, et eramu põhikütte allikas on valitud ja uurib päikeselektrijaama lisamise otstarbekust eramutesse.

### 3.1. Eramute põhiparameetrid

Valikus on 3 erineval ajal valminud eramut (Eramu 1, Eramu 2, Eramu 3). Tabelis 3.1. on toodud hoonete põhiparameetrite koond.

**Tabel 3.1 Eramute põhiparameetrid**

Parameetrid	Eramu 1	Eramu 2	Eramu 3
Ehitusaasta	2012	2006	2017 (Projekteeritud uusehitis)
Maja kandekonstruktsioon	Poorbetoon plokk Aeroc Ecoterm 375	Poorbetoon plokk Aeroc Ecoterm 375 + 50mm soojusisolatsioon	Poorbetoon plokk Aeroc Ecoterm 500
Korruselisus	2	2	1
Elanike arv	4	4	4
Kõetavat pinda [m <sup>2</sup> ]	173	180	148
Küttesüsteem	Pelletikatel Pelle Pelltech PV20	Soojuspump (Õhk-Vesi) Toshiba Stinger 8000	Soojuspump (õhk-vesi) Daikin Altherma ERLQ008CAV3
COP (Coefficient of Performancy)	-	3,3	3,21
Küttseadme võimsus [kW]	25	8	7
Energiakandja	pellet	elekter	elekter
Küte	põrandaküte	põrandaküte	põrandaküte
Ventilatsioon	Sundventilatsioon	Sundventilatsioon	Sundventilatsioon soojustagastusega
Energiatõhususarv [kWh/m <sup>2</sup> ]	150	150	119
Energiaarvutusel põhinev energiamärgis	C	C	B

Määravaks valiku tegemisel sai hoonete sarnane ehituslik konstruktsioon ja Eestis laialt levinud põhikütted – pelletiküte ja õhk-vesi soojuspumbal baseeruvad süsteemid. Eesmärgiks on hinnata eramutele mikrotootmiseadmete lisamise otstarbekust.

#### Meteoroloogiliste andmete seos elektrienergia tarbimisega

Vaadeldava perioodi meteoroloogiliste andmete puhul on kasutatud Keskkonnaagentuuri poolt edastatud igatunniseid õhutemperatuure Tallinn-Harku aeroloogiajaama andmeid,

mille kohaselt olid aasta keskmised õhutemperatuurid järgmised – 2013.a – 6,7 °C, 2014.a – 6,8 °C, 2015.a. – 7,5 °C, 2016 – 6,6 °C. [43]

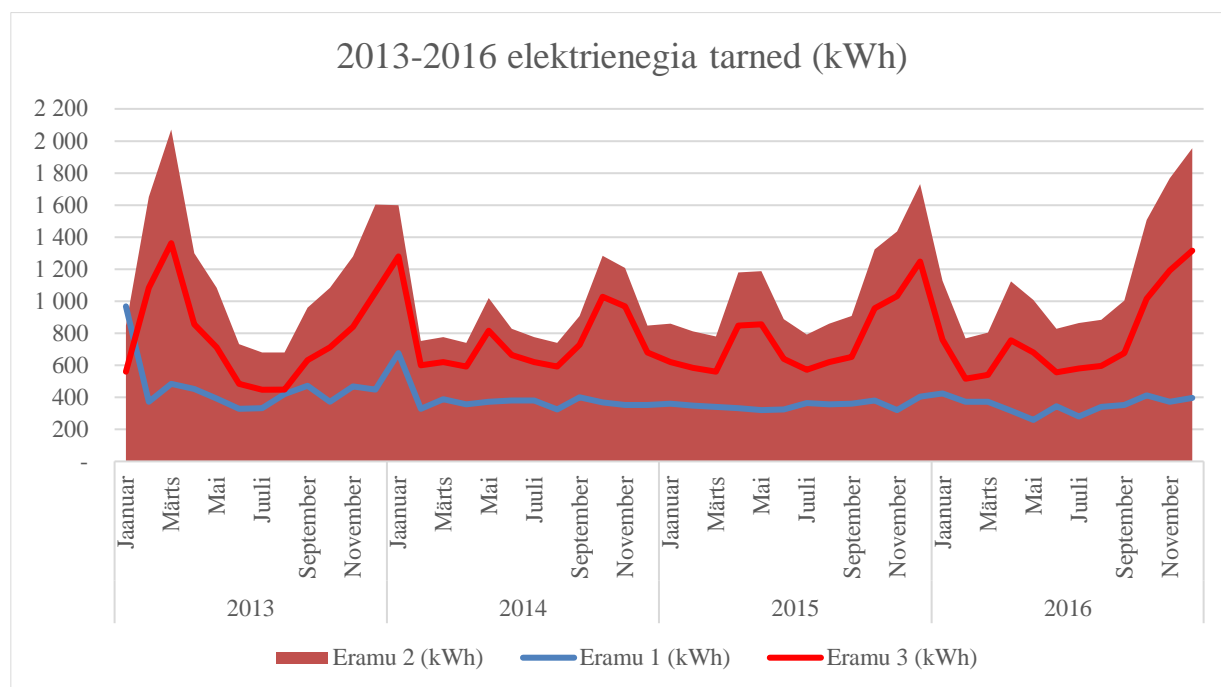
### 3.2. Elektrienergia tarne ja lokaalne soojusenergia tootmine

Käesolevas osas leitakse eramute tarnitud elektri- ja toodetud soojusenergia kogused.

#### Elektrienergia

Eramu 1 ja Eramu 2 tarnitud elektrienergia koguste saamiseks on kasutatud Eleringi AS Andmelao tunnipõhiseid ajaloolisi andmeid ja summeeritud kuupõhisteks tarbimiseks. Vaadeldud periood on 2013, 2014, 2015 ja 2016 aasta.

Eramu 3 – ehitatava hoone puhul on võetud aluseks Eramu 1 nelja-aastase tarbimise keskmine väärtus (4662 kWh) ja liidetud Daikin Altherma Selection Project Report andmed, mille andmetel on põhikütteks ja tarbevee tootmiseks vajalik elektrienergia tarbimise prognoos 4525 kWh.



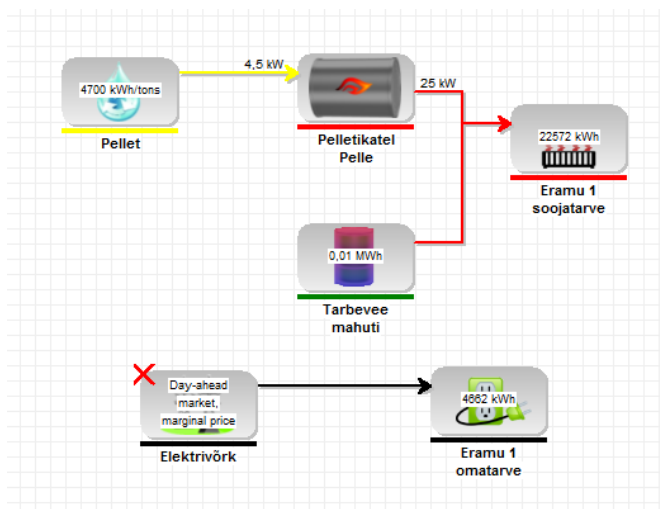
**Joonis 3.1. Eramu 1;2 tarnitud elektrienergia perioodil 2013 – 2016. Eramu 3 Energiaarvutusel modelleeritud elektrienergia tarve samale perioodile**

**Tabel 3.2. Eramu 1;2 tarnitud elektrienergia perioodil 2013 – 2016. Eramu 3 energiaarvutusel modelleeritud elektrienergia tarve samale perioodile**

Tarnitud elektrienergia perioodil 2013-2016.a.				
Aasta	Kuu	Eramu 1 (kWh)	Eramu 2 (kWh)	Eramu 3 (kWh)
2013	Jaauar	968	849	558
	Veebruar	372	1 650	1 085
	Märts	484	2 071	1 362
	Aprill	454	1 300	855
	Mai	391	1 083	713
	Juuni	328	733	482
	Juuli	333	680	447
	August	419	681	448
	September	471	958	630
	Oktoober	371	1 082	712
	November	469	1 279	841
	Detsember	446	1 602	1 053
2014	Jaauar	677	1 597	1 279
	Veebruar	330	750	601
	Märts	388	776	622
	Aprill	357	739	592
	Mai	374	1 019	816
	Juuni	380	829	664
	Juuli	382	774	620
	August	324	738	591
	September	401	907	727
	Oktoober	368	1 283	1 028
	November	354	1 209	968
	Detsember	351	848	679
2015	Jaauar	362	861	620
	Veebruar	349	813	585
	Märts	340	780	562
	Aprill	332	1 179	849
	Mai	320	1 189	856
	Juuni	324	887	639
	Juuli	363	793	571
	August	358	859	619
	September	361	908	654
	Oktoober	381	1 325	954
	November	322	1 434	1 033
	Detsember	406	1 729	1 245
2016	Jaauar	422	1 129	760
	Veebruar	372	768	517
	Märts	374	803	541
	Aprill	316	1 124	757
	Mai	259	1 009	680
	Juuni	344	828	558
	Juuli	279	864	582
	August	342	885	596
	September	353	1 005	677
	Oktoober	411	1 508	1 015
	November	374	1 766	1 189
	Detsember	395	1 954	1 316

### Soojusenergia tootmine

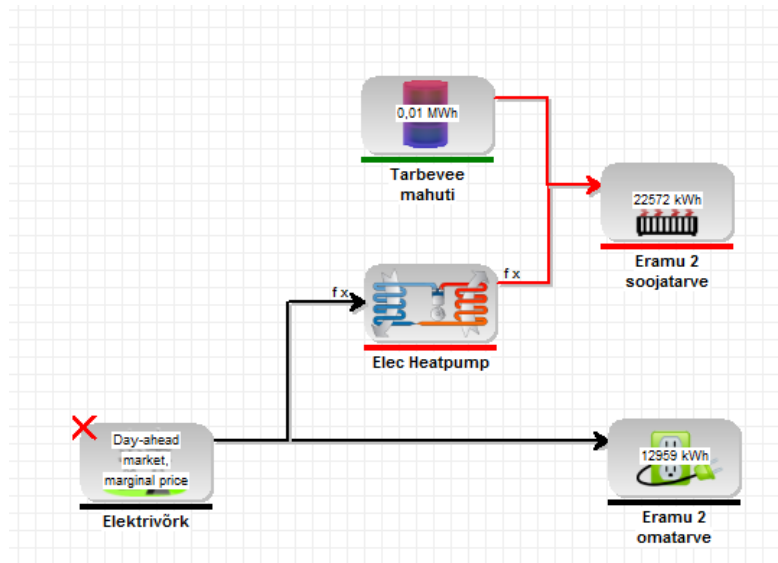
Eramu 1 on soojatootmiseks kasutatud puidupelletteid – keskmiselt 5280 kg/aastas. Puidupelleti kütteväärtus 4,75 – 5,00 kWh/kg. Teoreetiline toodetava soojuste hulk aastas 25 080 kWh. Arvestades katla kasuteguriga ca 90% saab arvutuslikult toodetava soojuste hulgaks 22 572 kWh.



*Joonis 3.2 Eramu 1 soojusenergia tootmise tehnoloogiline skeem koostatud EnergyPro programmiga*

Eramu 2 puhul tuleb arvestada, et majapidamiseks ja soojuste tootmiseks kasutatakse elektrienergiat. Nelja aasta keskmine tarnitud elektrienergia kogus on 12 959 kWh. Arvestades Eramu 1 elektrienergia nelja aasta keskmise elektrienergia kuluks 4662 kWh saame tinglikult arvutuslikult leida, et soojavajaduse tarbeks on kasutatud tarnitud elektrienergiast 8297 kWh elektrienergiat. Arvestades õhk-vesi soojuspumba COP väärtust 3,3 on kohapeal toodetud soojusenergia hulk 27 380 kWh, mis on ligilähedane energiaarvutusel põhineva arvutuse aastase arvutusliku energiavajadusega 27 000 kWh.





**Joonis 3.3 Eramu 1 ja Eramu 2 soojusenergia tootmise tehnoloogiline skeem**

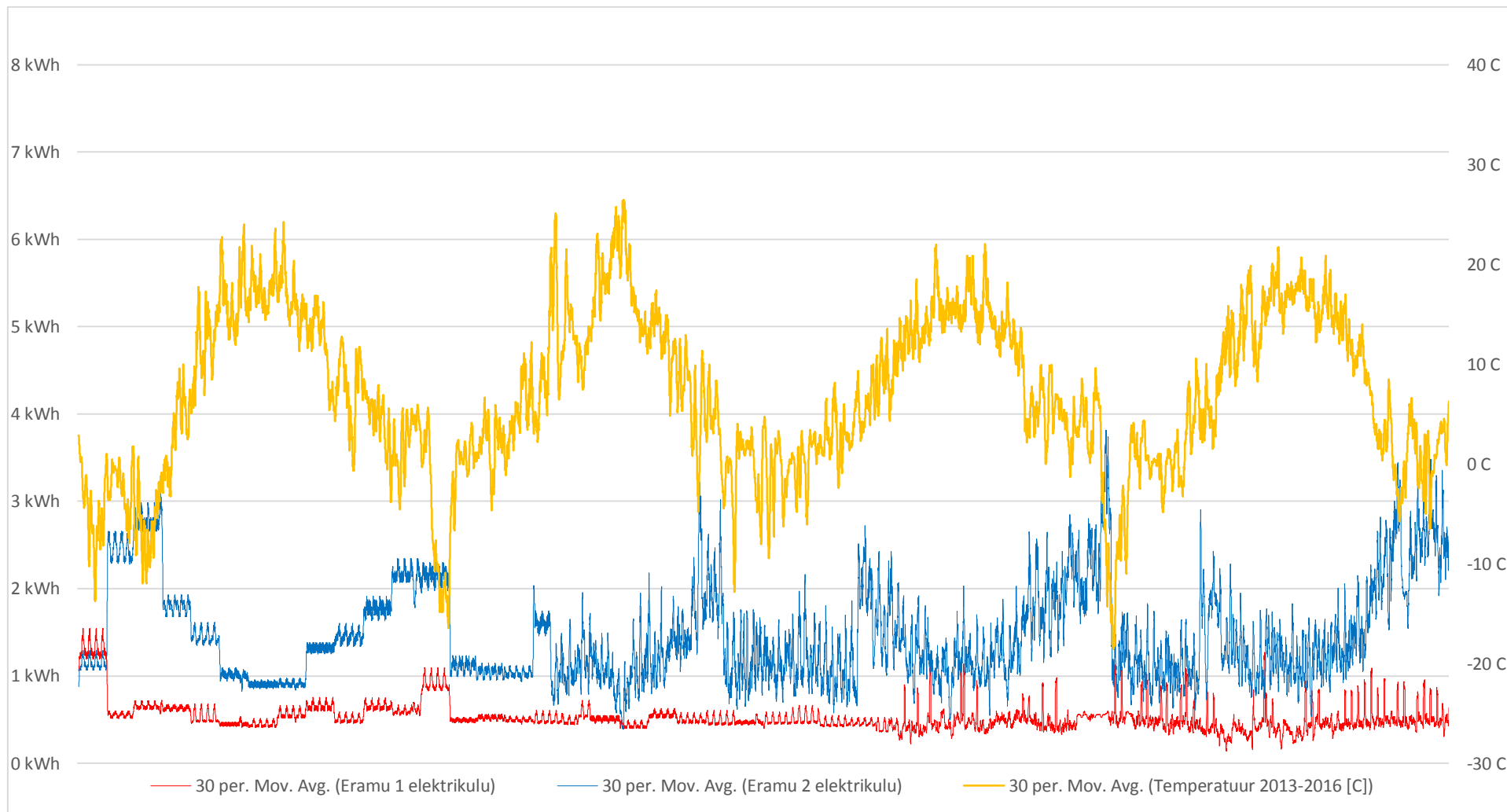
Eramu 3 puhul saab toetuda Energiaarvutusel põhineva energiamärgise arvutusel, mille kohaselt on arvutuslik tarnitud elektrienergia kogus 8863 kWh. Hoonele on tehtud õhk-vesi soojuspumba tarnija Maaküte OÜ poolt Daikin Altherma 8,0 kW Project raporti objektipõhine soojuspumba arvutus, mille kohaselt tarbib soojuspump soojuse tootmiseks 4525 kWh elektrienergiat.

Arvestades Eramu 1 poolt tarbitud nelja aasta keskmist elektrienergia tarnet saab tinglikult arvutada summaarse elektrienergia vajaduse  $4525 + 4662 = 9187$  kWh elektrienergiat. Nimetatud Daikini arvutuse tulemusel on leitud, et soojuspump toodab aastast küttesoojust 14 532 kWh ja tarbevee soojendamiseks 2037 kWh soojusenergiat. Summaarne toodetud soojusenergia hulk on 16 569 kWh.

**Tabel 3.3. Eramute energiakulu koondtabel**

	Eramu 1 (Pellet)	Eramu 2 (Soojuspump)	Eramu 3 (Soojuspump)
Energiaarvutusel põhinev energiamärgis	C	C	B
Aastane arvutuslik tarnitud soojusenergia [kWh/a]	25 950	27 000	17 612
Ruumide küte	13 445	-	14 532
Tarbevee soojendamine [kWh/a]	3190	-	2037
Elektrienergia 2013.aasta [kWh/a]	5507	13 968	-
Elektrienergia 2014.aasta [kWh/a]	4686	11 470	-
Elektrienergia 2015.aasta [kWh/a]	4217	12 757	-
Elektrienergia 2016.aasta [kWh/a]	4239	13 642	-
Elektrienergia 4.aasta keskmine [kWh/a]	4662	12 959	9187

Joonisel 3.4. on toodud koostatud igatunniste temperatuuride graafik, millele on lisatud Eramu 1 ja Eramu 2 elektrienergia tarbimise tunnipõhised väärtused. Antud jooniselt saab järeldada, et Eramu 1 elektrienergia tarbimine on aastaläbi tinglikult konstantne kuna põhiküttena kasutatakse pelletikütet. Eramu 2 elektrienergia tarbimine on seoses välisõhutemperatuuri kõikumisega kütteperioodil – külmem ilm tingib suurema elektrienergia tarbimise ja vastupidi.



**Joonis 3.4. Välisõhu temperatuuri ja selle seos elektrienergia tarbimisele Eramu 1 ja Eramu 2 näitel (periood 2013-2016.a)**

### **3.3. Tehnoloogia valik ja nende kombinatsioonide võrdlemine**

Sobiva tehnoloogia valik sõltub investeerimisvõimekusest ja kasutusmugavusest. Teises peatükis on toodud erinevad tehnoloogiad mikrokoostootmise võimekuse loomiseks eramute näitel. Tehnoloogia valikul arvestatakse, et seadme valik katab soojuskoormuse ja vaadeldakse elektrienergia tootmise potentsiaali aastase perioodi jooksul.

Eestis saadolevate kütustena saab kasutada: biomassi, maagaasi, vedelgaasi (LPG) ja päikeseenergiat. Elektritootmiseks jääksoojusest on valdav lahendus Stirling mootori baasil koostatud süsteemid. Gaasi olemasolul - Stirling mootori ja kütuselemendi mikrokoostootmiseseadmed. Turule toodud Solar CHP puhul on küsitav selle otstarbekus kuna jääksoojus genereeritakse kütteperioodi välisel ajal ja soojusenergia vajadus on madal.

Vaatamata valitud tehnoloogiale on elektrienergia tootmiseks kasutatavate seadmete eluiga 30 000 - 50 000 h vahel. Kasutusel olevate tehnoloogiate mikrokoostootmise tasandil on maksimaalselt 6-7 aastat vana ja puudub pikaajaline kogemus seadmete töökindluse ja genereeritud elektrienergia osas. Arvesse võttes Eesti kliimat saab väita, et kütteperiood on ca 5000 h ja sellest johtuvalt on seadmete kasutustsükkel ca 10.aastat.

Magistritöös on jäetud võrdlusest välja gaasil põhinevate koostootmisjaamade tehnoloogia analüüs. Põhjuseks on see, et valikuuringusse valitud hoonetel puudub magistraalgaasi tarnimise võimalus. Lisaks on välja jäetud Solar CHP kuna tehnoloogia on uus ja puuduvad andmed selle süsteemi töökindluse osas.

Biomassil töötava mikrokoostootmisjaama ja Solar CHP kombineerimist tasub uurida eraldi. Päevasel ajalt toodetakse päikeseenergia abil elektrit ja sooja ja öisel ajal kasutatakse biomassil töötavat jaama. Antud hetkel uuritakse magistritöös päikesepaneelide sobivust süsteemi täitmaks netoliginullenergiahoone kriteeriumeid.

Tehnoloogia valimiseks on koostatud kolm erinevat stsenaariumit ja hinnatud elektrienergia tootmise potentsiaali valitud seadmete kasutamisel. Tabelis toodud elektriline võimsus. (tabel 3.4.).

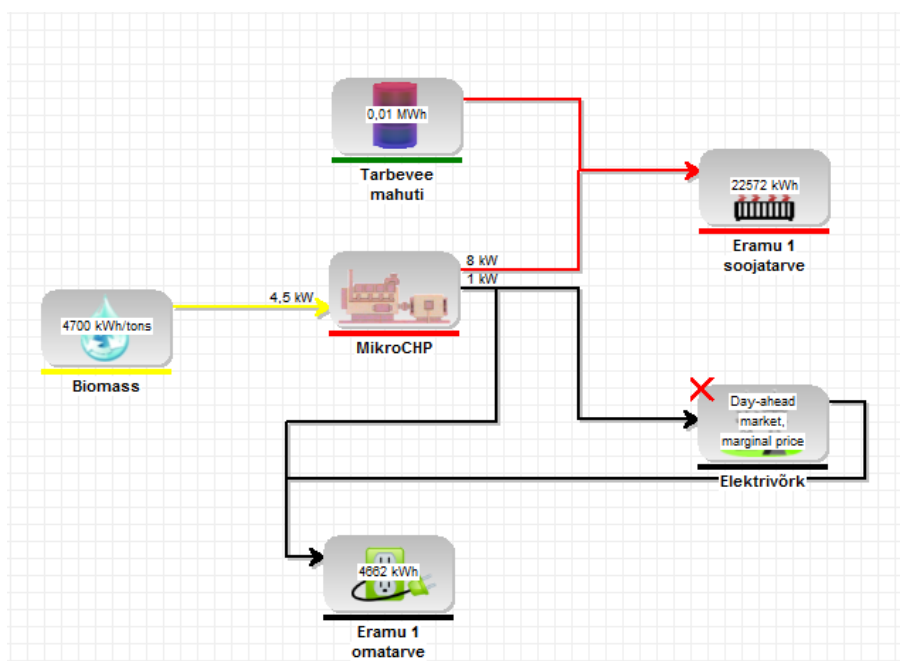
**Tabel 3.4. Stsenaariumid**

	Eramu 1	Eramu 2	Eramu 3
Stsenaarium 0	Pelletikatel	Soojuspump	Soojuspump
Stsenaarium 1	1 kW mikrokoostootmiseseade pelletikütteil	1 kW Mikrokoostootmiseseade pelletikütteil	1 kW Mikrokoostootmiseseade pelletikütteil
Stsenaarium 2	4 kW päikeseelektrijaam	4 kW päikeseelektrijaam	4 kW päikeseelektrijaam
Stsenaarium 3	10 kW päikeseelektrijaam	10 kW päikeseelektrijaam	10 kW päikeseelektrijaam

### 3.4. Stsenaarium 1 – Pelletikütteil mikrokoostootmiseseade

Antud stsenaariumi kohaselt paigaldatakse kolme eramusse pelletil töötav mikrokoostootmiseseade. Elektrienergia genereeritakse 1,0 kW Stirling mootoril baseeruva lahendusega.

Antud tingimusliku lihtsustatud simulatsiooni eesmärgiks on hinnata võimalikku jääksoojusest toodetava elektrienergia hulka.



**Joonis 3.4. Pelletikütteil mikrokoostootmine tehnoloogiline skeem**

Valikuuringusse valitud Eramu 1 ja Eramu 2 soojusenergia toodangu hulka ei ole eraldi mõõdetud. Tingimuslikult arvestatakse, et koostootmine toimub kütteperioodil ja tarbevee soojendamisel kütteperioodi välisel ajal jääksoojusest toodetava elektrienergia hulk on marginaalne.

Kütteperioodi pikkuse määramiseks on tinglikult aluseks võetud kaks kriteeriumit:

1. Kütteperioodi algus 15.september ja kütteperioodi lõpp 15.mai. Kütteperioodi pikkus 242 päeva
2. Eramu 2 (soojuspump) elektrienergia tarbimise kasv on indikatsiooniks kütteperioodi algusest ja langemine selle lõppemisest

Arvestades kütteperioodi pikkus saame leida, et kütteperioodi pikkus on 5808 h.

Stirling mootoriga varustatud mikrokoostootmiseadmete karakteristikute järgi on elektriline kasutegur 10 – 35% ja soojuslik 60 – 90%. [44]

Mikrokoostootmisseadmete toodavad soojusenergiat ja vähesel määral elektrienergiat - kodumajapidamistes kasutatavate seadmete soojusenergia ja elektrienergia suhe on 6 : 1. [45]

Seadmete tootjate poolt antavates andmetes on toodud maksimaalne elektriline võimsus. Keeruline on hinnata aastast soojusenergia toodangut ilma reaalseid katseid läbi viimata. Tingituna sellest arvutatakse võimalik aastane soojus- ja elektrienergia toodang kaudselt.

All toodud tabelis on aluseks täna pelletikütteil töötava Eramu 1 2016.aasta elektrivõrgust ostetud elektrienergia ja kasutatud andmeid Eramu 2 ja Eramu 3 simulatsiooniks.

Näidatakse ära eramute energiamärgise järgne lokaalselt toodetud arvutuslik soojusenergia hulk, arvutuslik elektrienergia toodang ja võrgust ostetava/müüdava elektrienergia kogus.

**Tabel 3.5. Eramu 1;2;3 elektrienergia toodangu potentsiaal pelletil töötava mikrokoostootmisseadme kasutamisel.**

Mikrokoostootmiseade (pellet)				
Eramu	Majapidamiste elektrienergia tarne võrgust (kWh)	Arvestuslik soojusenergia hulk (kWh x a)	Elektrienergia toodang (kWh x a)	Võrgust ostetav elektrienergia (kWh x a)
Eramu 1	4 239	25 950	4 325	86
Eramu 2	4 239	27 000	4 500	261
Eramu 3	4 239	17 612	2 935	1 304

Aastast perioodi analüüsid on Eramu 1 ja Eramu 2 vajamineva neto elektrienergia kogus kaetud kohapeal toodetava elektrienergiaga. Eramu 3 puhul on vajalik elektrivõrgust elektrienergiat juurde osta tingituna väiksemast soojusenergia tarbest ja elektrienergia

vajadusest. Andmed on arvutuslikud ja mikrokoostootmise käigus toodetud reaalne elektrienergiatoodang on hinnanguline.

### **3.5. Stsenaarium 2 – Päikeeselektrijaama lisamine eramutele (4 kW)**

Antud lähenduses nähakse ette 4 kW päikeelektrijaama paigaldamist olemasolevale kolmele eramule. On hinnatud päikeeselektrijaama tootlikkust ja mõju eramute elektrienergia bilansile. Stsenaarium 3 puhul paigaldatakse 10 kW päikeeselektrijaam.

Päikeelektrijaama elektrienergia toodangu arvutused on teostatud European Commission Joint Research Centre Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) abil. [46]

#### **Algandmed:**

##### **Eramu 1**

Paigalduskoht: katus

Katuse kalle- 30 kraadi

Päikesepaneelide orienteeritus – ida suunas

Süsteemi kaod – 14%

##### **Eramu 2**

Paigalduskoht: katus

Katuse kalle- 35 kraadi

Päikesepaneelide orienteeritus – lõuna suunas

Süsteemi kaod – 14%

##### **Eramu 3**

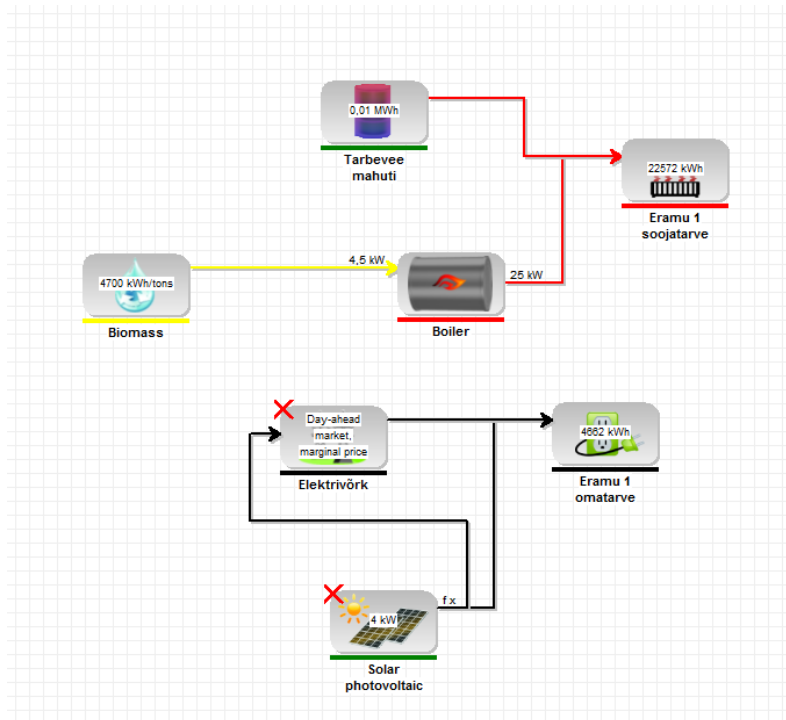
Paigalduskoht: katus

Katuse kalle- 40 kraadi

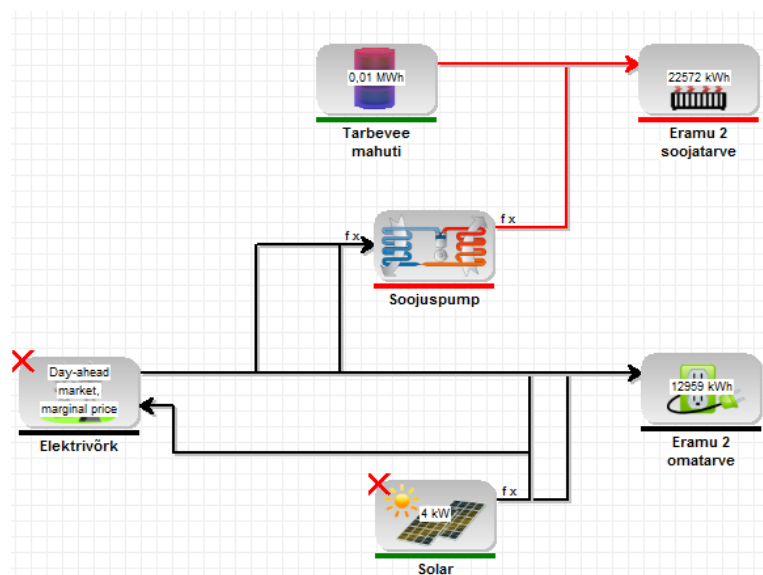
Päikesepaneelide orienteeritus – lõuna suunas

Süsteemi kaod – 14%

Eramute tehnoloogilised skeemid on koostatud kolme eramu soojuse- ja elektrienergia tootmise selgitamiseks (joonis 3.5. ja joonis 3.6.).



Joonis 3.5. Pelletiküttele mikrotootmine Eramu 1 tehnoloogiline skeem

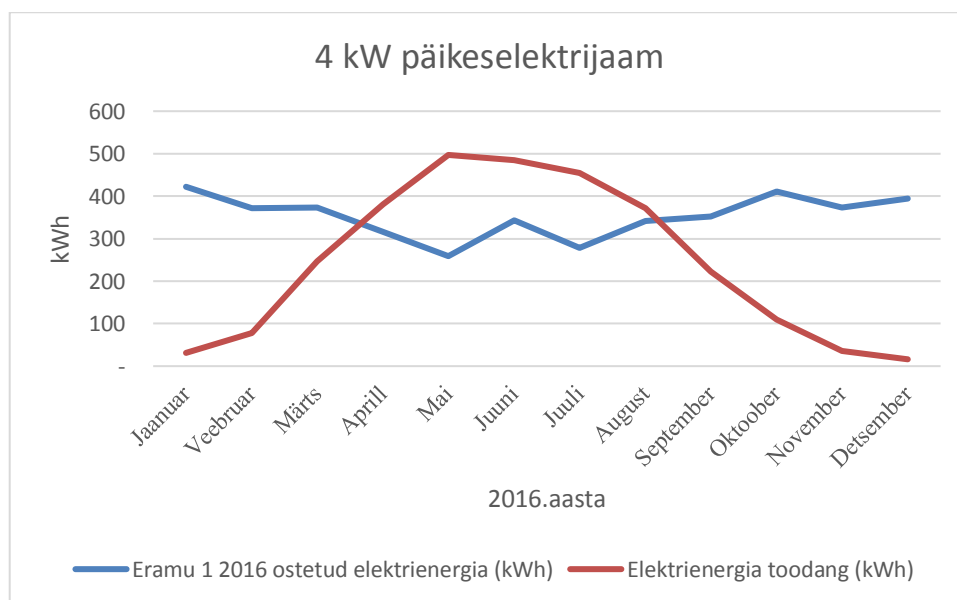


Joonis 3.6. Soojuspumbaga mikrotootmine Eramu 2 ja Eramu 3 tehnoloogiline skeem



**Tabel 3.6 Eramu 1 – pelletiküttega eramu 4 kW päikeselektrijaamaga**

<b>Eramu 1</b>			
Periood	2016 ostetud elektrienergia (kWh)	Elektrienergia toodang (kWh)	Bilanss
Jaanuar	422	32	- 390
Veebruar	372	78	- 294
Märts	374	246	- 128
Aprill	316	381	65
Mai	259	497	238
Juuni	344	484	140
Juuli	279	454	175
August	342	371	29
September	353	222	- 131
Oktoober	411	110	- 301
November	374	36	- 338
Detsember	395	16	- 378
<b>Kokku</b>	4 239	2 927	- 1 312

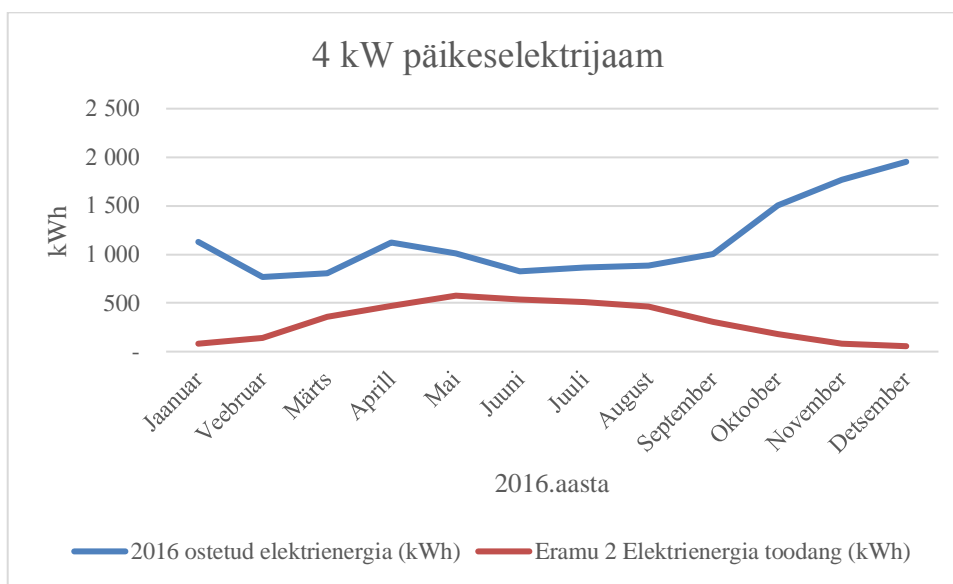


**Joonis 3.7. Päikeselektrijaama tootlikkus ja elektrivõrgust ostetud elektrienergia**

Antud konfiguratsioonis vähendab mikrotootmine võrgust ostetava elektrienergia aastast kogust 2 927 kWh.

**Tabel 3.7 Eramu 2 – soojuspumbaga eramu 4 kW päikeselektrijaamaga**

Eramu 2			
Periood	2016 ostetud elektrienergia (kWh)	Elektrienergia toodang (kWh)	Bilanss
Jaanuar	1 129	82	- 1 046
Veebruar	768	138	- 630
Märts	803	359	- 444
Aprill	1 124	471	- 653
Mai	1 009	576	- 433
Juuni	828	537	- 291
Juuli	864	512	- 352
August	885	462	- 423
September	1 005	306	- 699
Oktoober	1 508	178	- 1 330
November	1 766	79	- 1 687
Detsember	1 954	56	- 1 898
<b>Kokku</b>	<b>13 642</b>	<b>3 757</b>	<b>- 9 886</b>

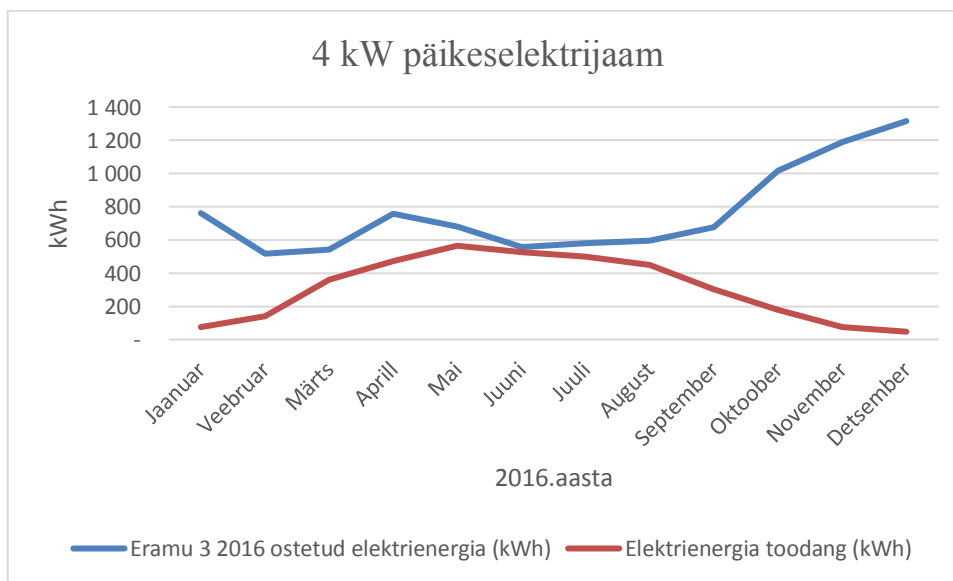


**Joonis 3.8. Päikeselektrijaama tootlikkus ja elektrivõrgust ostetud elektrienergia**

Antud konfiguratsioonis vähendab mikrotootmine võrgust ostetava elektrienergia aastast kogust 3757 kWh võrra.

**Tabel 3.8. Eramu 3 – soojuspumbaga eramu 4 kW päikeselektrijaamaga**

Eramu 3						
Periood	2016 ostetud elektrienergia (kWh)		Elektrienergia toodang (kWh)		Bilanss	
Jaanuar		760		77	-	683
Veebruar		517		142	-	375
Märts		541		362	-	179
Aprill		757		474	-	283
Mai		680		565	-	115
Juuni		558		525	-	33
Juuli		582		498	-	84
August		596		449	-	147
September		677		302	-	375
Oktoober		1 015		178	-	837
November		1 189		75	-	1 114
Detsember		1 316		48	-	1 268
<b>Kokku</b>		<b>9 187</b>		<b>3 694</b>	-	<b>5 493</b>



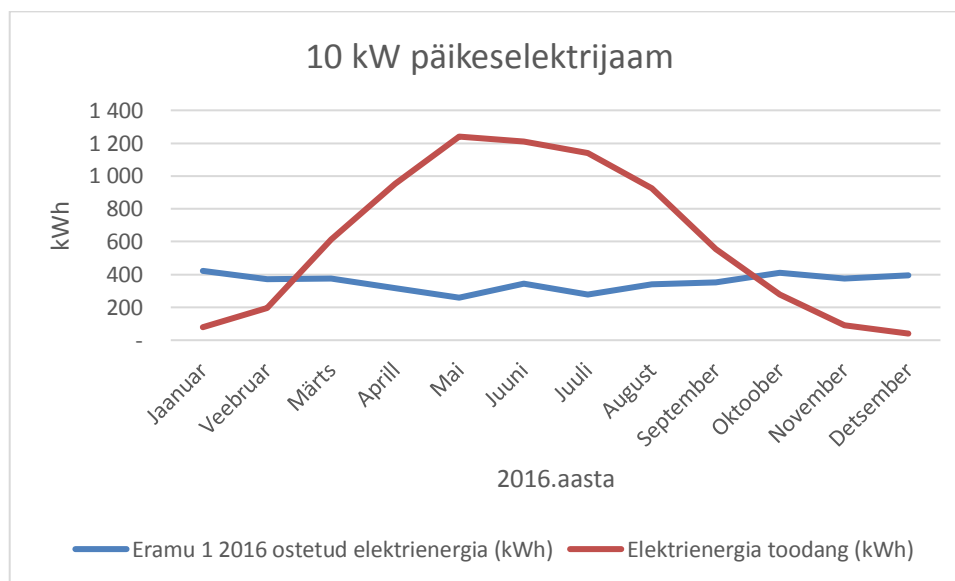
**Joonis 3.9. Päikeselektrijaama tootlikkus ja elektrivõrgust ostetud elektrienergia**

Antud konfiguratsioonis vähendab mikrotootmine võrgust ostetava elektrienergia aastast kogust 3694 kWh võrra.

### 3.6. Stsenaarium 3 – Päikeseelektrijaama lisamine eramutele (10 kW)

Tabel 3.9. Eramu 1 – pelletiküttega eramu 10 kW päikeseelektrijaamaga

Eramu 1			
Periood	2016 ostetud elektrienergia (kWh)	Elektrienergia toodang (kWh)	Bilanss
Jaanuar	422	80	343
Veebruar	372	195	177
Märts	374	614	240
Aprill	316	953	637
Mai	259	1 240	981
Juuni	344	1 210	866
Juuli	279	1 140	861
August	342	927	585
September	353	555	202
Oktoober	411	276	135
November	374	90	284
Detsember	395	40	354
<b>Kokku</b>	<b>4 239</b>	<b>7 319</b>	<b>3 080</b>

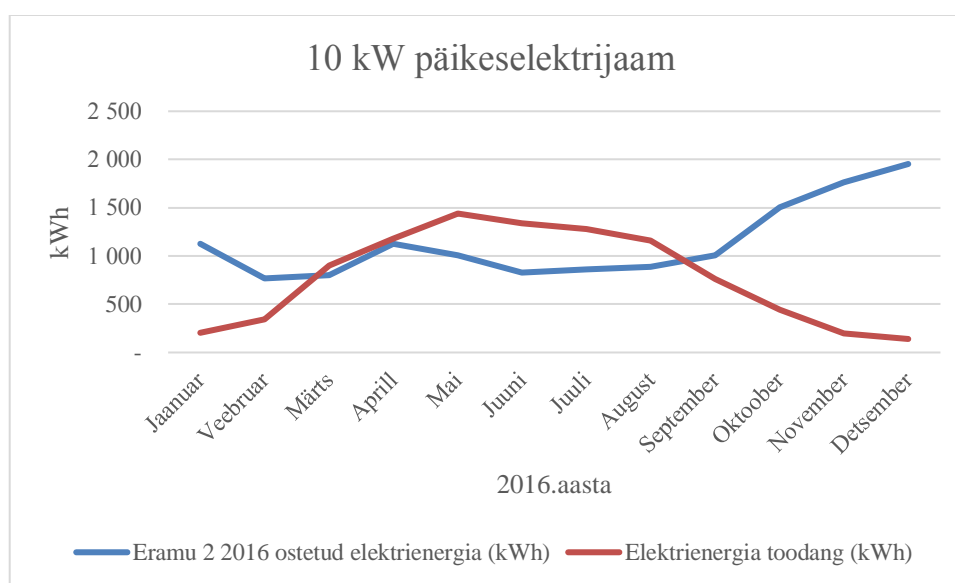


Joonis 3.10. Päikeseelektrijaama tootlikkus ja elektrivõrgust ostetud elektrienergia

Antud konfiguratsioonis on eramu aastane elektrikulu omatarve kaetud ja võrku müüakse aastas 3080 kWh elektrienergiat.

**Tabel 3.10 Eramu 2 – soojuspumbaga eramu 10 kW päikeseelektrijaamaga**

Eramu 2			
Periood	2016 ostetud elektrienergia (kWh)	Elektrienergia toodang (kWh)	Bilanss
Jaanuar	1 129	206	- 923
Veebruar	768	345	- 423
Märts	803	898	95
Aprill	1 124	1 180	56
Mai	1 009	1 440	431
Juuni	828	1 340	512
Juuli	864	1 280	416
August	885	1 160	275
September	1 005	765	- 240
Oktoober	1 508	445	- 1 063
November	1 766	198	- 1 568
Detsember	1 954	140	- 1 814
<b>Kokku</b>	13 642	9 397	- 4 245

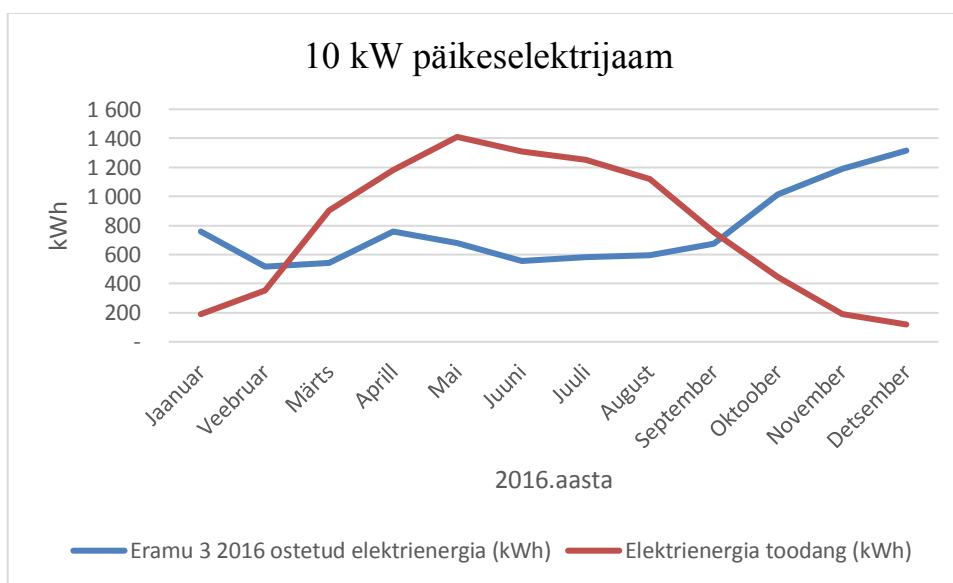


**Joonis 3.11. Päikeseelektrijaama tootlikkus ja elektrivõrgust ostetud elektrienergia**

Antud konfiguratsioonis vähendab mikrotootmine võrgust ostetava elektrienergia aastast kogust 9397 kWh võrra.

**Tabel 3.11. Eramu 3 – soojuspumbaga eramu 10 kW päikeselektrijaamaga**

Eramu 3			
Periood	2016 ostetud elektrienergia (kWh)	Elektrienergia toodang (kWh)	Bilanss
Jaanuar	760	192	- 568
Veebruar	517	355	- 162
Märts	541	906	365
Aprill	757	1 180	423
Mai	680	1 410	730
Juuni	558	1 310	752
Juuli	582	1 250	668
August	596	1 120	524
September	677	756	79
Oktoober	1 015	444	- 571
November	1 189	188	- 1 001
Detsember	1 316	119	- 1 197
<b>Kokku</b>	9 187	9 230	43



**Joonis 3.12. Päikeselektrijaama tootlikkus ja elektrivõrgust ostetud elektrienergia**

Antud konfiguratsioonis vähendab mikrotootmine võrgust ostetava elektrienergia aastast kogust 9230 kWh võrra. Tulemuseks on netonullenergiaaja kriteeriumi täitmine.

## 4. Mikrotootmisseadmete majanduslik analüüs

### 4.1. Mikrotootmisjaamade kapitalikulud

Mikrotootmiseadmete hinnapakumised on saadud Onninen AS-i- W.EG. Eesti OÜ ja Seebeck OÜ-lt.

*Tabel 4.1. Erinevate mikrotootmislahenduste kapitalikulud.*

Nr	Kulu	Energiakandja/ Tehnoloogia	Elektriline võimsus (kW)	Maksumus (€)	Paigaldus (€)	Kokku (€)
1	Viessmann Vitotwin 300 W	Maagaas,LPG Stirling mootor	0,6 - 1,0	20 296	1 500	<b>21 796</b>
2	Viessmann Vitotwin 350 W	Maagaas,LPG Stirling mootor	0,6 - 1,0	21 780	1 500	<b>23 280</b>
3	Viessmann Vitovalor 300 P	Maagaas, LPG kütuseelement	0,6	23 880	1 500	<b>25 380</b>
4	ÖkoFen Pellematic Smart_e 0,6	Pellet Stirling mootor	0,6	18 000	1 500	<b>19 500</b>
6	Päikesepaneelid 4 kW	Päikeseenergia fotoelektriline päikesepaneel	4	4 230	1 000	<b>5 230</b>
7	Päikesepaneelid 10 kW	Päikeseenergia fotoelektriline päikesepaneel	10	8505	1 500	<b>10 005</b>

Kapitalikulud mikrotootmis- ja mikrokoostootmisjaamade on kõrged. Stirling mootorit kasutatavate seadmete elektriline võimsus on madal. Elektritootmisega seotud hoolduskulud on madalad tingituna Stirling mootorite hooldevabast ehitusest. Päikesepaneelid on üldjoontes hooldevabad.

## 4.2. Stsenaariumite nüüdispuhasväärtus

Erinevate stsenaariumite kasumlikkuse leidmiseks on kasutatud puhta nüüdisväärtuse meetodit (NPV).

Meetodi olemuseks on vaadeldava projekti eluea kõigi tulude-kulutuste ajaldamine (taandamine, diskonteerimine, teisendamine) nüüdishetkele (praegusele hetkele). [47]

NPV-d leidmiseks on leitud alltoodud valemi abil. [47]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n (B_t - C_t)(P/F, i, t) = \sum_{t=0}^n F_t(P/F, i, t) = -P + \sum_{t=1}^n F_t(P/F, i, t)$$

kus

$B_t$  ja  $C_t$  – vastavalt kogutulud ja -kulutused aastal  $t$

$n$  – projekti eluiga või hindamisperiood

$i$  – diskontomäär (või intressimäär või nõutav tulunorm)

$P$  - esialgne investeering

Projekt on majanduslikult tasuv, kui  $NPV > 0$  ja projekti diskonteeritud tulevased tulud ületavad esialgse maksumuse. Variantide võrdlemisel loetakse parimaks suurima puhta nüüdisväärtusega variant  $\max NPV_r$ . [47]

Antud arvutuste juures on arvestatud stsenaariumite elueaks 20.aastat, Diskontomääraks 3%. Arvutuste juures on arvestatud eramute kogu energiabilansiga. Soojusenergia tootmiseks vajalike energiakandjate maksumusega on arvestatud. Elektrienergia puhul on kajastatud eramute koguelektrienergia tarbimist 2016.aasta andmete alusel.

**Tabel 4.2. Energiahinnad**

Energiahind	Hind	Ühik
Taastuenergia tasu	0,0537	senti/kWh
Elektrienergia müügihind [48]	0,033	senti/kWh
Elektrienergia ostuhind kõikide tasudega	0,13	senti/kWh
Pelleti graanulid	152	€/t



Stsenaarium 1 puhul on arvestatud uue mikrokoostootmisjaama paigaldusega.

Stsenaariumi 0, stsenaariumi 2 ja stsenaariumi 3 puhul on arvestatud, et soojusenergiat tootev seade on paigaldatud ja selle maksumust nüüdispuhasväärtuse arvutuse juures ei arvestata.

Arvutatud on järgmiste stsenaariumite nüüdispuhasväärtused kolmele eramule:

Stsenaarium 0 - olemasoleva küttesüsteemi NPV

Stsenaarium 1 - pelletil töötava mikrokoostootmisjaama paigaldus

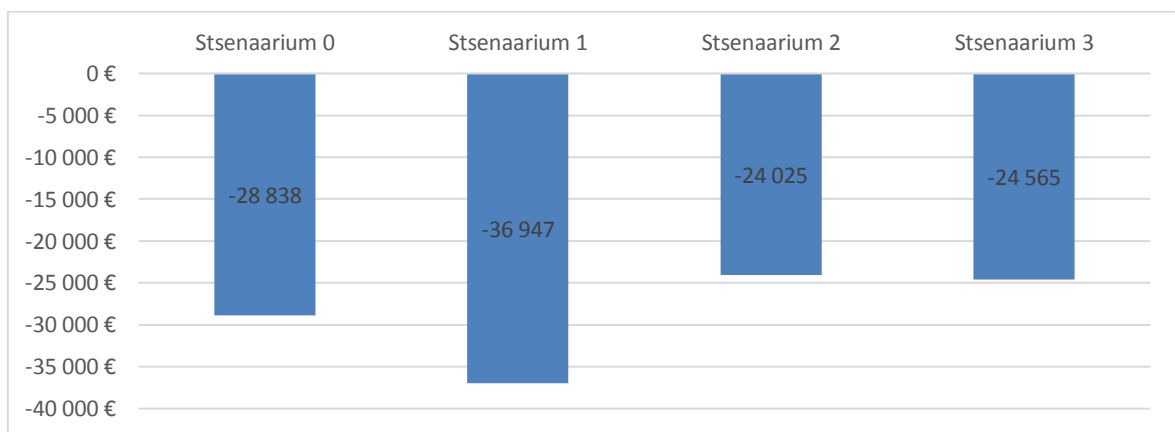
Stsenaarium 2 - olemasolevale küttesüsteemile 4 kW päikeselektrijaama lisamine

Stsenaarium 3 - olemasolevale küttesüsteemile 10 kW päikeselektrijaama lisamine

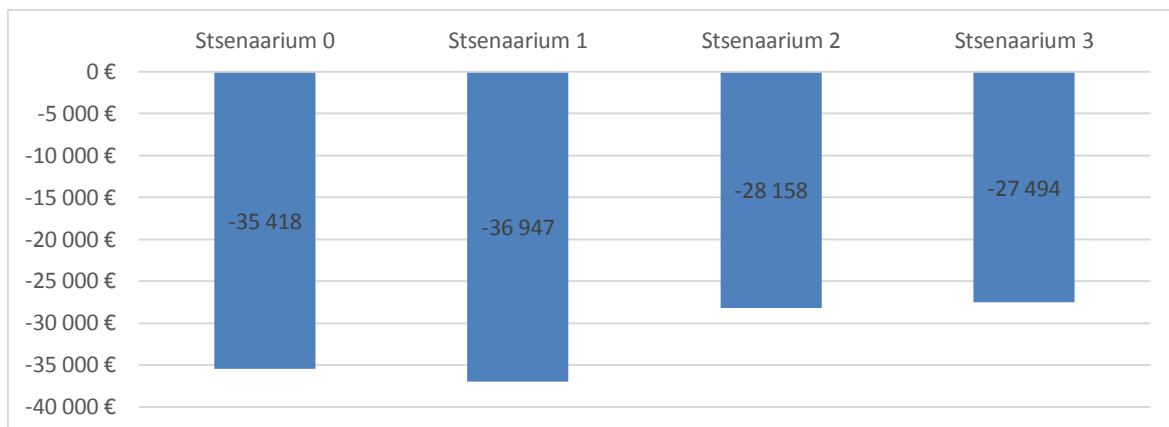
All toodud graafikutel näidatud võrdlus kolme eramu näitel paigaldatava soojus- ja elektrienergia süsteemide stsenaariumite nüüdispuhasväärtused. Võrdluseks toodud eramute seniste küttesüsteemide NPV Stsenaarium 0 näol. Vaadeldud periood on 20.aastat.

Olenemata stsenaariumist on kõikide võrreldud variantide puhul NPV negatiivne.

Nüüdispuhasväärtuse arvutamise meetoodika on toodud Lisas 1.



**Joonis 4.1** Eramu 1 nüüdispuhasväärtused erinevate stsenaariumite kohta



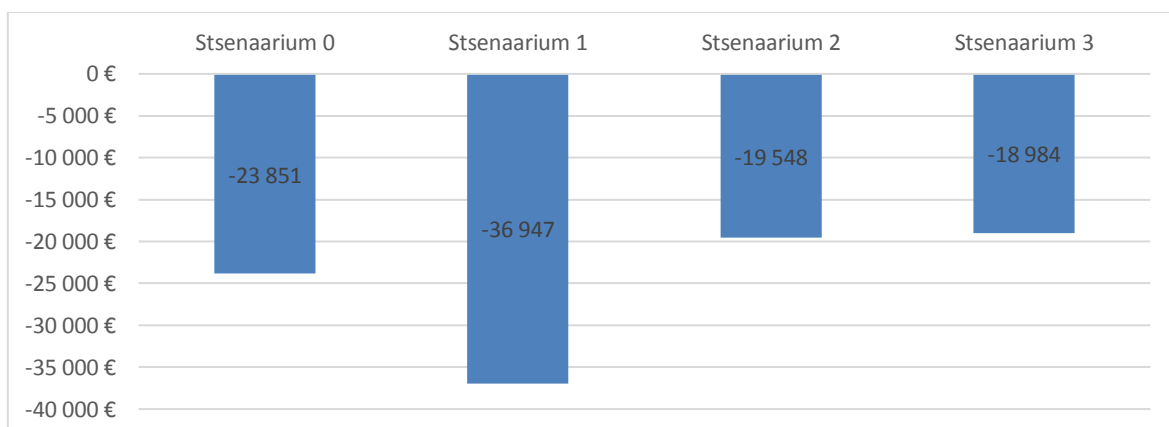
**Joonis 4.2 Eramu 2 nüüdispuhasväärtused erinevate stsenaariumite kohta**

Stsenaarium 0 - olemasoleva küttesüsteemi NPV

Stsenaarium 1 - pelletil töötava mikrokoostootmisjaama paigaldus

Stsenaarium 2 - olemasolevale küttesüsteemile 4 kW päikeselektrijaama lisamine

Stsenaarium 3 - olemasolevale küttesüsteemile 10 kW päikeselektrijaama lisamine



**Joonis 4.3 Eramu 3 nüüdispuhasväärtused erinevate stsenaariumite kohta**

Stsenaarium 0 - olemasoleva küttesüsteemi NPV

Stsenaarium 1 - pelletil töötava mikrokoostootmisjaama paigaldus

Stsenaarium 2 - olemasolevale küttesüsteemile 4 kW päikeselektrijaama lisamine

Stsenaarium 3 - olemasolevale küttesüsteemile 10 kW päikeselektrijaama lisamine

Mikrotootmine päikesepaneelide abil suurendab eramu soojus- ja elektrienergia NPV-d kuid jääb siiski negatiivseks. Päikesepaneelide elueaks hinnatakse 30.aastat

### 4.3. Tasuvusaeg

Tasuvusaja arvutuste graafikud stsenaariumite 1, 2 ja 3 puhul on leitud arvutuslikult ja kujutatud graafiliselt (joonistel 4.4 – 4.9.) [49]

Tasuvusaja arvutamisel on võrreldud kahte varianti eramu kohta:

1. Kohapeal toodetud elektrienergia müüakse otse elektrivõrku ja eramu omatarbega ei arvestata
2. Kohapeal toodetud elektrienergiat kasutatakse eramu elektrivõrgust ostetava elektrienergia koguste vähendamiseks ja ülejääk müüakse võrku. Arvestatud on taastuvenergia toetusega 12.aasta perioodi jooksul Eramute elektrienergia kulu aluseks on võetud 2016.aasta kuupõhised tarbimised

Päikeselektrijaama toodangute puhul on arvestatud eramute geograafilise asukohaga ja päikesepaneelide orientatsiooniga ilmakaarte suhtes.

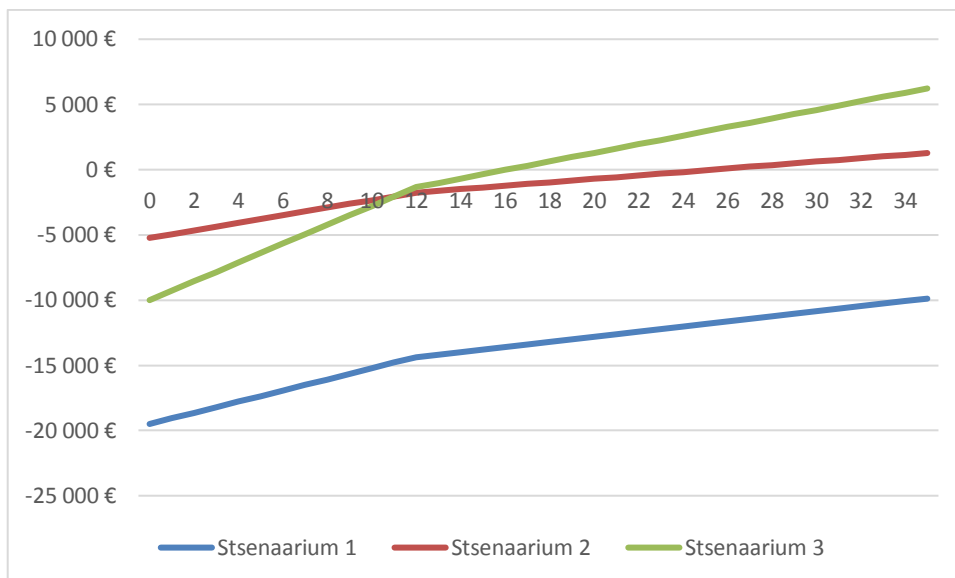
**Tabel 4.3. Kasutatud energiahinnad**

Energiahind	Hind	Ühik
Taastuvenergia tasu	0,0537	senti/kWh
Elektrienergia müügihind [48]	0,033	senti/kWh
Elektrienergia ostuhind	0,13	senti/kWh

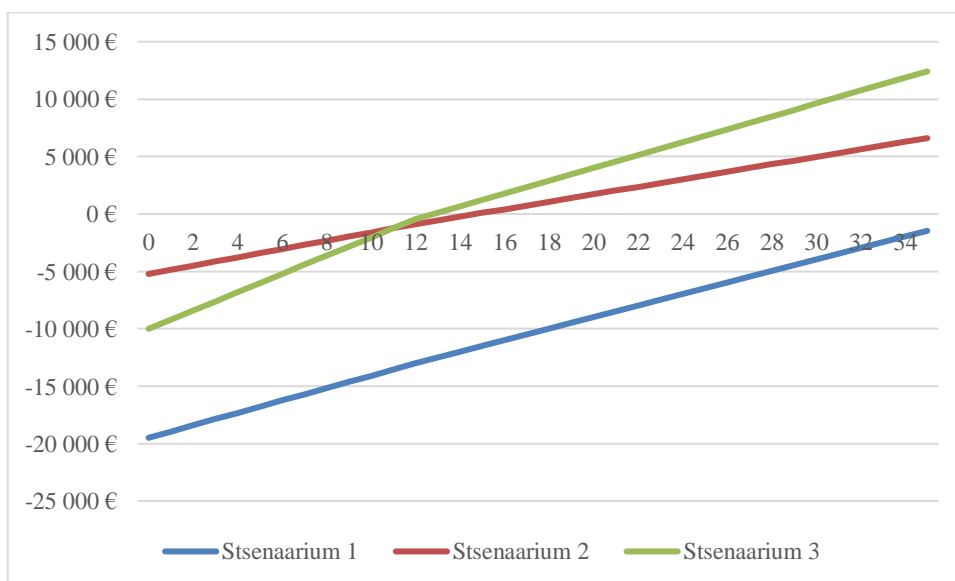
Stsenaarium 1 - pelletil töötava mikrokoostootmisjaama paigaldus

Stsenaarium 2 - olemasolevale küttesüsteemile 4 kW päikeselektrijaama lisamine

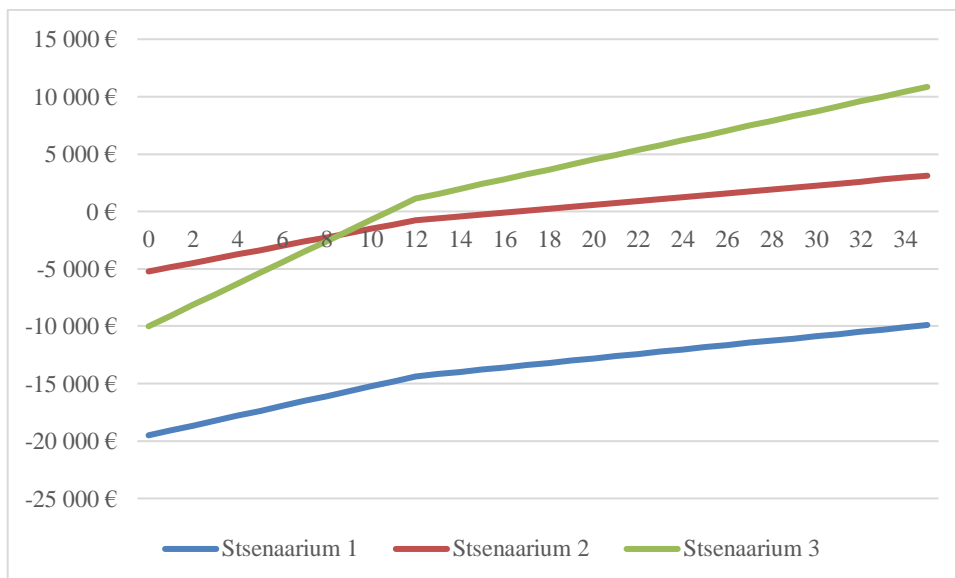
Stsenaarium 3 - olemasolevale küttesüsteemile 10 kW päikeselektrijaama lisamine



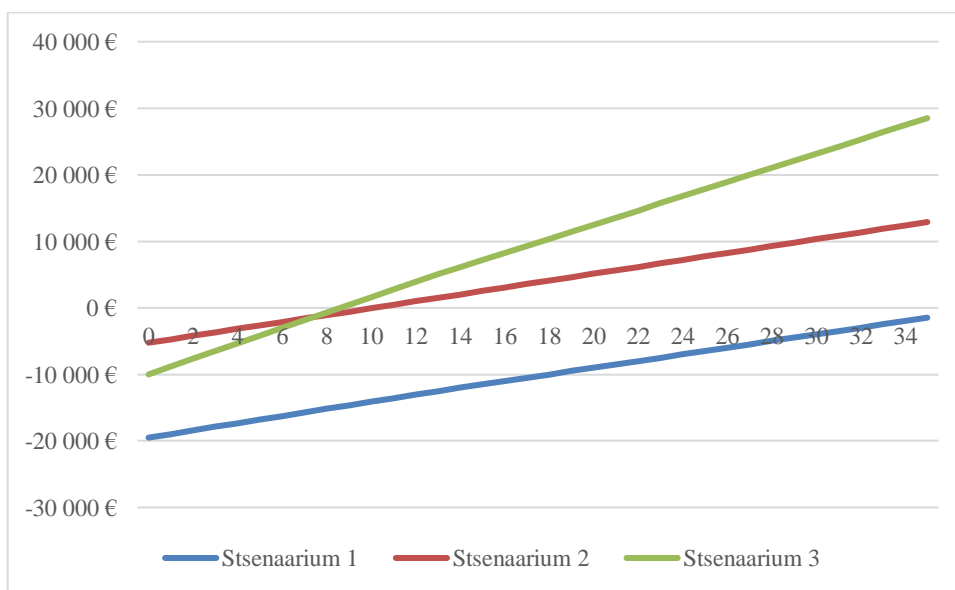
**Joonis 4.4. Tasuvusaeg –Eramu 1 lokaalselt toodetava elektrienergia otse võrku müümine**



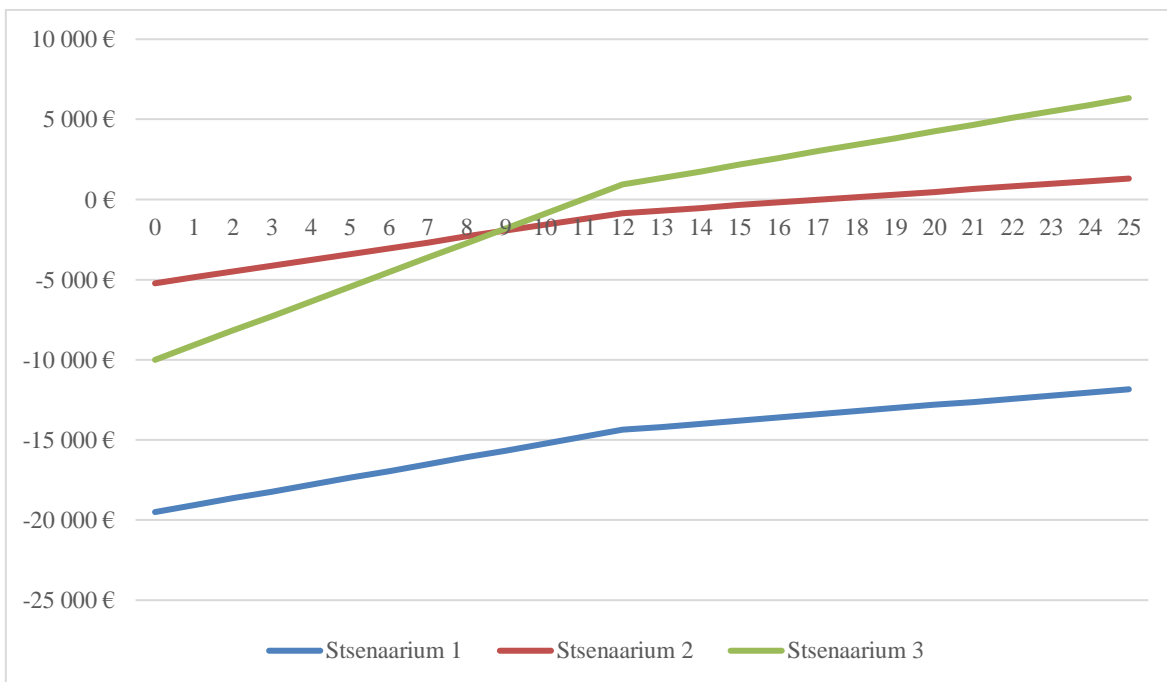
**Joonis 4.5. Tasuvusaeg – Eramu 1 lokaalselt toodetava elektrienergia kasutamisel omatarbe katmiseks.**



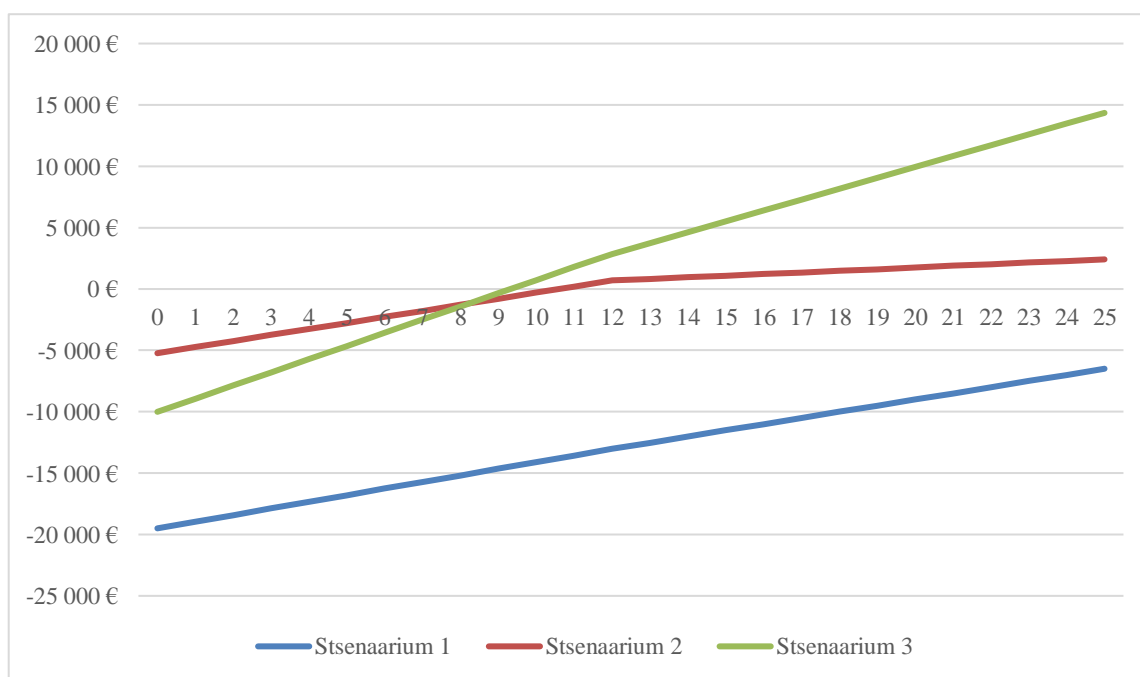
**Joonis 4.6. Tasuvusaeg – Eramu 2 lokaalselt toodetava elektrienergia müük otse võrku**



**Joonis 4.7. Tasuvusaeg – Eramu 2 lokaalselt toodetava elektrienergia kasutamisel omatarbe katmiseks.**



**Joonis 4.8. Tasuvusaeg – Eramu 3 lokaalselt toodetava elektrienergia müük otse võrku**



**Joonis 4.9. Tasuvusaeg – Eramu 3 lokaalselt toodetava elektrienergia kasutamisel omatarbe katmiseks.**

**Tabel 4.4. Tasuvusaeg aastates -lokaalselt toodetava elektrienergia otse võrku müümine**

Tasuvusaeg	Stsenaarium 1	Stsenaarium 2	Stsenaarium 3
	Mikrokoostootmine	4 kW päikeseelektrijaam	10 kW päikeseelektrijaam
Eramu 1	86	26	17
Eramu 2	86	17	11
Eramu 3	86	18	11

Tasuvusaja leidmisel on aluseks võetud see, et stsenaariumites toodetud elektrienergia müüakse otse võrku. Tulu saadakse taastuvenergia toetusest ja elektrienergia müügist.

**Tabel 4.5. Tasuvusaeg aastates – lokaalselt toodetava elektrienergia kasutamisel omatarbe katmiseks.**

Tasuvusaeg	Stsenaarium 1	Stsenaarium 2	Stsenaarium 3
	Mikrokoostootmine	4 kW päikeseelektrijaam	10 kW päikeseelektrijaam
Eramu 1	38	15	13
Eramu 2	38	11	9
Eramu 3	38	11	10

Tasuvusaeg lüheneb oluliselt kui toodetavat elektrienergiat kasutatakse lokaalselt. Eramu 1 madal elektrienergia omatarve tingib stsenaariumite pikema tasuvusaja.

Eramu 2 ja Eramu 3 puhul on elektrienergia tarve suurem ja rahaline võit on suurem kuna kaetakse rohkem omatarvet kui Eramu 1 puhul.

Eramu 3 omatarve on madalam kui Eramu 2 oma. See tingib selle, et Eramu 3 müüb võrku rohkem odavamaga hinnaga elektrienergiat.

# Lõputöö kokkuvõte

Koostatud magistritöös on uuritud eramu elektrienergia tootmise tehnilisi võimalusi. Lähitulevikus projekteeritavate ja ehitatavate hoonete energiatõhusus peab vastama liginullenergia hoone nõuetele. Tingituna sellest, seab see ehituslikule osale vajalike ehituskonstruksioonide soojapidavuse nõuded. Oluline on ka kohapeal toodetava energia osakaal antud kriteeriumi täitmiseks. Töös on uuritud on kolme erineva hoone puhul mikrotootmise paigaldamise võimalusi ja tasuvust.

Autor on oma töös analüüsinud eramute elektrienergia mikrotootmise tehnoloogiaid ja sobivust kahte olemasolevasse B-energiaklassiga ja ühte projekteeritud C-energiaklassiga eramusse.

Eestis rajatavate uuseramute puhul valitakse põhiküte vastavalt oma investeerimise võimekusele. Levinud on suurema alginvesteeringuga soojuspumba või väiksema alginvesteeringuga pelletiküttel põhinevad süsteemide paigaldamine. Olemasoleva magistraalgaasitrassi olemasolul gaasikütte valimine.

Uuringu fookuses on olnud eramute ostetava elektrienergia tarbimise vähendamine kasutades mikrotootmisseadmeid. Eesmärk on maksimaalselt kasutada toodetavad elektrienergiat omatarbe katmiseks ja ülejääk müüa elektrivõrku. Töö tulemusena on autor hinnanud päikesepaneelide integreerimist olemasolevatesse ja projekteeritud eramusse.

Eramute valikul lähtus autor, et olemasolevad majad on põhiparameetritelt sarnased kuid küttesüsteemi lahenduselt erinevad ning projekteeritav eramu on kõrgema energiatõhususega.

Töö lähteandmetena on kasutatud eramute elektrienergia tarbimise andmeid 2013 – 2016 aasta kohta, mis on saadud Elering AS andmelaost. Soojusenergia kulu on saadud energiaarvutusel põhineval energiamärgise aruandest.



**Tabel 3.3. Eramute energiakulu koondtabel**

	Eramu 1 (Pellet)	Eramu 2 (Soojuspump)	Eramu 3 (Soojuspump)
Energiaarvutusel põhinev energiamärgis	C	C	B
Aastane arvutuslik tarnitud soojusenergia [kWh/a]	25 950	27 000	17 612
Ruumide küte [kWh/a]	13 445	-	14 532
Tarvevee soojendamine	3190	-	2037
Elektrenergia 4.aasta keskmine [kWh/a]	4662	12 959	9187

Valitud kolme erineva eramu näitel on hinnatud elektrienergia tootmise potentsiaali ja tasuvust kahe erineva tehnoloogia, mikrokoostootmise ja päikeseelektrijaama, alusel. Seejuures on päikeseelektrijaama puhul tehtud arvutused kahe erineva elektrilise võimsuse korral.

**Tabel 3.4. Eramute energiakulu koondtabel**

	Eramu 1	Eramu 2	Eramu 3
Stsenaarium 0	Pelletikatel	Soojuspump	Soojuspump
Stsenaarium 1	1 kW mikrokoostootmiseseade pelletikütteil	1 kW Mikrokoostootmiseseade pelletikütteil	1 kW Mikrokoostootmiseseade pelletikütteil
Stsenaarium 2	4 kW päikeseelektrijaam	4 kW päikeseelektrijaam	4 kW päikeseelektrijaam
Stsenaarium 3	10 kW päikeseelektrijaam	10 kW päikeseelektrijaam	10 kW päikeseelektrijaam

Analüüsi põhifookuses on eramute võrgust ostetava elektrienergia koguse vähendamine. Elektrivõrgust ostetava elektrienergia hind ca 0,13 €/kWh ja elektrivõrku müüdava elektrienergia hind ca 0,09 €/kWh. Tingituna hinnavahest on majanduslikult põhjendatud maksimaalselt tarbida kohapeal toodetud elektrienergiat.

Mikrotootmise majandusliku tasuvusanalüüsis on arvestatud, et taastuvenergia toetust (0,0537 €/kWh) makstakse mikrotootmisele esimese 12.aastase perioodi jooksul. [14] Järgnevatel perioodidel tasutakse elektrienergia börsihind.

Eramute nüüdispuhasväärtuse (NPV) arvutustulemuste alusel on vaadeldud 20 aastase perioodi jooksul kõikide analüüsitud stsenaariumite NPV-d negatiivsed.

Mikrokoostootmisjaama NPV ja tasuvusaja arvutuste analüüsil selgub, et mikrokoostootmisjaama paigaldamine eramusse ei ole majanduslikult põhjendatud. Selle tingib olemasoleva tehnoloogia kõrge alginvesteering, väike elektriline võimus ja kasutatava Strilingi mootori suhteliselt lühike eluiga (50 000h). Tehnoloogia arenedes ja hindade langedes on mõistlik uuesti hinnata mikrokoostootmisjaama sobivust eramusse.

Mikrotootmise lisamine päikeseelektrijaama näol suurendab nüüdispuhasväärtust. Vaadeldud stsenaariumite  $NPV < 0$ , ehk projektid ei ole tasuvad vaadeldud 20 aastasel perioodil, sest arvutustesse on kaasatud ka eramute soojus- ja elektrienergia aastased kulud.

Päikeseelektrijaama lisamisel eramule on võrreldud kahte stsenaariumit. Esimeses on seadmed paigaldatud selliselt, et kogu toodetav elektrienergia müüakse elektrivõrku ja teise stsenaariumi puhul kasutatakse toodetud elektrienergiat eramus. Arvestatud, et soojusenergia kütteseade on olemas ja uuritakse mikrotootmise tasuvust.

Eramute aastane elektrienergia tarbimine tingituna kütteseadmest on erinev. Pelletil töötava kütteseadmega maja aastane elektrienergia tarve on ca 50 % madalam kui soojuspumbaga eramul. Päikeseelektrijaamade paigaldamise tasuvus on seda lühem, mida rohkem suudetakse tarbida toodetud elektrienergiat kohapeal.

Kokkuvõtlikult järeldeb tööst, et majandusliku tasuvuse osas on mikrotootmine otstarbekas kõrgema elektrienergia tarbimisega eramutes ning väiksem pelleti katelt kasutaval eramul. Samuti järeldeb see NPV arvutustes. Erinevaid tehnilisi lahendusi eramus elektrienergia tootmiseks on olemas, kuid majanduslik tasuvus on pikaajaline. Fookus tuleb pigem suunata olemasoleva ja ehitatava elamufondi energiatõhususe kasvatamisele ning tarbitava energia vähendamisele, mitte selle kompenseerimisele uute tootmisüksuste paigaldamisega.

# Kirjandus

- [1] „Energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak\\_2030.\\_eelnou\\_23.10.2014.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030._eelnou_23.10.2014.pdf).
- [2] „Energiatarbimine kodumajapidamistes – Energiatalgud,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [https://energiatalgud.ee/index.php/Energiatarbimine\\_kodumajapidamistes](https://energiatalgud.ee/index.php/Energiatarbimine_kodumajapidamistes). [Kasutatud 15 04 2017].
- [3] L. Larin, „Tulevik on liginullenergiahoonete päralt,“ Sirp, 2015.
- [4] Elektrilevi OÜ, 17 05 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/uudised/avaleht/-/newsv2/2017/05/17/elektrilevi-lihtsustas-vaiketootjate-liitumist-elektrivorguga>. [Kasutatud 19 05 2017].
- [5] „Renewable energy - Energy - European Commission,“ Euroopa Liit, 2017.
- [6] Siim Espenberg, Reeli Kuhi-Thalfeldt, Valdur Lahtvee, Mari Jüssi, Harri Moora, Janika Laht, Ülo Mander, Jüri-Ott Salm, Kaarin Parts, „Eesti võimalused liikumaks,“ Keskkonnaministeerium, 2013.
- [7] Ü. Kask, „EL Struktuurifondid energiasäästu ja taastuvate energiallikate projektide käivitamiseks,“ Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika instituut, Tallinn, 2012.
- [8] „Households energy consumption per dwelling by end-use,“ European Environment Agency, 2015.
- [9] „Energiasääst | Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mkm.ee/et/energiasaast>. [Kasutatud 19 05 2017].
- [10] „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded,“ Riigiteataja Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Tallinn, 03.06.2015.
- [11] „Energiamärgise vorm ja väljaandmise kord, määrus nr.30, LISA 3,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Tallinn, 23.04.2013.
- [12] „Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine,“ Sihtasutus Kredex, 2012.

- [13] „Võrgueeskiri,“ Eesti Vabariigi Valitsus, redaktsiooni jõustumise kuupäev 19.02.2016.
- [14] „Elektrituruseadus,“ Eesti Vabariigi Valitsus, redaktsioon 01.03.2017.
- [15] „Nõuded mikrogeneraatorjaamade ühendamiseks rööbiti avalike madalpingeliste jaotusvõrkudega,“ Eesti Standardikeskus, 2013.
- [16] E. AS, „Elering - Taastuvenergia toetus,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/taastuvenergia-toetus/>. [Kasutatud 02 05 2017].
- [17] „Mikro- ja hajatootmine – Energiatalgud,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, [Võrgumaterjal]. Available: [https://energiatalgud.ee/index.php?title=Mikro-\\_ja\\_hajatootmine&menu-115](https://energiatalgud.ee/index.php?title=Mikro-_ja_hajatootmine&menu-115). [Kasutatud 27 04 2017].
- [18] A. Paist, „CHP võimalikkus eramute energiabilansis, mikro ja väike koostootmine,“ TTÜ Soojustehnika instituut, Tallinn, 07.06.2012.
- [19] A. Siirde, „Kasutegur ja teised olulised mõisted KASUTEGUR ENERGIATOOTMISEL,“ %1 *Loengukursus „ WEC Akadeemia loengud”*, Tallinn, 01.01.2016.
- [20] R. Beith, *Small and micro combined heat and power (CHP) systems*, Woodhead Publishing Limited 2011, 2011.
- [21] A. J. ÖkoFEN, „Allgemeine | ÖkoFEN,“ ÖkoFEN Forschungs- und Entwicklungs Ges.m.b.H., 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.okofen-e.com/en/engine/>. [Kasutatud 11 04 2017].
- [22] Anesu Tichagwa, Paul Barendse, Azeem Khan, „Cost Effective MICRO-CHP Sizing,“ *"Cost effective MICRO-CHP sizing," IEEE Power and Energy Society Conference and Exposition in Africa: Intelligent Grid Integration of Renewable Energy Resources (PowerAfrica)*, pp. 1-6, 09 2012.
- [23] Wikipedia, „Stirling Engine - Wikipedia,“ Wikipedia, 30 04 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine). [Kasutatud 30 04 2017].
- [24] M. E. C. H. BV, „Free Piston Stirling Engine - Microgen,“ Microgen Engine Corporation Holding BV, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.microgen-engine.com/>. [Kasutatud 06 05 2017].

- [25] M. E. Corporation, „Engines - Microgen,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.microgen-engine.com/products/engines/>. [Kasutatud 06 05 2017].
- [26] Ö. F.-. u. E. Ges.m.b.H., „Pellematic Smart\_e | ÖkoFEN\_“, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.okofen-e.com/en/pellematic\\_smart\\_e/](http://www.okofen-e.com/en/pellematic_smart_e/). [Kasutatud 11 04 2017].
- [27] V. W. G. & C. KG, „Power-generating-heating systems,“ KG, Viessmann Werke GmbH & Co., 2017.
- [28] B. H. UK, „Baxi\_Ecogen\_Range\_Guide.pdf“, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.baxi.co.uk/documents/Baxi\\_Ecogen\\_Range\\_Guide.pdf](http://www.baxi.co.uk/documents/Baxi_Ecogen_Range_Guide.pdf). [Kasutatud 06 06 2017].
- [29] A. Siirde, MSJ0090 Soojussünergeetika loengumaterjal, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Energiatehnoloogia instituut, 2012.
- [30] F. E. Limited, „The Electricity Generating MicroCHP Boiler That Pays For Itself - Flow Energy,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.flowenergy.uk.com/meet-flow/>. [Kasutatud 05 06 2017].
- [31] T. i. t. UK, „Is the Flow boiler worth it? - TheGreenAge,“ 22 05 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.thegreenage.co.uk/flow-boiler-worth/>. [Kasutatud 06 05 2017].
- [32] M. c. heat&power, „1kWe class,“ Micro combined heat&power, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.microchap.info/1kwe\\_class.htm](http://www.microchap.info/1kwe_class.htm).
- [33] Ü. Kask, „Soojuse ja elektri koostootmise tehnoloogiad ja seadmed väikese mastaabiliseks hajutatud energia tootmiseks,“ Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika instituut, Pühajärve, 2014.
- [34] M. M. T. T. BV, „EM\_Specifactions\_EnerTwin-2017,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.enertwin.com/cms/EN\\_Specifications\\_EnerTwin-2017.pdf](http://www.enertwin.com/cms/EN_Specifications_EnerTwin-2017.pdf). [Kasutatud 06 05 2017].
- [35] M. M. T. T. BV, „The EnerTwin is MicroCHP,“ <http://www.enertwin.com/enertwin-en/the-enertwin>, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.enertwin.com/enertwin-en/the-enertwin>. [Kasutatud 06 05 2017].

- [36] Viessmann, „Vitovalor 300-P Fuel cell heating system - Viessmann UK,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: Vitovalor 300-P Fuel cell heating system - Viessmann UK. [Kasutatud 05 06 2017].
- [37] L. GmbH, „Vitovalor 300-P C3TA003 C3TA004 - Löbbe GmbH,“ Löbbe GmbH, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.loebbeshop.de/viessmann/regenerative-heizsysteme/mikro-kwk/viessmann-vitovalor-300-p.htm>. [Kasutatud 05 06 2017].
- [38] M. Nesarajah, G. Frey, „Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator,“ *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence, 2016*, pp. 4252-4257, 2016.
- [39] Seebeck, „Termoelektriline generaator,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.seebeck.ee/tere-tulemast>. [Kasutatud 06 05 2017].
- [40] T. Kerem, „Eramaja fotoelektriliste päikesepaneelide tasuvus lähtuvalt elektribörsi Nord Pool Spot Eesti hinnapiirkonna dünaamilistest hindadest,“ Tartu Ülikool, 2014.
- [41] S. AG, „SolarWorld : Download,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.solarworld.de/fileadmin/downloads\\_new/produkt/produktkatalog/produktkatalog\\_en.pdf](http://www.solarworld.de/fileadmin/downloads_new/produkt/produktkatalog/produktkatalog_en.pdf). [Kasutatud 15 05 2017].
- [42] A. U. London, „Solar CHP - Alfagy Heat & Power - CHP, Boilers & Cogeneration,“ Alfagy UK London, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://alfagy.com/solar-chp.html>. [Kasutatud 01 05 2017].
- [43] Keskkonnagentuur, „Meteoroloogilised andmed - igatunnised andmed Harkus 2013-2016,“ Keskkonnaagentuur - nr 2-10/17/183, Tallinn, 5.05.2017.
- [44] Dan Scarpete, Krisztina Uzuneanu, Stirling Engines in Generating Heat and Electricity for micro - CHP Systems, Romania: Department of Thermal Systems and Environmental Engineering University Dunarea de Jos of Galati, 2011.
- [45] „MCS CHP, MCS Micro CHP, MCS Combined Heat and Power,“ Easy RSS/MCS/Green Deal trading under Evergreen Energy, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.easy-mcs.com/mcs/mcs-technologies/micro-chp.html>. [Kasutatud 20 05 2017].

- [46] „JRC's Directorate C: Energy, Transport and Climate - PVGIS - European Commission,“ European Union, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>. [Kasutatud 13 05 2017].
- [47] J. Valtin, Energiasüsteemide ökonomika, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2005.
- [48] „Nordpool Spot energy market prices,“ NordpoolSpot, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/EE/Yearly/?view=table>.
- [49] MSE0280 - Hajaenergeetika planeerimine - Tasuvusanalüüs, Tallinna Tehnikaülikool, 2016.

