



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

HAJATOOTMISE PÕHJENDATUS JA KRIITILISED PIIRTINGIMUSED

DISTRIBUTED ENERGY GENERATION AND CRITICAL BOUNDARY
CONDITIONS
MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tauno Hilimon

Üliõpilaskood: 163019

Juhendaja: Arvi Hamburg

Tallinn, 2018.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 bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201....

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Tauno Hilimon	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Hajatootmise põhjendatus ja kriitilised piirtingimused	
<i>Kuupäev:</i> 25.05.2018	109 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Arvi Hamburg	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> -	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Antud lõputöö eesmärk on luua teave investorile ja välja töötada lokaalse energiatootmise üldised investeerimispõhimõtted.</p> <p>Ülevaade on antud hajatootmisel kasutatavatest tehnoloogiatest ja energiaallikatest. Vaadeldakse energia ühistulise tootmise ja edastamise võimalusi, põhjendatust ja takistusi. Lõputöö on loonud ülevaate lõputöö koostamise hetkel kehtivatest seadusaktidest ja määrustest ning oodatavatest muudatustest, toonud esile seadusandluse mõju lokaalsele energiatootmisele, -edastamisele ja -müügile ning välja pakkunud ettepanekud seadusandluse muutmiseks. Töös on loodud ka ülevaade koostootmisjaamade kasutatavusest Eesti tingimustes ja hajatoomisel ning käsitletud hajatootmise probleeme ning võimalikku tulevikku. Koostootmisjaama näitel on loodud juhend projekti tasuvuse määramiseks ja antud ülevaade projekti elluviimise sammudest. Koostatud juhendi põhjal on loodud matemaatiline mudel, mille abil on määratletud koostootmisjaama investeringu kriitilised piirtingimused. Kriitiliste piirtingimuste abil on võimalik esmasel vaatlemisel määratleda projekti tasuvust. Piirtingimusi on rakendatud näidisülesandele. Piirtingimuste põhjal on antud üldised soovitusel investeringu teostamiseks.</p>	
<i>Märksõnad:</i> hajatootmine, energiaühistu, paralleelne energiatarve, koostootmisjaam, piirtingimused, väiketootja, majanduslik tasuvus	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Tauno Hilimon	<i>Type of the work:</i> Masters Thesis
<i>Title:</i> Distributed energy generation and critical boundary conditions	
<i>Date:</i> 25.05.2018	109 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>School of Engineering:</i> <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Arvi Hamburg <i>Consultant(s):</i> -	
<i>Abstract:</i> <p>The purpose of this thesis is to create an overview and investment principles about distributed energy generation for investors.</p> <p>An overview has been given about technologies and energy sources used for distributed energy generation. The thesis also provides information about possibilities, justification, and obstacles of energy generation and transmission for energy cooperatives. Diploma work has given an overview of how valid acts and expected changes affect distributed energy generation, energy transmission, and sale, and given some recommendations for act changes for the purpose of promoting distributed energy generation. Work also examines cogeneration plant usability in distributed energy generation, views distributed energy generation problems and possible future. Using cogeneration plant as an example, a manual has been created for determining the cost-effectiveness of the project. Also, steps for the implementation of the project have been given. On the basis of the manual, critical boundary conditions have been created for giving a first impression of the projects cost-effectiveness. Critical boundaries are implemented on exemplary situation. Based on critical boundary conditions, investment recommendations have been given.</p>	
<i>Keywords:</i> distributed energy generation, parallel energy consumption, the energy cooperative, cogeneration plant, boundary conditions,	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	7
Teema põhjendus:	7
Töö eesmärk:.....	8
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	8
Lähteandmed:.....	9
Lõputöö konsultandid (vajadusel):.....	9
Eessõna	10
Sissejuhatus.....	11
1. Hajatootmisel kasutatavad tehnoloogiad	14
1.1. Soojuse tootmine.....	14
1.1.1. Päikesekollektorid	14
1.1.2. Soojuspumbad	15
1.2. Elektri tootmine	15
1.2.1. Päikesepaneelid.....	15
1.2.2. Tuulikud.....	17
1.3. Koostootmine	17
1.4. Kütused	21
1.4.1. Biokütused.....	21
1.4.2. Fossiilsed kütused	22
2. Lokaalse energiatootmise põhjendus, takistused	25
2.1. Lokaalsete energiatootjate liitumine võrguga	26
2.2. Energiaühistud	27
2.3. Lokaalne energiatootja õigussüsteemis.....	30
2.3.1. Elektri edastamist ja tootmist reguleeriv seadusandlus	31
2.3.2. Soojuse edastamist ja tootmist reguleeriv seadusandlus.....	34
2.4. Ettepanekud seadusandluse muudatusteks	37
2.5. Toetussüsteem.....	38
3. Tuleviku probleemid ja lahendused	42
3.1. Paralleelne soojuse tarve.....	42
3.2. Soojustootja tulevik	44
3.3. Tarkvõrgu rakendused.....	45
4. CHP konkurentsivõime Eestis ja kasutatavus lokaalsel energiatootmisel.....	47
4.1. Kütte ja jahutuse võimalused Eestis.....	47
5. Lokaalse energiatootja planeerimine CHP näitel	51
5.1. Koormusgraafik	51
5.2. Koostootmisjaama parameetrid.....	52
5.3. Kütused ja tuhatöötlus.....	53
5.4. Hooldus – ja käidukulud	55
5.5. Rahastus	55
5.6. Toetused.....	56
5.7. Energia müük	57
5.8. Tasuvuse arvutamine	57
5.9. Majanduslikud arvutused	59
6. Kriitilised piirtingimused	61

6.1.	Kriitiliste piirtingimuste leidmine	61
6.2.	Kriitiliste piirtingimuste kasutamise näidis.....	69
6.3.	Järeldused.....	75
Lõputöö kokkuvõte		78
Kirjandus		82
Lisad		88
L.1.	Elektrilevi võrguga sobivate seadmete list [71]	89
L.2.	Kriitiliste piirtingimuste graafikud	95
L.3.	Analüüsi lähteandmed ja tulemused	108

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Lokaalse energiatootmise põhjendus ja kriitilised piirtingimused
Üliõpilane:	Tauno Hilimon, 163019AAVM
Eriala:	elektroenergeetika
Lõputöö liik:	magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Arvi Hamburg
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	30. juuni 2019
Lõputöö esitamise tähtaeg:	25. mai 2018

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktor (allkiri)

Teema põhjendus:

Tänapäeval on energiamajanduse põhieesmärgid varustuskindluse suurendamine, keskkonnamõjude minimeerimine ja energia taskukohasus. Nimetatud kolme, tasakaalustatud põhieesmärgi täitumise eelduste loomine on kõikide turuosaliste ülesanne. Üks võimalus selleks on energia tootjate, tarnijate ja tarbijate lokaalne koostöö, niinimetatud ühistuline tegevus. Energia minitootmine erinevatest energiaallikatest, „tarkvõrgu“ põhimõtete rakendamine ja tarbimise juhtimine piirkonniti saab ja ehk peabki olema pilootprojektiks kogu elektrimajandus tarkvõrgu rakendusteks.

On küll ammutuntud tõde, et suurte ühikvõimsuste installeeritud kW maksumus on väiksem kui lokaalsel väikeagregaadil, kuid tootmisprotsessi efektiivsuses ja kulude- ning kadude kokkuhoid võib esialgse lisainvesteeringu pöörata edasises tööprotsessis positiivseks võiduks tarbijale. Oodatav positiivne tulemus sõltub alginvesteeringu läbimõeldusest, võimalike turumuutuste prognoosist ja riskide ettenägemisest ning nende minimiseerimise meetmetest. Kogukonnas tark investor on nõus algselt kulutama tavapärasest veidi enam raha, et hilisema eksploatatsiooni käigus hoida energia hinda turuhinnast madalamal.

Tootmisettevõttes kohapealset energiatootmist planeeritakse ja rajatakse vastavalt tootmisprotsessi vajadustele ja iseärasustele. Elamuehituspiirkondade energiatarbimise järsk

tsüklilisus ja suur kõikumine ajas on takistuseks lokaalse energiatootmise planeerimisel. Kinnisvara arendajate huvi ja investeerimisvalmidus elamupiirkondades lokaalse energiatootmise arendamiseks on olemas.

Käesolevas töös püüan välja töötada eramupiirkonna lokaalse energiatootmise üldised investeerimispõhimõtted.

Teema annab ülevaate võrku ühendatud ja võrguvälistest lokaalsetest energiatootjatest ning valdkonna seadusandlusest. Töös luuakse ülevaade vajalikest investeeringutest ja piirtingimustest lokaalse energiatootmisüksuse rajamiseks. Analüüsitakse võrguvälise-, võrguga liitunud lokaalse energiatootmise plusse ja miinuseid ning võrreldakse neid avaliku võrguteenustega.

Antakse soovitusel õigusliku regulatsiooni, võrgueeskirja ning liitumistingimuste korrigeerimiseks ja tootmiseseadme valikuks.

Täpselt selle teemalisi lõputöid pole varem TTÜ-s tehtud. On tehtud magistritöid projekteerides konkreetsete tarbijate energiavarustuse, valitud koostootmisjaama parameetreid ja soojatrasse. Lokaalse energiavarustuse põhjendatuse üldisi kriitilisi piirtingimusi, millest võiksid lähtuda kinnisvara arendajad vastavaid investeeringuid planeerides pole koostatud.

Töö eesmärk:

Luu teave investorile – Lokaalsete energiatootmise tehnoloogiad, majanduslik põhjendus ja õigusliku regulatsiooni oodatavad muudatused.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Milliseid võrku ühendatud ja võrguväliseid lokaalseid energiatootjaid kasutatakse, nende eripärad?
- Millised riiklikud toetusmehhanismid on loodud lokaalse energiatootmise toetuseks ja kuidas antud toetused mõju avaldavad, kas antud toetused on küllaldased?
- Missugune on võrgueeskirja ja liitumistingimuste mõju lokaalsele energiatootmisele?
- Millised on energiaühistute õiguslikud alused ja võimalused, mida tasuks lisada, muuta?
- Millised on tarbimise juhtimise ja tarkvõrgu rakendamise võimalused lokaalse energiatootmise korral?

- Millised on lokaalse energiatootmise investeerimisotsuse kriitilised piirtingimused?
- Millised on soovitud õigusliku regulatsiooni, võrgueeskirja, liitumistingimuste korrigeerimiseks ja tootmiseseadme valikuks lõputöö koostaja poolt?

Lähteandmed:

Eesti Arengufondi teemaga seotud juhendid, Elektrienergia jaotamist ja turgu reguleeriv seadusandlus, lokaalse energiatootmisega seotud artiklid ja lõputööd, teave internetist ja juhendajalt.

Lõputöö konsultandid (vajadusel):

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

Konsultant nimi (allkiri, kuupäev)

Eessõna

Magistritöö teema valikul mängis rolli autori huvi lokaalsete energiatootjate ja energeetika tuleviku suundade vastu. Magistritöö teema pani välja juhendaja ning koostöös juhendaja nõuannetega sündis magistritöö struktuur.

Täna juhendajat Arvi Hamburgi, kes lõputöö koostamist juhendas ja lõputöö autorit toetas.

Täna sugulasi, sõpru ja tuttavaid, kes on mulle õpingute jooksul alati toeks olnud.

Tauno Hilimon

Telefon: +372 5698 3237

e-post: tauno.hilimon@gmail.com

Sissejuhatus

Eesti energiapoliitika eesmäärke ja arengusuundi aastani 2030 kirjeldab Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 (ENMAK 2030). ENMAK-iga seatud põhilised eesmärgid aastaks 2030 [1]:

- Taastuvatest energiaallikatest elektri tootmine moodustab 50% sisemaisest elektri lõpptarbimisest;
- Energia lõpptarbimise vähenemine, primaarenergia sääst;
- Heitkoguste vähendamine;
- Varustuskindluse suurendamine;
- Uued hooned vastavad liginullenergiahoone energiatõhususarvu väärtusele;
- 80% Eestis toodetud soojusest toodetakse taastuvate energiaallikate baasil;
- Energia taskukohasuse säilitamine.

Nagu ENMAK2030 eesmärkidest saab välja lugeda, on hetkel ja tulevikus aktuaalsed teemad energia säästmine, varustuskindlus, keskkonnamõjude minimeerimine ja energia taskukohasus.

Üks võimalus energiamajanduse põhieesmärkide täitmiseks on energia tootjate, tarnijate ja tarbijate lokaalne koostöö, mida saab kokkuvõtvalt nimetada ühistuliseks tegevuseks. ENMAK2030 on üheks olulisemaks tegevuseks välja toonud energiaühistu seadusandluse väljatöötamise, taastuvenergia tootmise edendamiseks, millele toetudes on võimalik väita, et Eestis saab lähiaastatel hoo sisse hajutatud ja ühistulise energiatootmise aktuaalsus ning kasv. Senimaani on lokaalset energiatootmist ja ühistulist tegevust piiranud eelkõige seadusandluse vähene paindlikkus ja kogukonna puudulik aktiivsus.

Üks tuleviku võimalikke suundasid on soojuse ja elektri tootmine hajutatult, kasutades selleks taastuvaid kütuseid ja tõhusaid tehnoloogiaid. On teada, et suurte ühikvõimsustega energia tootmise ühikhind on reeglina madalam kui lokaalsetel väikeagregaatidel. Siiski võib tootmisprotsessi efektiivsus, kulude- ning kadude kokkuvõtte, alginvesteeringu läbimõeldus, võimalike turumuutuste prognoos, riskide ettenägemine ja minimeerimine, tuua kaasa võidu tarbijale, eriti pikas perspektiivis, vältides tarbitava energia hinna sõltuvust energiaturu hinnakõikumistest. Hajutatud energiatootmist on võimalik planeerida ja rajada sõltuvalt energia vajadusele, tootmisprotsessi iseärasustele ja piirkonna eripärale.

Tarkvõrgu välja ehitamine ja rakendamine koos soojus- ja gaasivõrgu tarkade süsteemidega, moodustab targa energiasüsteemi, mille eesmärk on stabiilse, keskkonnasäästliku ja tõhusa energia tootmine ning edastamise lõpptarbijale. Targa energiasüsteemi põhimõtete rakendamine hajatootmisel, võiks olla alus tuleviku energiasüsteemi väljaehitamisel.

Elektri ja soojuse koostootmine võimaldab samal ajal toota elektrit ja soojust, kasutades selleks kas fossiilseid või taastuvaid kütteallikaid. Koostootmise eesmärk on kütusest saadava energia võimalikult efektiivne kasutamine, tarbijate energiavajadustest lähtuvalt. Koostootmisjaama kasutamine lokaalselt, põhilise tootmisagregaadina, võimaldab toota baasosa tarbija energiavajadusest. Koostootmine on seega sobilik ühistuliseks energiatootmiseks, keskendudes eelkõige energia säästlikkusele, keskkonnasõbralikkusele ja taskukohasusele, millest tulenevalt on antud lõputöös ka elektri ja soojuse koostootmist põhiliselt käsitletud.

Antud lõputöö eesmärk on luua teave investorile ja välja töötada lokaalse energiatootmise üldised investeerimispehõimõtted. Käsitletud on lokaalsete energiatootmise tehnoloogiaid, majanduslikku põhjendatust, õigusliku regulatsiooni oodatavaid muudatusi ning mõju ja piiritingimusi investeeringu kasumlikkuse määramiseks. Lõputöö on jaotatud kuude ossa.

Esimene peatükk antud töös käsitleb lokaalseks energiatootmiseks kasutatavaid tehnoloogiaid, nende kasutamise võimalikkust ning tehnoloogiate plusse ja miinuseid. Vaadeldud on nii sooja,- elektri- kui koostootmiseseadmeid. Ülevaade on loodud ka erinevatest kütuseliikidest, mida lokaalsel energiatootmisel on võimalik kasutada.

Teises peatükis luuakse ülevaade nõuetest ja sammudest lokaalse energiatootmiseseadme ühendamisel elektrivõrguga. Analüüsitakse energiaühistute põhjendatust, eesmarke ja võimalusi energiaühistute loomiseks. On loodud ülevaade ning analüüsitud elektri ja soojuse edastamist, tootmist ja müüki reguleerivaid seadusi antud hetkel ja tulevikus. On välja toodud seadusandluses esinevad kitsaskohad ja esitatud soovitud seadusandluse reguleerimiseks. Lisaks on loodud ülevaade toetusüsteemidest, mis lokaalset energiatootmist soodustada võivad.

Kolmandas peatükis on käsitletud lokaalset energiatootmist mõjutavad tulevikusuunad nii soojuse kui elektri tootmisel. Lisaks on välja on toodud paralleelse energiatarbimisega tekkida võivad probleemid ja võimalikud lahendused.

Neljas peatükk vaatleb koostootmisjaama (CHP) kasutatavuse võimalust lokaalsel energiatootmisel ning annab soovitusel investorile koostootmisjaama planeerimisel.

Viiendas peatükis on loodud lokaalse energiatootja planeerimise soovituslikud sammud, mille kohaselt on võimalik määratleda CHP tasuvus ja optimaalseim lahendus.

Kuuendas peatükis on leitud kriitilised piirtingimused koostootmisjaamadele, toetudes viiendas peatükis käsitletud sammudele. Piirtingimuste leidmiseks on programmis *Microsoft Excel* loodud matemaatiline mudel, mis toetub koostootmisjaamade investeerimise põhimõtetele. Piirtingimuste põhjal on võimalik määratleda koostootmiseseadme investeeringu põhjendatus enne investeeringu teostamist ja tasuvusanalüüsi koostamist. Piirtingimuste abil saab eelistada ühte tehnoloogiat teistele ja leida vastuse küsimusele: „Kas lokaalne energiatootmine on praeguses turusituatsioonis põhjendatud?” Piirtingimusi on rakendatud näidisülesandele. Piirtingimuste ja näidisülesande lahenduste põhjal on antud soovitusel investorile.

1. Hajatootmisel kasutatavad tehnoloogiad

Energia hajatootmine võimaldab soojus- ja elektrienergiat toota tarbijale lähemal, tuues endaga kaasa võimaliku kulude kokkuhoiu. Lokaalne energiatootmine detsentraliseerib eelkõige suurt elektri tsentraliseeritud tootmist. Energiat on võimalik lokaalselt toota mitmetel erinevatel viisidel – kasutades nii taastuvaid energiaallikaid kui fossiilseid kütuseid, kasutada elektri- ja soojusenergia koostootmist või hoopiski kombineerida erinevaid tehnoloogiaid omavahel, eesmärgiga leida optimaalseim energiatootmise viis olenevalt energiatarbijast. Järgnevates peatükkides on loodud ülevaade erinevatest tehnoloogiatest mida on võimalik lokaalseks energiatootmiseks kasutada.

1.1. Soojuse tootmine

1.1.1. Päikesekollektorid

Soojuse tootmiseks on võimalik hoonepõhiselt kasutada päikesekollektoreid. Päikesekollektorid on soojusvahetid, mille abil kantakse päikeselt kiirgav soojusenergia üle soojuskandjale. Päikesekollektoreid kasutatakse põhiliselt kombineeritud lahendusena mõne muu energiatootmiseseadme kõrval. Päikesekollektori suvine soojuse toodang võib olla küllaldane kogu soojustarbe ära katmiseks, kuid talvine toodang katab tihtilugu ära ainult osa vajaminevast energiast (keskmiselt kuni 5%), mistõttu on vajalik soojusenergia kätte saada teistest soojusallikatest. Päikesekollektorid paigaldatakse tavaliselt hoonete katustele, kasutades ära pinda, mis tavapäraselt jääks kasutamata. Päikesekollektor on hea variant soojuse tootmiseks näiteks õhksoojuspumpa kasutava eramaja soojusvajaduse katmiseks, vähendades küttekulusid ja seeläbi lühendades tasuvusaega. Siiski võib päikesekollektoriga toodetud soojus tekitada probleeme kaugküttevõrgus või lokaalse energiavajaduse katmiseks kasutatavate koostootmisjaamade kasutamisel, kuna laialdasel kollektorite paigaldamisel võib ära kaduda suvine soojuskoormus, mis omakorda tõstab soojuse hinda kaugküttevõrgus, või tekitab olukorra, kus koostootmisjaam peaks töötama kondensatsioonirežiimis. Lähemalt käsitletakse antud probleemi hilisemates peatükkides. Lisaks sellele võib tekkida ka probleem tipukoormuste katmisel talvel, kuna siis ei tooda päikesekollektorid küllalt soojust, et oleksid võimelised tipukoormuste soojavajaduse ära katma. Kui suvel soojatarve puudub ja talvel on see väga suur, siis on koostootmisjaam koormatud ebaühtlaselt kogu aasta vältel. [2] [3] [4]

1.1.2. Soojuspumbad

Soojuspump on seade, mille abil saab soojust üle kanda madalama temperatuuriga keskkonnast kõrgema temperatuuriga keskkonda. Tavapäraselt liigub looduses soojalt kehal soojus külmemale kehale. Tööpõhimõttelt sarnaneb soojuspump külmikule, kus soojus antakse jahutatavalt keskkonnalt väliskeskkonnale. Soojuspump võtab sooja väliskeskkonnast ja kannab selle soojendavasse keskkonda. Soojuspumpasid saab kasutada hoone kütmiseks, jahutamiseks ja tarbevee soojendamiseks. Soojuspumpasid kasutatakse, nagu ka päikesekollektoreid, tavapäraselt hoonepõhiseks soojuse tootmiseks, tihtilugu just eramajades, kus puudub tsentraliseeritud kütte võimalus. [5]

Soojuspumba valimisel tuleb arvestada köetava pinna suurust, energiakulu, hoone eripärasid (soojustatus, ventilatsiooni olemasolu) ja krunti iseloomustavaid näitajaid (pindala, asukoht, pinnas). Soojuspumbad jagunevad põhiliselt järgnevalt [6]:

- Maasoojuspump – kütteseade mis kasutab maapinda salvestunud soojust. Parim variant, kuid eeldab võimalust maa sisse torustike paigaldamiseks;
- Õhk-õhk soojuspumbad – ammutab vajaliku soojusenergia välisõhust ja annab selle edasi ruumis ringlevale õhule. Eriti sobilik ühepereelamutele, väiksematele poodidele, kontoritele ja garaazidele;
- Õhk-vesi soojuspumbad – kogub soojusenergia välisõhust ja annab selle maja vesiküttesüsteemile. Sobib hästi põhikütteks uutes majades, kus soovitakse, et püsikulu oleks võimalikult madal ja maaküte paigaldamiseks ei ole võimalust. Madalatemperatuurilise soojuskandja puhul on eelistatud hoones põranda vesiküttesüsteemi olemasolu;
- Väljatõmbeõhu soojuspumbad – võtab soojuse maja väljatõmbeõhust ja annab soojuse tarbe- ja kütteveele. Kasutamine eeldab põrandakütte või radiaatoritega veeküttesüsteemi olemasolu. Sobib väikematele (kuni 150 m²) majadele.

1.2. Elektri tootmine

1.2.1. Päikesepaneelid

Päikesepaneel (PV paneel) on seade, mis toodab päikesekiirgusest elektrienergiat. Päikesepaneele on võimalik kokku ühendada, suurendades paneelide poolt toodetavat elektrilist koguvõimsust. Päikesepaneele saab paigaldada hoonete katustele, seintele ja ka maapindadele. Päikesepaneele kasutatakse laialdaselt nii erahoonete, ärihoonete kui ka

tööstushoonete katustel elektri tootmiseks. Eestis on ka mitmeid päikeseelektrijaamu, mille võimsused on kordades suuremad ühe hoone katusele paigaldavate paneelide omadest. Päikesepaneelidega toodetud elektrienergia on taastuenergia, mis muudab selle tänu taastuenergiatoetusele veelgi atraktiivsemaks. [7]

Võiks arvata, et Eestis on päikeseenergiat nii vähe, et paneelide paigaldamine ei tasu ära. Tegelikult on päikesepaneelide kasutegur Eesti külmades tingimustes veelgi suurem, kuna PV paneelide kaod on väiksemad madalamatel temperatuuridel. Näiteks saab tuua Saksamaad, kus keskmine aastane õhutemperatuur on suurem kui Eestis, kuid aastas on rohkem päikesepaistelisi päevi. Suurem õhutemperatuur ja seega ka PV paneeli temperatuur toovad kaasa PV paneeli kasuteguri vähenemise ja seeläbi ka toodetava elektrienergia vähenemise. Samas suureneb elektritootmine vastavalt päikesekiirguse hulgale. Seega kui paigaldada Eestis ja Saksamaal samalaadne PV paneel, siis toodab antud paneel mõlema riigi puhul ligikaudu sama toodangut, kuna Eestis kasutatava PV paneeli kasutegur oleks samalaadsest Saksamaal kasutatavast paneelist suurem. [8]

PV paneelide paigaldamisel tuleb arvestada paneelide kaldenurka, mis mõjutab otseselt tootlikust. Eesti tingimustes võiks paneelide kaldenurk jääda vahemikku 30° ... 45° . Teine oluline tingimus on PV-paneelide asimuut ehk teisisõnu suund lõuna suhtes. Asimuuti määratakse sõltuvalt paneelide kaldenurgaga ning vastavalt neile suurustele püütakse maksimeerida PV-paneeli tootlikust. PV paneeli tootlikus langeb vastavalt nende kasutusajale. Eelistada tuleks seadmeid, mille tootlikusest on pärast 25 aastat säilinud vähemalt 80%. PV-süsteemide eluiga on tavaliselt 30 – 50 aastat. [5] [9]

PV-paneelide eripära on see, et 90% kogu tootlikusest toodetakse vahemikul märts – oktoober, mistõttu tuleb arvestada, et talvisel perioodil jääb elektrienergia peaaegu saamata. Samuti vähendab paneelide tootlikust ja eluiga ka ebaühtlane mustumine. Osaline PV paneeli varjestatus (2% pinnast) võib vähendada tootmisvõimsust kuni 70%. Kasutades rohkem ja väiksemaid mooduleid võib kogu päikesejaama poolt toodetud elektrienergia tootlikus väheneda protsentuaalselt vähem. PV paneeli toodetud elektrienergiat, mis ületab tarvet, saab müüa võrku või salvestada hilisemaks kasutamiseks, lühendades PV-süsteemi tasuvusaega. [9] [10]

1.2.2. Tuulikud

Tuulikud muudavad tuule kineetilise energia mehaaniliseks energiaks, mis omakorda muundatakse läbi generaatori elektrienergiaks. Tuuleenergia on taastuvenergiaallikas, tänu millele kohanduvad antud energiaressursile ka taastuvenergiatoetused. Hetke seisus on väiketuulikute investeeringukulud suhteliselt kõrged, kuid huvi kasvu tõttu võib nende hind tulevikus odavneda. Tuulikute kasutegurit mõjutab ka tuuliku kõrgus, seda eriti linnapiirkondades, kus tuulekiirust võivad takistada kõrghooned. Hetkel võib veel väita, et väiksemate tuulikute ehitamine pole tasuv, kuid tuulerikkasse asukohta paigaldatud tuulik võib end siiski ära tasuda. Tuuliku tasuvust tuleb eelnevalt analüüsida. [5]

Tõhusaimad tuulikud on horisontaalse rootoriga seadmed. Samas on väiksematel võimsustel tasub kasutada *Savonius*-rootoriga tuulikut, millel on eelis väiksematel tuulekiirustel ja toodab ka vähem müra. [10]

1.3. Koostootmine

Elektri ja soojuste koostootmine on protsess, mille käigus toodetakse ühe seadmega nii elektrit kui soojust. Eestis töötab suur osa elektrijaamu kondensatsioonirežiimil, mis tähendab, et elektrijaam toodab küll elektrit, kuid elektritootmise protsessis eralduv soojus läheb kaduma. Koostootmisel saadud soojust saab kasutada ruumide kütmiseks ja tarbevee soojendamiseks. Elektrienergiat saab edastada tarbijale või kasutada jaama omatarbeks. Põhilised CHP eelised on [11] [12]:

- Energia kasutamise tõhusus – koostootmisjaama summaarne kasutegur on keskmiselt 90%;
- Väiksem kasvuhuonegaaside heide;
- Kulude kokkuhoid – kasutades nii sooja kui elektri tootmiseks üht ja sama kütust ning tehnoloogiat, hoitakse kokku nii kütuse kui investeeringute pealt;
- Energiat on võimalik toota hajutatult, tarbijaskonna vajadustest lähtuvalt, kasutades kütuseks kohalikku kütust;
- Varustuskindluse suurenemine – kohalik ja üldine, kodumaiseid kütuseid kasutades võib vähendada imporditavast kütusest tulenevaid riske;
- Tööhõive suurendamine.

Koostootmisjaama efektiivsust on võimalik tõsta soojusakudega, mis on soojust salvestavad seadmed. Soojusakud ühtlustavad koormusgraafikut ehk siluvad tarbimise kõikumist,

võimaldades koostootmisjaamal ühtlasemal koormusel töötada. Tavaliselt on öösel külmemad ilmad ja saab ära kasutada soojusakudesse salvestunud soojust, samas saab päevasel ajal, kui soojatarve on väiksem, seda salvestada ja hoida samal ajal koostootmiseseadme ühtlast koormust. Koostootmisjaama soojusliku võimsuse tõstmiseks on võimalik kasutada suitsugaaside pesurit, mis suurendab samal ajal nii soojuslikku kasutegurit, kui vähendab saasteainete kogust suitsugaasides. Suurendades soojuslikku kasutegurit, on võimalik kokku hoida kütuse arvelt. [11]

Koostootmisjaama elektriline väljundvõimsus oleneb soojuskoormusest. Kui tekib olukord, kus soojatarve on liiga väike, siis töötab koostootmisjaam kondensatsioonirežiimil ja jaama kogukasutegur väheneb oluliselt, kuna toodetav soojus jahutatakse ning müüdavaks osutub ainult elekter. Suurte elektrijaamade puhul võib see tasuv olla, kuid lokaalsel väiketootmisel on kondensatsioonirežiim ebatasuv ja jaam tuleks seistada kulude kokkuhoiu eesmärgil. Seetõttu tulekski koostootmisjaamu kasutada piirkondades, kus terve aasta vältel on soojuse tarvet. Suvisel perioodil, kui soojatarve on väga madal või olematu, võib selleks perioodiks planeerida jaama hooldamist. [13]

Koostootmisjaama sobivuse määramiseks lokaalseks energiatootmiseks teatud piirkonnas, tuleb läbi viia tehnilis-majanduslik analüüs. Eesmärgiks on efektiivse koostootmisrežiimi saavutamine, mispuhul on ka toodetud elektrile subsiidiumid võimalikud.

Tänapäeval on kasutuses ja arendusjärgus mitmeid CHP tehnoloogiaid, mida eristab teineteisest maksumus, võimsus, kasutatav kütus, ehitus ja muud. Arendusjärgus tehnoloogiaid hetkel veel kasutada ei saa ja neid selles töös käsitlema ei hakata. [13]

Koostootmisjaama tehnoloogiaid iseloomustavad järgmised tegurid [13]:

- Kapitalikulu;
- Kasutegur nominaalvõimsusel;
- Kasuteguri muutus osalisel koormusel;
- Fikseeritud ja muutuvkulud.

Auruturbiiniga koostootmisjaam on klassikaline ehitusega CHP, mille ehitus vastavalt kütusele väga ei muutu. Jaama põhilised seadmed on aurukatel ja generaator. Kütuse põletamisel tekkivat kuumust kasutatakse aurukatla kuumutamiseks, kus tekib vajalik aur. Mida suurem on auru temperatuur ja rõhk, seda suuremat elektrilist kasutegurit on võimalik saavutada. Aur paisub aurukatlas ja paneb sealt väljudes tööle turbiini, mis muundab

mehaanilise töö elektrienergiaks. Kuuma auru kasutatakse ära ka tarbijatele soojuse edastamiseks läbi soojusvaheti. Auruturbiiniga CHP elektriline võimsus jääb piiridesse 1 kuni 500 MW. Elektriline kasutegur jääb vahemikku 9 kuni 35% ja kogukasutegur on tavaliselt suurem kui 80%. Auruturbiini töö põhineb *Rankine*'i ringprotsessil. Kui auruturbiin töötab madalamal võimsusel kui on nominaalselt ette nähtud, siis alanevad auru temperatuur ja rõhk ning selle tagajärjel väheneb elektriline võimsus. [13]

Auruturbiini eelised [14]:

- Võimalus kasutada erinevaid kütuseid;
- Pikk kasutusiga;
- Suhteliselt madalad tootmiskulud;
- Võimalus rakendada suurtel võimsuste vahemikel.

Auruturbiini negatiivseteks külgedeks võib lugeda [14]:

- Kõrged hoolduskulud;
- Spetsialistide vajadus seadmete hooldamisel;
- Madalate koormuste halb taluvus.

Gaasiturbiiniseadmed on nii maailmas kui ka Eestis laialdaselt kasutusel. Gaasiturbiiniseadme töö põhineb *Braytoni* ringprotsessil, mis on suhteliselt uus tehnoloogia. Tehnoloogia sarnaneb auruturbiinile, kuid erinevus seisneb selles, et auru asemel paneb turbiini rootori pöörlema kütuse põlemisel tekkiv kõrgerõhuline gaas. Täiendava elektrilise võimsuse saavutamiseks kasutatakse veeauru või vee sissepritsimist gaasiturbiini, mis küll omakorda vähendab kasutegurit. Soojusenergia saadakse kõrge temperatuurilise heitgaasi utiliseerimisel läbi soojusvaheti. Gaasiturbiiniseadmete elektrilised võimsused jäävad vahemikku 250 kW (mikrotrubiinidel 30 kW) kuni 480 MW. Soojust genereeritakse gaasiturbiinist väljuvate gaaside abil. Elektriline kasutegur ulatub 35%-ini ja kogukasutegur 90%-ini. Gaasiturbiiniseadmetel on madalad hoolduskulud ja lühike ehitusaeg. [14]

ORC-tsükliga (*Organic Rankine Cycle*) süsteemi erinevus auruturbiiniga seadmetest seisneb selles, et turbiini kasutatakse auru asemel suure molekulaarmassiga orgaanilist vedelikku, milleks võib olla näiteks silikoonõli või freoon. ORC-tsükliga koostootmisjaamas kasutatakse kütusena tihtilugu biomassi ja puitu. Kütuse põletamisel kuumutatakse termaalõli katelt, kust termaalõli liigub aurugeneraatorisse. Soojus kantakse üle orgaanilisele vedelikule, mis aurustub, paneb tööle auruturbiini. Orgaaniline vedelik kondenseerub ja annab läbi

soojusvaheti soojusenergia soojuse tarbijale. ORC mooduli maksumus on 25% koostootmisjaama maksumusest. Veel umbes 10 aastat tagasi oli ORC-tehnoloogia vähekasutatud, kuid selle eelised auruturbiini ees ning tehnoloogilised uuendused on selle muutnud tasuvaks kasutamisel 0,25 – 2 MW võimsusega koostootmisjaamades. Elektriline kasutegur ORC-süsteemides on 15 % (aeglane turbiini kiirus ja väike aurutemperatuur) ja kogukasutegur 85%. [11] [12] [13]

ORC-tehnoloogia eelised on [11] [12] [13]:

- Termaalõli katel töötab madalama rõhu ja temperatuuriga kui aurukatel;
- Võrreldes veeauruga, ei ole orgaaniline vedelik korrodeeriv ja kulutab vähem turbiini;
- Hoolduskulud on väiksemad kui auruseadme puhul;
- Puudub vee ettevalmistus;
- Lai koormusdiapasoon (10 – 100 %) ja kõrgem kasutegur töötamisel osalise koormusega.

Puudusteks on [11] [12] [13]:

- Vajalik kallis termaalõli tsükkel;
- Suhteliselt uus tehnoloogia, arendustöö jätkub;
- Suhteliselt suured investeeringud (madal konkurents, vähe tootjaid);
- Orgaaniline vedelik on kergelt süttiv ja võib olla mürgine.

Gaasimootorid on laialdaselt kasutusel üle kogu maailma. Kütustena kasutatakse maagaasi ja kerget kütteõli, kasutatakse ka biogaasi. Elekter toodetakse läbi generaatori, mis on ühendatud mootori külge. Gaasi põletamisel tekib soojus, mis edastatakse läbi soojusvaheti soojatarbijale. Gaasimootori võimsused jäävad vahemikku 0,1 – 1,5 MWel, peamiselt alla 1 MWel. Gaasimootori parameetrid väikestel võimsustel on paremad, kui seda on gaasitubiiniga seadmel. Gaasimootori eelised on [12] [13]:

- Kogukasutegur üle 85%;
- Kõrge elektriline kasutegur (30 – 45%);
- Suhteliselt väike gaasimootori hind;
- Tuntud tehnoloogia, rohkelt pakkujaid.

Puudusteks on [12] [13]:

- Kõrge müratase;

- Gaasimootorite eluiga sõltub gaasi kvaliteedist;
- Liikuvosade kulumine;
- Heitgaasipuhastustehnoloogiate vähene areng;
- Puhastusseadmete kõrge hind (katalüsaator).

1.4. Kütused

Selles peatükis on loodud ülevaade kütustest, mida on võimalik kasutada lokaalsel energiatootmisel. Üha enam hakatakse koostootmises kütusena kasutama biokütuseid, millele aitab kaasa riigipoolne taastuvenergia propageerimine, subsiidiumide olemasolu ja väiksem mõju keskkonnale heitgaaside näol. Mitmetes piirkondades tuleb odavam kasutada kütusena kohalikku puitu kui näiteks maagaasi.

1.4.1. Biokütused

Biokütus on energiatootmise eesmärgil kasutatav kütus, mis võib esineda nii gaasilisel, vedelal kui tahkel kujul. Biokütused sisaldavad bioloogilist päritolu koostisosi. Tahekütuse liikide alla kuuluvad rohtne mass, prügi ja puitne mass. Kõige levinumad vedelad kütused on biodiisel, biometaan ja bioetanool, mida kasutatakse transpordis. Tahke kütusena saab kasutada ka rohtset biomassi (hein, muru, niidu- ja luhataimed), põllumajandusjäägid (sõnnik, loomsed koed) ja puitset massi. Gaasilised biokütused on uttegaas, prügilagaas ja biogaas. Kui kasutada elektri tootmiseks biokütuseid, mis on toodetud taastuvast loodusvarast, siis on võimalik saada taastuvenergiatoetust. [15]

Biokütuste tootmist biomassist saab jagada kolme gruppi [16]:

- I põlvkond – suhkrul või tärklisel ja taimeõlil põhinevad kütused;
- II põlvkond – lignotselluloosil põhinevad kütused;
- III põlvkond – vetikatel põhinevad kütused.

Põhiline erinevus nende kolme põlvkonna vahel on see, et esimene põlvkond kasutab lähteainena toiduaineks sobivat biomassi, teise ja kolmanda põlvkonna omad seevastu toiduks mittesobivat biomassi lähteainena. Seega tasuks eelistada teise ja kolmanda põlvkonna tehnoloogiaid toidu ja bioenergia vahelise konkurentsi vältimiseks. [16]

Puidupõhine biomass saadakse põhiliselt toormetest, milleks on [17]:

- Raiutud puud, võsa;
- Raiutud puidu jäägid (laastud);

- Maastikuhoolduse jäägid;
- Tööstusel ülejäävad jäägid (puukoor, saepuru);
- Paberitööstuse jäägid;
- Töödeldud puitküte (hakkepuit, briketid, graanulid, pelletid);
- Pärast tarbimist ringlusse võetud puit (nt. vana mööbel).

Bioetanool on biomassist ja/või jäätmete orgaanilisest osast toodetud etanool. Bioetanooli toormeks on taimsed õlid, kasutatud õlid, loomsed rasvad, kasutatud mootoriõli ja vetikad. Bioetanooli saab valmistada peamiselt toorainetest, mis on rikkad tärklise ja suhkru poolest. Bioetanooli lisatakse tavaliselt mootorikütustele. [15] [18]

Biogaas on anaeroobse kääritamise teel saadud gaasiline kütus. Biogaasi on võimalik saada prügilatest, kogudes selleks eralduvat biometaani torustiku abil. Biogaasi saab toota jäätmetest, rohtmassist, sõnnikust jne kasutades selleks spetsiaalseid kääriteid. Biogaasi kütteväärtus jääb vahemikku 5 – 7 kWh/m³. Puhastatud biogaasist saadakse biometaani, mis on maagaasiga võrdse kütteväärtusega. Biogaasi saab kasutada koostootmisseadmetes, kus see muundatakse soojuseks ja elektriks. Kui biogaasi kasutada elektri tootmises, on võimalik saada taastuvenergiatoetust (juhul kui kasutatav biogaas on toodetud taastuvast toorainest). [19]

1.4.2. Fossiilsed kütused

Fossiilsed kütused on mittetaastuvast fossiilsest orgaanilisest ainest pärinevad kütusena kasutatavad põlevmaavarad [20].

Maagaas koosneb põhiliselt metaanist. Maagaasi saab kasutada soojuse ja elektri tootmiseks. Maagaas edastatakse tarbijale läbi maagaasi ülekandevõrgu, mida on näha joonisel 1.1. Eesti gaasisüsteem on osa regionaalsest gaasisüsteemist ja gaasiturust. Kogu tarbitav maagaas tuleb Eestisse kas Venemaalt, Lätist Inčukalnsi maagaasihoidlast või Leedust Klaipeda LNG terminalist. Viimase 10 aastaga on gaasitarbimine Eestis vähenenud ligikaudu poole võrra, kuid järgmise kümne aasta prognoos ei näe tulevikus nii järsku gaasitarbimise langust ette. Peamine maagaasi kasutusala Eestis on kaugküte (38 % tarbitavast gaasist) ja tööstus (33 % tarbitavast gaasist). Lokaalsel energiatootmisel, eriti just koostootmisel tasub maagaasi kütusena kasutamist kaaluda juhul, kui gaasivõrk asub tootmiskohale lähedal. [21] [22]



Joonis 1.1. Maagaasi ülekandevõrk [21]

Põlevkiviõli on põlevkivi orgaanilise osa termilisel lagundamisel ja õliaurude kondenseerimisel saadav vedelik. Põlevkiviõli toodetakse utmise käigus [23]. Utmise on põlevkivi kuumutamine õhu juurdepääsuta kuni 500 °C-ni. Põlevkiviõli hind on viimastel aastatel olnud umbes samal tasemel maagaasi hindadega. Põlevkiviõlile on seatud aktsiisimäärad, nagu ka teistele fossiilsetele kütustele. Põlevkiviõli kasutamine lokaalsel energiatootmisel ei loo mingeid eeliseid teiste kasutatavate kütuste ees, pigem on kasulik kasutada põlevkiviõli laevakütusena, mida aga omakorda tõkestab keskkonnanõuete karmistumine, nagu näiteks laevakütustele lubatava väevli ülempiiride vähendamine. [24] [25]

Uttegaas on põlevkivi utmisprotsessil tekkiv põletamiseks piisava kütteväärtusega gaas. Uttegaas on põlevkiviõli tootmisel saadav kõrvalprodukt. Uttegaasi transportimiseks puuduvad uttegaasi transpordiliinid, mille rajamine pole majanduslikult põhjendatud. Koostootmisjaama paiknemine uttegaasi tootmistehhi läheduses soodustab uttegaasi kasutamist. Uttegaasist pole võimalik energiat toota standardse gaasiturbiiniga, kuna uttegaas

sisaldab tahkeid osakesi ja muid kõrvalisi aineid. Uttegaasi oleks võimalik kasutada gaasimootorites, kuid see eeldab gaasi puhastamist või gaasimootorile suitsugaaside järelpuhastussüsteemi paigaldamist. Uttegaasi kasutamisel väljaspool põlevkivitöötlemise piirkonda puudub praktiline väärtus. [26] [13]

Turvas on osaliselt jagunenud taimejäänustest ja huumusest koosnev mullahorisont, mis tekib soomuldade veerohkes ning hapnikuvaeses pindmises kihis [27]. Turvas on kohalik kütus, mida on Eestis korrastamata ja mahajäetud turbarabade vormis ligi 7000 hektarit [28]. Turvas on üks põhilisemaid kütuseid maagaasi ja hakkepuidu kõrval, koostootmisagregaatides kasutamiseks [13]. Turba kasutamine lokaalselt energiatootmisel on igati põhjendatud, olles kohalik kõrge kütteväärtusega kütus. Võrreldes hakkepuiduga jääb turba põletamisel suuremal hulgal tuhka järele [13]. Täpsemad turba parameetrid on välja toodud hilisemas peatükis 5 tabelis 5.3.

2. Lokaalse energiatootmise põhjendus, takistused

Lokaalne energiatootmine on põhjendatud tahtega vähendada energiakulu ja tõsta varustuskindlust. Lokaalselt on võimalik energiat toota hoonepõhiselt, korteriühistu liikmetele või isegi tervele külale, vastavalt millele valitakse ka tootmisseadmed. Peatükis 1 käsitletud tehnoloogiaid on võimalik kasutada lokaalseks energiatootmiseks. Energia tootmiseks saab kasutada ka erinevate tehnoloogiate kombinatsioone, nagu näiteks koostootmisjaamale lisaks kasutada elektri tootmiseks ka päikesepaneele. Energiatarve on ajas muutuv, mistõttu tuleb energiasüsteem optimeerida nii, et kõik tootmisüksused oleksid optimaalselt koormatud, ega tekiks üle- või aladimensioneerimist. [29]

Lokaalsel energiatootmisel on võimalik kokku hoida nii soojuse kui elektri hinnalt. Soojusenergia hind sõltub soojuse tootmise viisist ja kaugküttevõrgu kaasaegsusest. Renoveerimata kaugküttevõrk ja amortiseerunud küttekatlad võivad endaga kaasa tuua suure kadude osakaalu soojuse edastamisel ja soojatootmisseadme vähenenud kasuteguri. Elektritootmisel tuleb rahaline kokkuhoid võrguteenuse tasu puudumisel, mida lokaalselt toodetud elektri puhul ei pea tarbija maksma, kui ta ei kasuta elektri tarbimiseks võrguettevõtja võrku. Lisaks on võimalik toodetud elektrit, elektri ülejäägil, müüa võrku ja elektri müügi pealt teenida. [29]

Tuleviku vaates mõjutavad soojuse tootmist, jaotamist ja tarbimist põhiliselt alljärgnevad tendentsid [29]:

- Energiatõhususe kasv hoonetes;
- Soojuse tootmise uuendamine:
 - Üleminek puitkütustele;
 - Ebaefektiivselt töötavates kaugküttevõrkudes minnakse üle lokaal – või kohtküttele;
- Koostootmisseadmete lisandumine sõltuvalt soojuskoormusest, tehnoloogiate areng ja uute tehnoloogiate kasutuselevõtt;
- Kaugküttesoojuse jaotamisel kasutatavate torustike renoveerimismahtude suurenemine ning soojusvõrkude arvu ning pikkuse vähenemine;
- Targa võrgu tekkimine ning energiaühistute loomine.

Järgnevat alampeatükkides vaadeldakse lokaalse energiatootja liitumise protsessi elektrivõrguga, luuakse ülevaade energiaühistutest, analüüsitakse lokaalset energiatootjat mõjutavat õigusandlust ja luuakse ülevaade toetusmehhanismidest.

2.1. Lokaalsete energiatootjate liitumine võrguga

Energiatootjate liitumist võrguga reguleerib Eesti Vabariigis „Võrgueeskiri”. Seadus seab elektrijaamadele mitmeid nõudeid, näiteks liitumistingimusi, releekaitse nõudmisi, lisaseadmete olemasolu, kooskõlastused põhi- või jaotusvõrguettevõtetega, mõõtmisseadmete olemasolu ja nõuded ning generaatoritele seatavad nõuded. Eraldi on seatud nõuded tuulikutele ja tuuleparkidele, nagu näiteks kooskõlastused võrguettevõtjatega, samuti releekaitse olemasolu, taaslülitamise nõuded, eraldusautomaatika, tuuliku kiiruse muutumise reguleeritavus ja reguleerimise kiirus, aktiivvõimsuse piiri nõue jne. Elektrituuliku paigaldamine, võrguosa ja arväärtused ning – suurused tuleb kooskõlastada võrguettevõtjaga. Alla 200 kW elektritootmisüksustele (v.a. tuulikud ja tuulepargid) on seatud nõrgemad nõuded. [30]

Lisaks on võrguettevõtja loonud ise täpsustavad nõuded elektritootja liitumisel võrguga.

Elektrilevi OÜ puhul nõuab liitumine järgmisi samme:

Elektrilevi jaotab liitumised kaheks [31]:

- a) Väiketootjad – väiketootja on kuni 200 kW võimsusega elektritootmiseseade. Liituja peab tasuma liitumiseks vajaminevate võrguehituslike investeeringute maksumuse ja kui vajalik võrku ümber ehitada, siis ka kulud mis ümberehitusel tekivad. Liitumiseks tuleb esitada taotlus ja sõlmida liitumis- ning võrguleping. Korterisse või ridaelamusse seadme paigaldamisel on tarvis korteriühistu ja omanike nõusolekut. Väiketootjal on võimalus valida Elektrilevi OÜ poolt koostatud nimekirjast tootmiseseade (lisa L.1.) või kui seda nimekirjas ei leidu, siis peavad olema täidetud järgmised nõudmised:
 - Inverteriga tootmiseseadmete puhul peab inverter vastama Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiividele 2014/35/EU ja 2014/30/EU ning omama vastavusmargist vastavalt määrusele (EC) No 765/2008;
 - Inverter või muu tootmiseseade peab vastama nõuetele Vabariigi Valitsuse määruses „Võrgueeskiri”, mille kohaselt peab seade olema varustatud järgmiste funktsioonidega: ülekoormuskaitse; liigvoolukaitse; üle-ja alapingekaitse (seadistatav vahemikus vähemalt -15%...+10% nimipingest);

sageduskaitse (seadistatav vahemikus vähemalt 47,5...52 Hz); pingeasümmeetriakaitse; võrku antav või võrgust võetav reaktiivvõimsus peab olema minimaalne, reaktiivvõimsuse lubatud kõikumine on +/- 10% nimiaktiivvõimsusest;

- Seadme nimekirja lisamise taotlemiseks tuleb Elektrilevi OÜ-le esitada järgmised andmed: seadme andmeleht; tüübikatsetuste protokollid, sertifikaadid ja/või tehase kinnitused mille alusel on tõendatud ülalkirjeldatud nõuete täitmine; lühikirjeldus inverteri või teiste nõuete täitmist tagavate lisaseadmete seadistamisest, millega tagatakse võrgueeskirja nõuete täitmine.

b) Üle 200 kW võimsusega elektritootjad – Seadme võrku ühendamisel peab tootmiseseade, selle projekteerimine, ehitus ja energia edastamise tingimused, vastama õigusaktides esitatud nõuetele. Tuleb koostada projekt ja valmishitisel tagada süsteemi nõuetekohasus. Tuleb sõlmida liitumis- ja võrguleping. Üle 5 MW tootmisvõimsusega elektrijaamad liituvad üldjuhul ülekande võrguga (Elering AS).

AS Eleringi (põhivõrguga liitumise) puhul on seotud järgnevad nõuded ja sammud on käsitletud dokumendis „Elering AS elektri põhivõrguga liitumise tingimused”, kus määratakse ära liitumistaotlusel esitavate dokumentide vajadus, tasud, nõuded seadmetele ja elektripaigaldisele, nõuded elektripaigaldise projekteerimisele, viited standarditele ja õigusaktidele ning muud vajalikud nõuded. [32]

2.2. Energiaühistud

Energiaühistu on kas asukoha põhiselt või muude ühiste huvidega seotud isikute koostegutsemise vorm, mille peamine eesmärk on toota ja jaotada oma seadmete kaudu elektrienergiat ja soojust ühistu liikmetele ja seda võimalikult odava hinnaga. [33]

Aastal 1939 tegutses Eestis 24 energiaühistut, aastal 2015 seevastu oli 2 registreeritud energiaühistut. Suurt potentsiaali energiaühistute loomisel omavad korteriühistud, kuna korteriühistu on juba kogukonda ühendav organisatsioon ja energiaühistu loomiseks on samuti vaja kogukonna algatust ja tahet. [34]

Energiaühistute eesmärgid [34]:

- Energia maksumuse vähenemine ja sõltumatus turuhinna kõikumisest;
- Elektri ja soojuste tootmine ning tarbijatele jaotamine;
- Tarbimise suunamine;

- Hoonete rekonstrueerimine ja renoveerimine;
- Energiateadlikkuse kasv;
- Ühistegevuse arendamine;
- Elamispiirkonna atraktiivsuse kasv;
- Toodangu müük võrku.

Seni on energiaühistute loomist takistanud [34]:

- Energia hind pole piisavalt kõrge;
- Maapiirkondades puuduvad vajaliku pädevuse ja initsiatiiviga inimesed;
- Puudub katuseorganisatsioon energiaühistute loomise teotamiseks (varasemalt täitis seda kohta Arengufond, mis nüüdseks on likvideeritud);
- Senised riiklikud meetmed ja seadusandlus pole energiaühistute loomist soodustanud.

Energiaühistute loomine on kõige enam tõkestatud piirkondades, kus [34]:

- Ahi – või kaminküttega elamud – puudub välja ehitatud kaugküttesüsteem nii hoones sees kui väline võrgustik, mis nõuab suuremaid kulutusi, antud juhtudel tasub kaaluda hoonepõhiseid lokaalseid tehnoloogiaid;
- Piirkonnad, kus juba toimib olemasolev kaugküte – pole küllaldast soojustarbimist.

Enim sobivad energiaühistute kontseptsiooniga kokku ORC tehnoloogial põhinevad koostootmiseseadmed, mille elektriline võimsus jääb piiridesse 1 kuni 3 MW. Koostootmiseseadmete kasutamine energiaühistute poolt suurendab ka kohalikku tööhõivet. [34]

Ühistute loomine eeldab osavõtvaid ühistu liikmeid, kellel on huvi ja usaldus projekti vastu. Energiaühistu võib hõlmata enda all mitmeid koostööd tegevaid organisatsioone – korteriühistud, mittetulundusühingud. Tihtilugu aitab energiaühistute loomisele kaasa kohalike omavalitsuste kaasalöömine ja eestvedamine. Tuleb ka taaskord tõdeda, et energiaühistu loomisele eelnevalt tuleks kohalikud hooned rekonstrueerida, mis vähendaks näiteks ühistuliselt kasutatava pelletikatla küttekulu lausa 3 korda (hoonete rekonstrueerimine toob kaasa soojavajaduse vähenemise ja installeeritava koostootmisagregaadi võimsuse ja seeläbi küttekulu vähenemise). [34]

Aastal 2013 algatati Eesti Arengufondi eesvedamisel „Energiaühistute programm”, mille eesmärk oli aidata kaasa energiaühistute loomisele, pakkuda tuge ja olla

katuseorganisatsiooniks. Kokku oldi abiks kümne energiaühistu loomisel, millest üks sai loodud, seitse olid loomisstaadiumis ja kaks loobusid. Põhilisteks takistusteks toodi välja finants- ja õigusküsimused, samuti kogukonna raskesti kaasatavust. [35]

Põhilised sihtgrupid, kellelt võiks oodata energiaühistute loomist, on [35]:

- Korteriühistud;
- Ühiskondlikud hooned, mis ei asu kaugküttepiirkonnad või asuvad madala tarbimistihedusega kaugkütte võrgupiirkondades;
- Kogukonnad;
- Väikesed vallad;
- Kinnisvara uusarendused.

Eesti õigussüsteemis pole energiaühistu mõiste reguleeritud, mistõttu puudub ülevaade energiaühistu toimimisest, keeldudest, nõuetest ja eeldustest, mida oleks vajalik teada energiaühistu tüüpi koosluse moodustamiseks, reguleerimiseks ja asutamise soodustamiseks. Samas nõuaks sellise definitsiooni loomine, reguleerimine ja teiste seadustega ühildamine, suurt ressursi ja hetkel kehtivate õiguslike regulatsioonide ümber kujundamist. [36]

Energiaühistu loomisel tuleks valida erinevate äriühingu tüüpide vahel, vastavalt energiaühistute vajadusele. Energiaühistu loomisel peab otsustama, kas energiaühistu on loodud eelkõige ärilisel eesmärgil või pigem tahe kogukondliku algatusena energiaühistu luua, vastavalt sobiks esimesele variandil äriühingu vormiks AS (aktsiaselts) või OÜ (osaühing) ja teisele variandile MTÜ (mittetulundusühistu) või tulundusühistu. Varasemate õiguslike analüüside [36] ja [37] kohaselt on parimateks äriühingu vormideks AS ja OÜ, millel on vabamad võimalused energia tootmiseks ja müümiseks.

Energiaühistu loomisel tuleks läbida järgmised sammud [37]:

- Asutamine – õigusliku vormi valik, osanike vaheline leping, põhikirja loomine;
- Konsulteerimine – konsulteerida tuleks tehniliste, finantsiliste, juriidiliste ja majanduslike asjatundjatega. Tagatised laenu korral;
- Planeerimine, keskkonnamõju hindamine – asukoha valik, asjaõiguslepingud, planeerimismenetlus, ehituslubade taotlemine;
- Finantseerimine, ehitamine ja opereerimine – tehnoloogia, elektritööd, tsiviilehitus, tegevuslubade taotlemine;

- Võrguühendused – võrguettevõtjaga lepingud, liitumislepingud tarbijatega, bilansi tagamiseks avatud tarnijaga lepingu sõlmimine;
- Elektri edastamine ja müük – müük liikmetele (mitteliikmetele), andmine võrku ja müük avatud tarnijale, puudujääva elektri võtmine võrgust ja ost avatud tarnijalt.

Kuna elektri edastamist mõjutavad mitmed seadused, siis hetkelises õigusruumis on parim viis tarbijatele elektrit edastada läbi võrguettevõtja võrgu, ehk näiteks koostootmisjaama poolt toodetud elekter müüakse otse võrku ja energiaühistu liikmed ostavad elektrit võrgust. Antud juhul pole elektritarbijatel võimalik tarbida odavamalt elektrit. [36]

2.3. Lokaalne energiatootja õigussüsteemis

Õiguslik analüüs tugineb töö koostamisel vastuvõetud seadustele. On loodud ülevaade ka tulevatest riiklikest suundadest ja eelnõudes plaanitud tegevustest lokaalse energiatootja tegevuse reguleerimiseks ja võimaldamiseks. Lokaalsele energiatootmisele aitab kaasa energiaühistu loomine, mis oleks lokaalsele energiatootmisüksusele juriidiline keha ja samas ühisus mis ühendab kogukonda ja kogukonna nägemust lokaalse energiatootmisüksuse loomiseks.

Lokaalse energiatootja ehitamist, kasutuselevõttu, energia edastamise ja müümise viisi reguleerivad mitmed seadused. Elektri ja võrku ühendamise nõudeid on kajastatud peatükk 2 punktis 2.1. Antud juhul luuakse ülevaade peamistest nõuetest ja piirangutest, mis Eesti õigussüsteemis lokaalset energiatootmist otseselt või kaudselt reguleerivad.

Tootmiseseadme ehitusel on vajalik leida kinnistu, kuhu seade paigaldada. Maa-ala on võimalik rentida, osta või tugineda seadustes reguleeritud võimalustele (näiteks hoonestusõigus). [37]

Tootmiseseadmete ja jaotusvõrgu ehitamisele eelneb planeerimismenetlus, mille alusel väljastatakse ehitusluba. Suure tõenäosusega hinnatakse planeerimismenetluses keskkonnamõjusid. Praktikas on suuremate energiaprojektide planeerimine toimunud mitte detailplaneeringute vaid teemaplaneeringutena, mille alusel on võimalik väljastada ehitusload hiljem. Selline lähenemine on otstarbekas ja aitab säästa aega ning raha. [36] [37]

Uue tootmisüksuse rajamisel tuleb arvestada kindlasti sellega, et mitmetel oludel tuleb hinnata keskkonnamõjusid, teatud juhtudel tuleb läbi viia ka keskkonnamõjude eelhindang, mis on täpsustatud määruses „Tegevusvaldkondade, mille korral tuleb anda keskkonnamõju

hindamise vajalikkuse eelhinnang, täpsustatud loetelu”. Määruses on määratud energeetika valdkonda kuuluvate tegevuste loetelu, mille kohaselt tuleb läbi viia keskkonnamõju hindamise vajalikkuse eelhinnang. Lokaalsel energiatootmisel pole võimsused tihtilugu nii suured (üle 50 MW nimivõimsusega seadmed), et oleks vajalik koostada eelhinnang, kuid eelhinnang tuleb siiski koostada tegevuste korral, mis võivad kaasa tuua olulise keskkonnamõju. [37] [38]

Elektrit edastades tuleb tagada ka elektrivarustuse kvaliteet (teeninduse nõuded, elektrivarustuse kindluse nõuded, pingekvaliteedinõuded). Elektripaigaldise ehitusel tuleks järgida „Elektriohutuseseadust” ja selle alusel kehtestatud õigusakte, tagades seeläbi elektripaigaldise ohutuse ja nõuetekohasuse.

2.3.1. Elektri edastamist ja tootmist reguleeriv seadusandlus

Elektri edastamist ja tootmist reguleerib põhiliselt seadus „Elektrituruseadus” (EITS) [39]. Kehtivad EITS-i muudetakse eelnõuga „Elektrituruseaduse ja energiamajanduse korralduse seaduse muutmise seadus 576 SE I,” mille kohaselt hakkavad muudatused põhiliselt kehtima 2019 aasta esimesest jaanuarist [40]. On analüüsitud ka eelnõus kajastatud EITS-e muudatuste mõju lokaalsele energiatootjale. Alljärgnevalt on loodud ülevaade seadusandlusest, mis lokaalset elektritootmist mõjutavad.

Elektri tootja on elektriettevõtte, kes toodab elektrienergiat ühe või mitme tootmiseseadme abil. Eesti on jaotatud teeninduspiirkondadeks ja jaotusvõrguettevõtjate teeninduspiirkonnad ei tohi kattuda. Oma piirkonnas võib võrku ja liine ehitada ning võrguteenust osutada ainult teeninduspiirkonna jaotusvõrguettevõtte, mistõttu pole lokaalsel elektritootjal võimalik ehitada eraldiseisvat jaotusvõrku tarbijatele elektri edastamiseks. [36] [39]

Elektrituruseadus soodustab **100 kW** ja sellest väiksema netovõimsusega tootmiseseadmete abil elektri tootmist ja tootja poolset müümist järgmiselt [36] [39]:

- Elektriettevõtjatele, kes toodab ja müüb temale kuuluvate kokku alla 100 kW netovõimsusega tootmiseseadmetega toodetud elektrienergiat ei ole seatud ettevõtlusvormi (AS või OÜ) ja kapitalinõudeid (aktsia- või osakapital vähemalt 31 950 eurot);
- Puudub elektrienergia tootmise loakohustus;
- Puudub elektri müügi loakohustus kui tootja müüb elektrienergiat¹;

- Ei maksustata aktsiisiga toodetud elektrienergia tarbimist või selle edastamist teisele kodutarbijale, korteriühistule või võrguettevõtjale juhul kui tootja on kodutarbija või korteriühistu;
- Kui müüja on võrguettevõtte poolt nimetud üldteenuse osutajaks, siis tuleb kooskõlastada konkurentsiametiga üldteenuse tüüptingimused.

Kui õigusliku vormina kasutada mittetulundusühingut, mis müüb ja edastab elektrienergiat oma liikmele üksnes liikme omandis või valduses oleva korteri, suvila, garaaži või eramu elektrienergiaga varustamiseks, siis [36] [39]:

- Puudub elektri müügiks vajalik loakohustus¹;
- Ei kohandata elektriettevõtjatele seatud vormi – ja kapitalinõudeid;
- Kehtib nõue edastada energiat otseliini kaudu, vajalik otseliini tegevusluba¹.

Lisaks puudub loakohustus juhul kui elektri tootja müüb elektrit elektribörsil¹ [39].

Elektrienergiat on võimalik lokaalsel energia tootjal edastada otseliini kaudu (otseliin on võrguettevõtja piirkonnas asuv liin, millel puudub eraldi võrguühendus võrguga, kuid mis võib olla võrguga kaudses ühenduses tootja või tarbija elektripaigaldise kaudu ning mis on ette nähtud elektrienergia edastamiseks ühest elektrijaamast teise või ühele tarbijale). Otseliinile kehtivad järgnevad nõuded ja piirangud [36] [37] [39]:

- Liinivaldajale kes kasutab elektri edastamiseks otseliini, ei kohaldu elektriettevõtjale seatud vormi – ja kapitalinõudeid;
- Otseliini kaudu elektrienergia edastamiseks on vajalik tegevusluba¹;
- Elektrienergia tarbijal tuleb maksta elektriaktsiisi otseliini kaudu elektrit tarbides;
- Mõõda otseliini edastatud elektrile kehtivad õigusaktides määratletud kvaliteedinõuded;
- Otseliin peab vastama otseliinile esitatud nõuetele, mis on määratletud EITS § 61-s;
- Otseliin peab olema rajatud tootja elektri jaamaga samale kinnistule või sellega piirnevale kinnistule¹;

- Otseliini rajamisel võrgulepingu muutmise vajaduse korral peab otseliini rajaja võrguettevõtjaga kokku leppima tarbimis - või tootmistingimustes või otseliini rajamisest ja tootmiseseadme võrguga ühendamisest tingitud tarbimis- või tootmistingimuste muutmises;
- Otseliini rajaja peab esitama võrguettevõtjale andmed liini suurima lubatud talitluspinge, pikkuse, geograafiliste koordinaatide, paiknemise plaani ja muude põhiliste tehniliste näitajate kohta;
- Otseliiniga ei tohi ühendada täiendavate turuosaliste paigaldisi ja otseliini tohib ühendada võrguga üksnes juhul kui otseliini omanik võõrandab otseliini võrguettevõtjale, kelle teeninduspiirkonnas otseliin on, ja annab otseliini üle selle võrguettevõtja kasutusse.

Kasutuslubadega kaasnevad ka seadustes sätestatud riigilõivud [41]:

- Elektrienergia tootmise tegevusloa riigilõiv (üle 100 kW netovõimsusega tootmiseseadmete puhul) – 160 eurot aastas;
- Elektrienergia müügi tegevusloa riigilõiv – 640 eurot aastas¹;
- Otseliini kaudu elektrienergia edastamise tegevusloa riigilõiv – 1280 eurot aastas.

Sisseviidavate muudatuse kohaselt kohaldub seadusandlus järgmiselt [40]:

- Elektriettevõtjatele seatud vormi – ja kapitalinõudeid ei kohaldata tootjale ja müüjale, kes toodab ja müüb temale kuuluvate kokku alla **200 kW** netovõimsusega tootmiseseadmete abil toodetud elektrienergiat;
- Lisaks ei kohaldata elektriettevõtjale seatud vormi – ja kapitalinõudeid elektrienergia müügil tarbija poolt kui elektrienergia on tarbijale edastatud otseliini kaudu ja on toodetud kokku alla **200 kW** netovõimsusega tootmiseseadmete abil;
- Ettevõtjal pole elektrienergia müügil vajalik tegevusluba;

¹ - antud punktid muudetakse või muudetakse kehtetuks eelnõuga „Elektriturseaduse ja energiamajanduse korralduse seaduse muutmise seadus”

1. Ettevõtjal peab olema tegevusluba otseliini või otseliinide kaudu elektrienergia edastamiseks välja arvatud juhul kui elektrienergiat edastatakse otseliini kaudu ning see otseliin on ühendatud kuni **500 kW** netovõimsusega tootmiseseadmega;
2. Otseliini on võimalik rajada tootja elektrihaamaga samale kinnistule, sellega piirnevale kinnistule või tootmiseseadmest kuni kuue kilomeetri kaugusel paikneva tarbijani (võib rajada mujale juhul kui võrguettevõtja, kelle teeninduspiirkonda otseliini ehitamist kavandatakse, annab otseliini ehitamiseks ja kasutamiseks oma kirjaliku nõusoleku);
3. Mitme otseliini rajamiseks on vajalik üks otseliini kasutamise luba, ülejäänud otseliinid kantakse tegevusloa kõrvaltingimustesse [42].

Üldiselt saab öelda, et aastal 2018 kehtiv seadusandlus ei soosi väiksemate energiatootjate ja energiaühistute turule tulekut, luues karmid piirangud elektri edastamiseks ja elektrivõrgu ehitamiseks. 2019 aastal kehtima hakkav seadusandlus seevastu on leebem väikese tootmisvõimsusega seadmetega elektrit tootvate ettevõtete suhtes.

„Elektrituruseaduse ja energiamajanduse korralduse seaduse muutmise seadus 576 SE,“ eelnõu soodustab lokaalsete energiatootjate turule tulekut. Kui aastal 2018 on vajalik otseliini kasutusluba igal juhul, olenemata edastatava võimsuse suuruselt, siis alates 2019 aastast on seatud tootmiseseadme netovõimsuse piirmääraks 500 kW ja pole enam vajalik igale otseliinile eraldi tegevusluba hankida, jätkub ühest. Antud muudatused on head just väikese võimsusega energiatootjale, kellel varasemalt ei tasunud otseliini ehitamine ära suure otseliini kasutamise riigilõivu tõttu.

Tähtis muudatus on ka otseliinile seatud nõudmiste muutus, kuna aastast 2019 on võimalik toota energiat tootmiseseadmega kaugel tarbimispunktist. Lisaks on võimalik võrguettevõtjaga kokkuleppel ehitada veelgi pikemat otseliini.

2.3.2. Soojuse edastamist ja tootmist reguleeriv seadusandlus

Soojuse edastamist ja tootmist reguleerib põhiliselt kaugkütteseadus (KKütS).

Tarbija ostab soojust võrguettevõtjalt, kelle võrguga tema valduses olev tarbijapaigaldis on ühendatud, lisaks võib tarbija lisaks kaugküttevõrgust saadavale soojusele osta ka kütusevabadest ja taastuvatest allikatest muundatud soojusenergiat selle tootjatelt. Kütusevabad taastuvad allikad on (KKütS § 8 lg 1 kohaselt) [36] [43]:

- päikeseenergia ja sellest muundatud soojusenergia;
- tuuleenergia ja sellest muundatud soojusenergia;
- maasoojus ja sellest muundatud soojusenergia, kasutades selleks taastuvallikaist valmistatud elektrienergiat;
- hoones kasutatud ja sealt eralduv soojus (ventilatsioon, kanalisatsioon) ning sellest muundatud soojusenergia, kasutades selleks taastuvallikaist muundatud elektrienergiat.

Konkurentsiametiga peab kooskõlastama müüdava soojuse piirhinna igale võrgupiirkonnale eraldi soojusettevõtja, kes [36] [43]:

- müüb soojust tarbijale;
- müüd soojust võrguettevõtjale edasimüügiks tarbijale;
- toodab soojust elektri ja soojuse koostootmise protsessis.

Kui soojuse edastamine ja müük toimub tarbija paigaldise piires, ehk kaugküttevõrgust eraldatult, siis pole tarvis kooskõlastada soojuse piirhinda [36].

Soojuse tootmiseks, jaotamiseks ja müümiseks on vajalik tegevusluba välja arvatud juhtudel kui (KKütS § 9 lg 2) [43]:

- soojuse tootmisel tootmise prognoositav maht aastas ei ületa 50 000 MWh ettevõtja kohta või ettevõtja ei tooda soojust elektri ja soojuse koostootmise protsessis;
- soojuse jaotamisel prognoositav maht ei ületa 50 000 MWh ettevõtja kohta;
- soojuse müümisel, kui prognoositav maht aastas ei ületa 50 000 MWh ettevõtja kohta;
- soojuse müümisel, kui soojusettevõtja ei tooda soojust elektri ja soojuse koostootmise protsessis;
- kui isik müüb soojust ainult oma liikmetele, rentnikele või üürnikele ning selline müük ei ole tema põhitegevus ja toimub ühe kinnistu või vallasasjaks oleva ehitise ja selle teenindamiseks vajaliku maa piires – seega pole tarvis tegevusluba näiteks korterelamu piires soojuse edastamiseks.

Soojuse ja elektri koostootmisel on tarvis tegevusluba soojuse tootmiseks ja müümiseks. Lisaks peab tegevusloa taotlemiseks ettevõtte olema äriregistrisse kantud või asutamisel olev aktsiaselts (AS) või osäühing (OÜ), kellel on tehnilised võimalused ja vajaliku oskusega personal tegutsemiseks taotluses märgitud tegevusalal. [36] [37] [43] kas siin erandit ei ole

Riigilõiv tegevusloa eest soojuse müügiks, jaotamiseks ja tootmiseks üle 50 000 MWh aastas 260 eurot iga kehtivusaasta eest. Aastas üle 50 000 MWh soojust müüva soojusettevõtja aktsia- või osakapital peab olema vähemalt 31 950 eurot. [41]

Kaugküttepiirkonnas tohib ehitise soojusega varustamiseks kasutada reeglina vaid kaugkütet. Muid soojusega varustamise allikaid kasutada ning võrguga ühendatud tarbijapaigaldist võrgust eraldada tohib kaugküttepiirkonnas vaid kohaliku omavalitsuse volikogu määratud tingimustel ja korras. [36] [43]

Soojuse tootmine kaugküttevõrku müügiks saab toimuda ainult juhul kui tekib vajadus uute tootmisvõimsuste järele või lepingute sõlmimiseks on võrguettevõtjale saadetud mitu kirjalikku sooviavaldust, mille korral võrguettevõtja korraldab lepingu sõlmimiseks konkursi. Võrguettevõtja peab küll võimalusel eelistama antud juhul taastuvatest energiaallikatest toodetud soojust või valdavalt tõhusa koostootmise režiimis taastuvatest energiaallikatest, jäätmetest jäätmeseaduse tähenduses, turbast või põlevkivitöötlemise uttegaasist toodetud soojust ning parimat olemasolevat keskkonnasäästlikku tehnoloogiat, kuid kohustust selleks pole. Seetõttu on soojatootmiseseadme paigaldamine toimivasse kaugküttevõrku raskendatud. [36] [37] [43]

Kaugkütteseadus ei sea soojuse tootmisele, edastamisele ja müümisele nii karmi piiranguid kui seda teeb EITS elektri tootmise, edastamise ja müügi puhul. Piiratud müügi mahuga soojatootjatele on ettenähtud piisavalt leevendusi ja väikeste katlamajade tekkimine on võimalik. Kuid soojuse ja elektri koostootjatele kaugkütteseaduses ettenähtud leevendused ei kohaldu, see praktiliselt väldib lokaalsete koostootmisjaamade ja – kaugküttevõrkude tekke. Seadusandlus on loonud karmimad nõuded koostootmisagregaadiga soojuse toomisele, nõudes riigilõivu maksmist ja tegevusluba olenemata koostootmisjaama müüdavast soojuse hulgast. Sellegipoolest julgeb lõputöö koostaja väita, et aastas 260 eurot maksev tegevusluba ei takista koostootmisjaamade teket.

Kõige suurem piirang, on nõue koostootmisjaama tegevusloa saamiseks. Tegevusluba taotlev ettevõtte peab olema aktsiaselts (AS) või osäühing (OÜ). Seetõttu ei saa koostootmisjaamaga soojust toota mittetulundusühing (MTÜ). Antud juhul ei ole võimalik energiaühistul luua

MTÜ-d soojuse tootmiseks ning luua tuleb AS või OÜ. Seega ettevõtte toodab ja müüb nii elektrit kui sooja. Elektri edastamiseks oma tarbijatele tasub seevastu luua MTÜ, vältides vormi- ja kapitalinõudeid. Seega kui luua üks ettevõtte nii soojuse kui elektri tootmiseks, edastamiseks ja müügiks ning ettevõttele kehtivad maksimaalsed nõuded, siis tuleb AS või OÜ aktsia- või osakapitaliga 31 950 eurot, lisaks on vajalikud nõutud tegevusload.

Nõuded ja piirangud on lihtsustatult esitletud tabelis 2.1. Saab järeldada, et äriühingut, mis toodab nii sooja kui elektrit oma liikmetele, on võimalik luua ainult juhul, kui elektrit ja sooja toodetakse eraldi tootmisüksustega ning elektri puhul jääb summaarne tootmiseseadme võimsus alla 200 kW ja sooja tootmiseseadme puhul aastane prognoositav soojuse toodang alla 50 000 MWh.

Tabel 2.1. Elektri- ja soojustootjale esitatud nõuded koondatult (eeldavate muudatustega)

Elektritootja	Nõuded
Kuni 200 kW tootmiseseade	<ul style="list-style-type: none"> Nõuded puuduvad
Üle 200 kW tootmiseseade	<ul style="list-style-type: none"> Otseliini tegevusluba (üle 500 kW tootmiseseadme puhul) Ettevõtluse vormi nõue, AS või OÜ Tootmise tegevusluba Aktsia- või osakapital 31 950 €
Soojustootja	Nõuded
Prognoositav soojuse tootmise, müügi, jaotamise maht kuni 50 000 MWh/a	<ul style="list-style-type: none"> Tegevusload pole vajalikud Puudub aktsia- või osakapitali nõue
	<ul style="list-style-type: none"> Puudub vormi nõue
Prognoositav soojuse tootmise, müügi, jaotamise maht üle 50 000 MWh/a	<ul style="list-style-type: none"> Tegevusluba soojuse jaotamiseks, müügiks, tootmiseks. Vormi nõue, AS või OÜ
	<ul style="list-style-type: none"> Aktsia- või osakapital 31 950 €
Koostootmine	<ul style="list-style-type: none"> Tegevusluba soojuse jaotamiseks, müügiks, tootmiseks. Ettevõtluse vormi nõue, AS või OÜ

Tabelist 2.1 lähtuvalt tuleb kuni 200 kW koostootmiseseadmele hankida tegevusluba soojuse jaotamiseks, müügiks ja tootmiseks ning õigusliku vormina kasutada AS-i või OÜ-d, muid piiranguid ja nõudeid ei esine.

2.4. Ettepanekud seadusandluse muudatusteks

Selles osas esitab töö koostaja ettepanekud seaduste muudatusteks. Ettepanekud:

- Võimaldada väiketootjal otseliiniga müüa elektrienergiat oma liikmetele või energiaühistule. Kõrvaldada piirang, et otseliiniga tohib müüa elektrienergiat vaid ühele tarbijale;
- Vähendada või kõrvaldada otseliini kasutusloa riigilõivu maksumus väiketootjale. Võimalik oleks eristada riigilõivu maksumust vastavalt edastatava elektrienergia prognoosile. Näiteks: Otseliini kasutusloa riigilõiv jaguneb järgmiselt: prognoositav aastane edastatav energiahulk kuni 10 000 kWh/a – aktsiisimäär 100 €/aastas; prognoositav aastane edastatav energiahulk rohkem kui 10 000 kWh/a – aktsiisimäär 1280 €/a;
- Kuni 500 kW tootmisvõimsusega koostootmiseseadmega soojuse tootmisel, müügil ja edastamisel ei kohaldata äriühingu, tegevusloa ja riigilõivu nõuet. Kohaldada koostootmisel vähemalt samavõrdne regulatsioon kui katlamajas soojatootmisel;
- Defineerida energiaühistu mõiste anda talle õiguslik alus.

Ettepaneku rakendumisel on võimalik MTÜ-l toota väikekoostootmiseseadmega elektrit ja sooja oma liikmetele ja edastada otseliini kaudu.

Esitatud ettepanekute eesmärk on lihtsustada ja edendada lokaalsete energiatootjate tekkimist, eelkõige väiksemates asulates ja piirkondades, millel on kasutamata taastuvenergia või koostootmise potentsiaal.

Ettepaneku eesmärk on edendada väiketootjate ja energiaühistute loomist.

2.5. Toetussüsteem

Riik on loonud toetusmeetmed energiamajanduse arengukava eesmärkide saavutamiseks. Toetuste maksmine avaldab positiivset mõju nii majandusele kui keskkonnale. Toetused kiirendavad tehnoloogiate kasutuselevõttu, elavdavad majandust, loovad uusi töökohti, parandavad eluolu, vähendavad energiatarvet, vähendavad keskkonnamõjusid ja aitavad arendada uusi energiasäästlike tehnoloogiaid, mille algusfaasis arendamine ei tunduks ilma toetuseta kuigi atraktiivne.

Lokaalset energiatootmist on võimalik rahastada taastuvenergia jaoks riigi poole loodud subsiidiumitega. Taastuvenergia toetust makstakse elektrienergia eest, mis on toodetud taastuvatest energiaallikatest, koostootmise režiimil biomassist või tõhusa koostootmise režiimil. Toetuste maksmist reguleerib elektrituruseadus, eelkõige elektriseaduse § 59.

Elektrituruseaduse § 59 seab järgmised piirangud, eeldused ja toetusmäärad [39]:

- Tootjal on õigus põhivõrguettevõtjalt saada toetust taastuvast energiallikast tootmiseseadmega, mille netovõimsus ei ületa 100 MW – toetusmäär seejuures on **0,0537 €/kWh**;
- Alates 2010. aasta 1. juulist elektrienergia eest, kui elektrienergia on toodetud biomassist koostootmise režiimil v.a. juhul, kui biomassist toodetakse elektrienergiat kondensatsioonirežiimil – toetusmäär seejuures on **0,0537 €/kWh**,
- Elektrienergia eest, kui elektrienergia on toodetud tõhusa koostoomise režiimil jäätmetest (jäätmeseaduse tähendusel), turbast või põlevkivitöötlemise uttegaasist – toetusmäär seejuures on **0,032 €/kWh**;
- Elektrienergia eest, kui elektrienergia on toodetud tõhusa koostootmise režiimil tootmiseseadmega, mille elektriline võimsus ei ületa 10 MW – toetusmäär seejuures on **0,032 €/kWh**;
- Elektrienergia on toodetud tõhusa koostootmise režiimil taastuvast energiallikast või turbast – toetusmäär seejuures on **0,0537 €/kWh**.

Ülal välja toodud toetuste saamist on veel reguleeritud järgnevate tingimustega [39]:

- Elektrienergia peab olema toodetud seadusega „Elektrituruseadus” ja määrusega „Võrgueeskiri” seatud nõuetele vastava koostootmiseseadmega;
- Tootja peab täitma seaduse „Elektrituruseadus” peatükki number neli „Bilansiarvestus, bilansi selgitamine ja bilansienergia” ja §-s 58 sätestatud kohustusi.

Toetust ei saa [39]:

- Kui tuuleenergiast elektrienergia tootjale on riik maksnud sama tootmiseseadme eest investeeringutoetust;
- Kui puuduvad elektrienergia tootmiseks vajalikud keskkonnaloa või tootja rikub keskkonnalubadega sätestatud tingimusi;
- Elektrienergia eest, mis on toodetud elektriijaama omatarbeks.

Toetuse saamiseks tuleb esitada tootmiseks kasutatud seadmete andmed, toetuse saamiseks õigusaktides ettenähtud andmed ning elektrienergia päritolu selgitamiseks vajalikud põhivõrguettevõtja kehtestatud andmed, kui elektrienergia päritolu ja kogust ei ole võimalik üheselt määrata. Tuult energiallikana kasutatav tootja võib saada toetust seni kuni

kalendriaastas on makstud Eestis kokku 600 GWh tuuleenergiast toodetud elektrienergia eest. [39]

Allpool on välja toodud toetusi jagavad asutused ning mõned hetkel aktiivsed toetused. Toetusi jagatakse vastavalt ajakavale ja eelarvele. Lisaks allpool toodule jagab toetusi vahel ka Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Amet (PRIA). [44]

Keskkonnainvesteeringute keskus (KIK) pakub aeg-ajalt investeeringutoetusi koostootmise ja lokaalseadmete paigaldamiseks. KIK jagab toetusi vastavalt määrusele „Majandus- ja tarituministri 06.01.2016 määrus nr 3,“ mille kohaselt on põhilised toetatavad tegevused soojustorustike renoveerimine, soojuse tootmise seadme renoveerimine (kõik kütused lubatud), uue kaugküttesüsteemi rajamine ja lokaalkütet kasutava hoone tarbijapaigaldise ühendamine olemasoleva võrguga. [45]

Antud hetkel pakub KIK järgmiseid toetusi [46]:

- Keskkonnainvesteeringute Keskuse (KIK) annab toetust soojusmajanduse arengukavade koostamiseks või kaasajastamiseks. Toetust saavad taotleda kohalikud omavalitsused, kelle territooriumil oleva võrgupiirkonna kohta soojusmajanduse arengukava kinnitatakse;
- KIK jagab toetust lokaalküttele ülemineku korral. Toetuse eesmärk on hoone kütmise efektiivsuse suurendamine. Taotleda saavad hoone omanikust juriidilised isikud ja soojusettevõtjad. – Antud toetust jagatakse hoonepõhisele lokaalküttele üleminekul;
- Toetus uue kaugküttesüsteemi rajamiseks. Hüvitatakse kuni 50 % projekti kuludest. Toetust saab taotleda soojusettevõtja kaugkütteseaduse tähenduses, kohaliku omavalitsuse üksus või kohaliku omavalitsuse üksusele kuuluv äriühing;
- Toetus soojustorustiku renoveerimiseks. Hüvitatakse kuni 50 % projekti kuludest. Toetust saab taotleda soojusettevõtja kaugkütteseaduse tähenduses, kohaliku omavalitsuse üksus või kohaliku omavalitsuse üksusele kuuluv äriühing.

Sihtasutus KredEx pakub toetusi antud juhtudel [47]:

- Korterühistule pakutavad toetused on:
 - Rekonstrueerimise toetus – korterelamu tervikliku rekonstrueerimise jaoks jagatav toetus (toetust makstakse 15 %, 25 % või 40 %-i ulatuses rekonstrueerimistööde maksumusest, sõltuvalt rekonstrueerimise terviklikkuse tasemest).

- Päikesepaneelide paigaldamise toetus – saab taotled avalikõiguslik ja eraõiguslik juriidiline isik. Toetuse määr on kuni 30 %, maksimaalselt 30 000 eurot.

3. Tuleviku probleemid ja lahendused

3.1. Paralleelne soojuse tarve

Paralleeltarbimine on olukord, kus kaugküttevõrgus olev soojustarbija lisaks kaugküttevõrgule tarbib soojust ka teistest lokaalsetest allikatest. Üha rohkem hakkavad tarbijad kasutama lokaalküttelahendusi ning paralleeltarbimine kasvab. Kaugküttevõrkudes tagab sellise olukorra soojuse tootmiseks kasutatavad kallid fossiilkütused, mis tõstavad soojahinna küllalt kõrgele, et tarbijal tasub hakata mõtlema lokaalsetele kütteseadmetele, millega on võimalik sooja peale kuluvaid kulusid kärpida. Olukorrale aitab ka kaasa riigi toetuspoliitika, mille eesmärk on vähendada hoonete soojustarvet ja seda läbi toetuste. Mida suuremal määral on plaan korter renoveerida, seda suuremad on toetused. Uuring „The Impact of Alternative Heat Supply Options on CO₂ Emission and District Heating System” on leidnud, et hoone renoveerimise ja ventilatsiooniõhu taaskasutamise tulemusena tarbib vanem korterelamu 35% vähem sooja kaugküttevõrgust. Kaugküttevõrkude planeerimisel tegelikult juba arvestatakse hoonete renoveerimisega vähenevat soojatarvet, kuid probleeme võivad tekitada alternatiivsed soojusallikad, mis kaugküttevõrgu jätkusuutlikust negatiivselt mõjutavad. Antud probleem võib tekkida ka lokaalsel koostootmisel väikeses külapirkonnas. [48] [49]

Soojuse nõudlus väheneb juhul kui suureneb hoonete energiatõhusus, mistõttu tuleks uue süsteemi välja ehitamisel arvestada võimalikku soojustarve vähenemist või tuleks eelnevalt uue süsteemi välja ehitamisele panna rõhku vanemate hoonete renoveerimisele, läbi mille väheneks investeeringukulu ja arvestatud oleks soojatarve perspektiiv tulevikus. Alati on võimalik süsteemi agregate juurde ehitada hilisemate investeeringute kaudu juhul, kui tarbimine kasvab, kuid üledimensioneerimine esmase investeeringuga võib vähendada soojuse, elektri või koostootmise tasuvust tulevasele tarbijale või investorile, pikema tasuvusaja ja suurema kulu tõttu. [48] [49]

Paralleelne soojatarve võib kaasa tuua järgmise probleemid [48] [49]:

- Võrgukadude osakaal suureneb, kuna kaugkütte ettevõtja peab suutma tarbijale soojust pakkuda igal juhul – olgu tarve suur või väike. Selle tõttu suurenevad ülekandekaod. Kaugkütteturget on mahuturget, suurem tootmismahut vähendab toodanguühiku hinda. Kaugkütte ettevõtte peab suutma pakkuda soojust talvistel tipuaegadel ja samas peab tagama soojavarustuse ka suvel – mis aga ei pruugi olla

reaalne või on väga kallis. Kaugkütte soojuse hinna tõus omakorda paneb tarbijat jällegi rohkem mõtlema odavamate alternatiivide peale, mis kaugkütte ettevõttele jällegi negatiivelt mõjuvad;

- Tsentraliseeritud tootmisüksuste efektiivsus väheneb madalama soojuse vajaduse tõttu ja majanduslikult pole mõtet enam neid üksusi töös hoida. Kui soojuse tarbimine väheneb alla seadme minimaalse võimsuse piiri, siis pole võimalik seadet töös hoida ja tuleb leida alternatiiv soojuse tootmiseks madalal tarbimisel;
- Talvine soojusetaarve jääb samaks, kuid suvine soojuse tarve võib langeda väga madalale või jääda olematuks, kuna kogu vajalik soojus saadakse soojuspumpadest või päikesekollektoritest. Sellisel juhul peab suvisel ajal CHP töötama kondensatsioonirežiimis, mis selle summaarset kasutegurit vähendab;
- CHP-d peavad suure osa tööajast töötama osalisel koormusel, mistõttu väheneb energiatootmise kasutegur;
- Energia müügil teenitav kasum väheneb, suurendades energia edastamise ja tarbijale müüdava energia maksumust;
- Soojuspumpade kaudu soojuse tootmisel suureneb elektrienergia tarve, mis omakorda suurendab energiasektori saasteainete heidet;
- Tsentraliseeritud toodetud energia tagajärjel tekib vähem saasteaineid, kuna sellistele tootmisüksustele on karmimad nõuded keskkonna säästmise eesmärgil seatud. Üksikute hoonepõhiste tootmisüksuste kasutamisel suureneb saasteainete hulk õhus nõrgema regulatsiooni tõttu.

Ülal välja toodud negatiivsed mõjud võivad viia jätkusuutmatu ja majanduslikult ebatõhusa kaugküttesüsteemi kasutuseeni.

Võimalike negatiivsete mõjude vähendamiseks tuleb probleeme ette näha ja nende mõju vähendada või kõrvaldada juba kaugküttesüsteemi projekteerimise protsessis. On loodud erinevaid meetodeid paralleelse soojustarve mõju kaugkütte süsteemile ette nägemiseks ja simuleerimiseks või modelleerimiseks. Kui kaugküttesüsteemi projekteerimise faasis näha ette tulevikuperspektiivset elektri- ja soojusetaarvet, on võimalik välja ehitada süsteem, mis olenemata paralleelse soojusetaarve suurenemisest suudab opereerida tasuvas režiimis. [48] [49]

Kui kaugküttesüsteem on välja ehitatud enne paralleeltarbimise probleemi tekkimist, siis on võimalik kasutada järgnevaid lahendusi negatiivsete mõjude vältimiseks või leevendamiseks [48] [49]:

- Mitmekomponendiline hind – kui võtta kasutusele kaugküttevõrgu püsitasu, nagu elektri puhul jaotusvõrgus, on soojusehind stabiilsem ning kliendil pole mõtet paigaldada soojaseadmeid, mis ära ei tasu. Võimalik on ühe osana soojuse maksumusest arvestada ka vooluhulka ehk temperatuuride vahet. Antud tariifide tulemusena makstakse madala kaugkütte tarbimise, kuid kõrge paigaldatud soojussõlme võimsusega paralleeltarbimisega hoones ühe tarbitud MWh eest kõrgemat hinda, kui hoones, mille ainsaks soojusallikaks on kaugküte [50]. Mitmekomponendilise hinna rakendamisel tarbijale jaotub soojuse kulu aasta lõikes ühtlasemalt. Lisaks on maailmas kasutatud suvise soojuse ülejäägi korral hinna alandamist, et kajastada soojuse pakkumise ja nõudluse tegelikku vahekorda erinevatel aastaegadel;
- Hoonete soojusvarustuse tehniliste lahenduste rakendamine – tuleb valida kaugküttevõrgule kõige vähem negatiivset mõju osutav lahendus, näiteks võib kasutada energiatõhusas kaugkütte piirkonnas päikesekollektorite asemel päikesepaneele elektri tootmiseks.

3.2. Soojustootja tulevik

Eestis on laialdaselt kasutusel kolmanda põlvkonna kaugküte. Soojust edastatakse rõhu all, soojuskandja temperatuur jääb seejuures tavaliselt alla 100 °C. Tarbijad saavad soojusenergia läbi radiaatorite, kus soojuskandja temperatuur jääb 70 °C juurde. Kolmandat põlvkonda iseloomustab ka kaugkütte sidumine koostootmisjaamadega. Kütuseks on hakatud kasutama gaasi, biomassi ja prügi. [51]

Tulevikus võetakse kasutusele neljanda põlvkonna kaugküte, mida iseloomustab efektiivsus ja paindlikus eelkõige kolmanda põlvkonna ees. Neljanda põlvkonna kaugkütet iseloomustavad järgnevad põhimõtted [51] [52] [53]:

- Madala temperatuuriga soojuskandja (30 – 70 °C) – tekivad uued madala soojuskandjaga soojusallikad, juba kasutusel olevaid madalal soojuskandjaga soojusallikaid (päikeseseenergiaga toodetav soojus) saab integreerida soojusvõrku;
- Soojuse jaotamine madalate kadudega;

- Koostootmise efektiivistamine, kombineeritud süsteemide edasiareng – biomassi kasutatavate koostootmisjaamade rakendamine;
- Taastuvate energiaallikate kasutamine, soojuse taaskasutamine;
- Materjalide säästlik kasutatavus;
- Integreeritus elektrivõrguga ja gaasivõrguga läbi targa energiasüsteemi (targast energiasüsteemist saab lugeda lähemalt järgmises peatükis).

Tulevik näeb kütuste osas ette fossiilkütuste kasutamise vähenemist ja taastuvate energiaallikate osakaalu suurenemist. Eelkõige mõjutab sellist suunda kütuseaktsiiside tõus, taastuvate energiaallikate toetamine subsiidiumitega ja keskkonnanõuete karmistumise tagajärjel suurenevad saastetasumäärad. Mõju avaldavad ka fossiilsete kütuste koostisosadele seatavad piirmäärad, mille tagajärjel tuleb kütuse tootmisel kasutada kallimaid tehnoloogiasid, mis omakorda toob kaasa fossiilsete kütuste hinna tõusu. [52]

3.3. Tarkvõrgu rakendused

Lokaalsete energiatootjate laialdane kasutamine toob endaga kaasa võrgu detsentraliseeritusse, mis omakorda toob endaga kaasa võrgu stabiilsusega seotud probleemid ja mõju elektrikvaliteedile. Detsentraliseeritud ja ebaühtlane tootmine võib endaga kaasa tuua suured kulud ja probleemid nii jaotus- kui ülekandevõrgus. Probleemide vältimiseks tuleb võrku kaasajastada ja luua tarku seadmeid, mis suudavad reageerida võrgus toimuvatele muutustele, seega tuleb luua tark elektrivõrk. [54]

Tarkvõrgu visioon näeb ette praeguse elektrivõrgu täiustamist moodsa energiatehnoloogiaga ning digitaalsete info-, mõõte- ja juhtimissüsteemide integreerimist elektrivõrguga. Tarkvõrk ühendab elektritootjad, -edastajad, -arveldajad, -tarbijad ja seadmeteenindajad elektri- ja andmesidevõrgu kaudu ühtsesse süsteemi, tagades nende kõigi vahel kahesuunalise digitaalse andmeside ning kahesuunalise energiavoo. Tänu sellele saab rakendada energia ulatuslikku hajatootmist, optimeerida energiakasutust, vähendada kulusid ning suurendada töökindlust ja energia ostu-müügitehingute läbipaistvust. Tarkvõrk peab olema reguleeritud süsteem, kus elektri baasvõimsusena kasutatakse hajatootmise üksusi, mis igapäevaselt töös on. Tootjate tegevuse määrab turusituatsioon (tootja toodab kui on vaja energiat toota). [55]

Lahendused ühele targale linnale oleksid järgmised [29]:

- Soojuse ja elektri koostootmine, kütusteks biokütused ja jäätmed;
- Jääksoojuse ära kasutamine (serverid, reovesi, tööstused);

- Kaugjahutus koos vabajahutusega;
- Soojuse ja elektri salvestus;
- Energiakasutuse optimeerimine;
- Geotermaalenergia;
- Päikeseenergia;
- Elektritransport ja vastav infrastruktuur;
- Targa kodu lahendused.

Eesti pikaajalise energiamajanduse arengukava kohaselt on eesmärk soodustada energia hajatootmist ning energiaühistute teket, astudes esimene samm detsentraliseeritud energiatootmise poole, luues seekaudu vajaduse töötada välja tehnoloogiaid ja uuendusi elektrivõrkude kaasajastamiseks, mis loob tee tarkvõrgu tekkimiseni. [1]

4. CHP konkurentsivõime Eestis ja kasutatavus lokaalsel energiatootmisel

Koostootmise potentsiaal Eestis suuremates linnades on ammendunud, jääb võimalus lokaalsete energiatootmisüksuste rajamiseks. Majanduslikud ja tehnilised eeldused koostootmise kasutamiseks Eestis on [56]:

- Linnades ja suuremates asulates on toimiv kaugküttevõrk;
- Kohalik tööstus on suhteliselt energiamahukas;
- Gaaskütuse ja arenenud gaasivõrgustiku olemasolu;
- Biokütuste võimalik kasutatavus;
- Elektritarbimise kasv regioonis, investeeringute ja tehnoloogia uuenduste vajadus olemasolevates kondensatsioonjaamades;
- Suurenevad nõuded keskkonnale.

Eestis suurimatesse linnadesse on ehitatud mitmeid hakkepuitu ja turvast kütusena kasutavaid CHP jaamu. Suurimad koostootmisjaamad on ehitatud kasutades vasturõhu auruturbiini. Auruturbiini kasutamine CHP jaamas on klassikaline lahendus, kuid väiksemate kaugküttevõrkude puhul on auruturbiini kasutamine vähemefektiivsem kui mõned muud koostootmise tehnoloogiad. [56]

On mitmeid CHP tehnoloogiaid, mida on võimalik väikesemõõdulises süsteemis kasutada, kuid mitte kõik neist ei ole majanduslikult ja tehniliselt tasuvad. Kõigepealt tuleks vaadelda tehnoloogiaid, millele esineb turgu, nagu näiteks auruturbiini, aurumootori, gaasimootori ja orgaanilise *Rankeine'i* ringprotsessi (ORC) tehnoloogiad. CHP tasuvuse arvutamiseks on tarvis teada jaama käidukulusid, kasutegurit ja hinda. Sobivaima tehnoloogia leidmiseks on vajalik koostada tehnilis-majanduslik analüüs. CHP jaama tasuvuse arvutamist on vaadeldud täpsemalt hilisemates peatükkides. [56]

4.1. Kütte ja jahutuse võimalused Eestis

Soojust kasutatakse põhiliselt hoonete sisetemperatuuri reguleerimiseks või sisendina tööstuses tehnoloogiliste protsesside käigus hoidmiseks. Eesti ligikaudne aastane soojuse toodang on 9000 GWh, millest tarbijateni jõuab 89 % ja ülejäänud 11 % moodustavad kaod soojusvõrkudes. Kaugkütte aastane tarbimismaht on 4,6 TWh, kuid järgmise 10 aasta jooksul

prognoositakse tarbimise mahu vähenemist, tulenevalt hoonete renoveerimisest ja trasside rekonstrueerimisest. Keskmise toodangu vähenemine katlamajas on eeldatavalt 35 %. [44]

ORC-tüüpi koostootmisjaamu tasub paigaldada väiksematesse asulatesse ja piirkondadesse, kus vajalik soojusvõimsus jääb alla 10 MW. ORC-tüüpi koostootmisjaamadel on ka lai koormusdiapasoon, mis võimaldab seda töös hoida ka suvistel perioodidel. Lisaks on sel kõrge kasutegur ja väikesed hoolduskulud. [44]

Uued koostootmisjaamad tasub paigaldada piirkondadesse, milleks on [44]:

- Uued kinnisvara arenduspiirkonnad – õigesti valitud koostootmisüksus tõstab uusarenduse piirkonna väärtust ja atraktiivsust kliendi silmis;
- Uued energiamahukad ettevõtted – sellistel ettevõtetel tasub kindlasti ära sooja ja elektri lokaalne koostootmine tuleviku mõttes. Õigesti valitud koostootmisüksus võib ära tasuda vähem kui 10 aastaga;
- Koostootmisjaamad suuremates hoonetes (haiglad, SPA-d, ujulad) – sellised hooned on reeglina kõrge energiavajadusega aastaringselt ja lokaalse hoonepõhise koostootmisjaama esitamine, eriti veel kaugkütte võimaluse puudumisel, tasub kindlasti ära;
- Olemasolevad kaugküttevõrgud – olemasolevad kaugküttevõrgud saab vajadusel rekonstrueerida ja võtta soojatootjana kasutusele koostootmisjaam kulude kokkuhoiu ja soojusehinna vähendamise eesmärgil.

Eelkõige tasub kindlasti enne koostootmisjaama ja kaugküttevõrgu ehitamist või rekonstrueerimist panna põhirõhk esialgu hoonete renoveerimisele, saades nii teada täpsemat soojusvajadust ja hoides kokku soojuse genereerimiseks vajamineva koostootmistehnoloogia investeerimiskuludelt ja vältides seega üledimensioneerimist [48]. Sellisel viisil luuakse kindlasti efektiivne lahendus.

Kui renoveerimise käigus paigaldada soojussõlmedesse termoventiilid, siis on võimalik alandada soojuskanda temperatuuri ja hoida kokku kadusid soojustorustikes umbes 2 %. Madalama temperatuuriga soojuskandja edastamine eeldab ka väiksemat kütusekulu. Renoveerides soojustorustikke on võimalik soojuskadusid torustikes vähendada 52 kuni 57 %. Kasutades kohalikus koostootmisjaamas ka kohaliku taastuvat kütust, toetatakse lisaks veel kohalikku majandust ja suurendatakse tööhõivet kohalikul tasemel. [44]

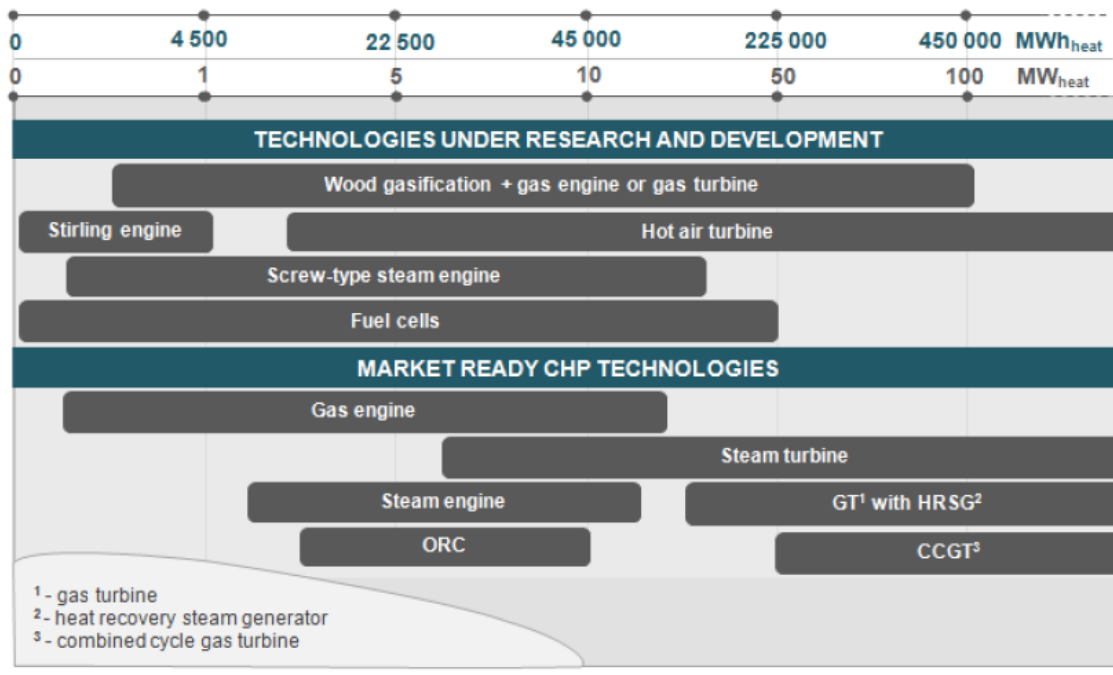
Väiksemasse piirkonda lokaalse koostootmisjaama ehitamist tasub kaaluda juhul kui [44]:

- Piirkonna kaugküte pole jätkusuutlik;
- Uuendamata on soojustrassid;
- Soojuse müük jääb madalamale tasemele;
- On võimalus omavahel ühendada kaugküttevõrke koostootmise potentsiaali suurendamiseks.

Lisaks arvestada järgmiste asjaoludega [44];

- Soojusvõrguga ühendamistingimused;
- Alajaama lähedus - otseliin on tarvis ehitada juhul kui toimub elektri tootmine otse võrku;
- Vajaliku maa-ala olemasolu;
- Maagaasil töötava koostootmisjaama lähedus maagaasi võrgustikule;
- Vajalike kütuste transpordiks ligipääsuteed koostootmisjaamani.

Joonisel 4.1 on kirjanduses esitletud koostootmistehnoloogiate turul kasutamise võimalus ja optimaalne võimsuste vahemik [13]. Joonis toob välja tehnoloogiad kahte rühma - joonise ülemises osas tehnoloogiad, mis on uurimis- ja arengujärgus, alumises osas tehnoloogiad, mida on võimalik koostootmiseks kasutada. Tehnoloogiad on pandud soojuskoormuse teljele, mis näitab millises soojuskoormuse vahemikus antud tehnoloogiaid kasutada võiks ja saaks. Joonise põhjal saab järeldada, et põhilised CHP tehnoloogiad, mida hajatootmises hetkel kasutada saab, on gaasimootoriga CHP, aurumootoriga CHP, aurutrubiiin ja ORC tehnoloogial põhinev CHP. Antud tehnoloogiaid on selles töös edaspidi ka käsitletud. Joonise põhjal saab järeldada, et gaasimootoril põhinevat koostootmisjaama saab on võimalik kasutada 1000 MWh kuni 135 000 MWh-ise aastase soojustarve korral. CHP soojuslik võimsus jääb seejuures vahemikku 100 kW kuni 20 MW. Joonise abil on soojuskoormuse järgi võimalik valida sobivaim tehnoloogia vajaliku soojuskoormuse katmiseks.



Joonis 4.1. Koostootmisseadmete töövahemik [13]

5. Lokaalse energiatootja planeerimine CHP näitel

Peatükis on kokku pandud sammud lokaalse energiatootja planeerimisel koostootmisjaama näitel. Näide on koostatud koostootmisjaamale, kuna koostootmisjaam nõuab erinevate osapoolte tõttu suurimat planeerimist. Esitletud põhimõtte põhjal on võimalik leida tasuvused ka teiste antud lõputöös käsitletud tehnoloogiate kasutusele võtul. Juhis CHP tasuvuse määramiseks on kokku pandud mitmete kirjanduslike allikate ning antud lõputöös juba käsitletud teemade põhjal.

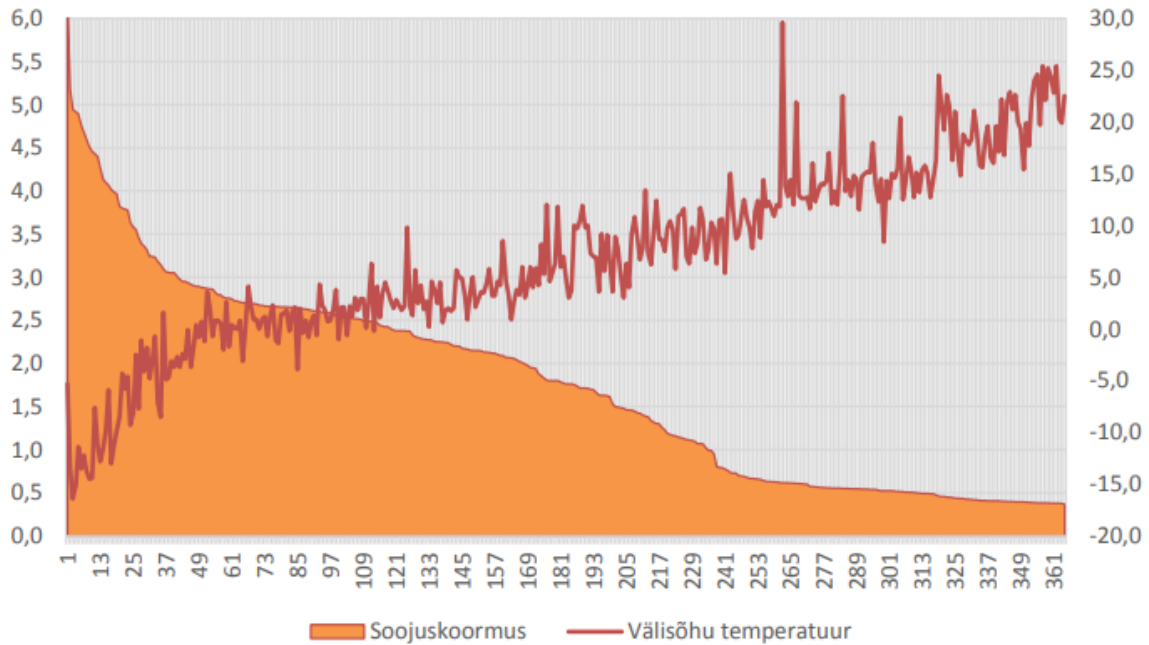
5.1. Koormusgraafik

Koostootmisjaama puhul tuleb jaama võimsus eelkõige valida soojuse tarbimise järgi, mis tavaliselt võetakse ajalooliste andmete põhjal. Arvestada tuleb:

- Tuleb määrata projekti kestvuse aeg - projekti kestvuseks võib määrata 15 aastat (varasemates uuringutes tihtilugu kasutusel [57]);
- Soojuskaod – keskmiselt on Eestis kaugküttevõrkude soojuskaod 20 %; Kliima soojenemisest tulenev soojuskoormuse vähenemine – kirjanduses on leitud selleks 0,5 % aastas [58];
- Koostootmisjaam tuleks planeerida baasvõimsusele, tagades sellega koostootmisjaama töötamise ühtlus, tipukoormused tuleks tagada teiste seadmetega (nt. soojuspatareid), tuleks vältida kondensatsioonirežiimil töötamist, kuna seetõttu vähenevad sissetulekud ja pole võimalik saada tõhusa koostootmise toetust;
- Tuleb leida projekti igal aastal tarbitav soojusvõimsus ja kogu projekti vältel tarbitav võimsus;
- Arvestada tuleks ka elektri koormusgraafikut, et leida parim soojuse ja elektri koostootmise suhe, mis kataks ära kogu soojatarbimise ja võimalikult suure osa elektri tarbimisest.

Tüüpiline tarbija koormusgraafik on toodud joonisel 5.1 (x-teljel on kujutatud päevade arvu, vasakpoolsel y-teljel koormust (MW) ja parempoolsel y-teljel õhutemperatuuri °C). Antud pildil on näha Laagri katlamaja koormusgraafikut [59]. On näha, et talvine tipukoormus on väga kõrge ja suvine soojuskoormus jällegi madal. Antud juhul tasuks baaskoormusele paigaldada koostootmisjaam (näiteks hakkpuidul töötav jaam). Kuna suvine koormus on väga madal, siis ei tasu koostootmisjaama käitada ning talviti jääb koostootmisjaama võimsusest

puudu. Soojuse puudujääk tuleks katta mõne muu seadmega (näiteks gaasikatel, soojusakud - kui suvel koostootmisjaam seisab, siis on võimalik gaasikatelt käivitada, ORC jaama koormusvahemik oleks küllalt suur, et ka suvel töötada).



Joonis 5.1. Laagri katlamaja koormusgraafik (x-teljel päevade arv, vasakpoolsel y-teljel koormus (MW), parempoolsel y-teljel õhutemperatuur) [59]

5.2. Koostootmisjaama parameetrid

Koostootmisjaama valik oleneb aastasest soojuse koormusgraafikust. Kuna koostootmisjaam on kasulik planeerida baaskoormusele, siis tuleb leida viisid ka tipukoormuse täitmiseks. Tuleb ka jälgida suvist soojuskoormust, mille põhjal otsustada, kas koostootmisjaam suvise soojuskoormuse juures seisatakse või see jätkab tööd. Tehnoloogiate valikul on vajalikud järgnevad parameetrid [56]:

- Koostootmisjaama võimsus – koostootmisjaam peab olema küllalt suure võimsusega, et toota tarbimisele vastavat energiat;
- Koostootmisjaama kasutegurid soojuse ja elektri tootmise korral – kasulik on valida suurima kasuteguriga seadmed;
- Aastane koormatus tundides – koostootmisjaama tasuvus on sõltuvuses selle aastasest koormatusest, mida enam tunde koostootmisjaama aastas koormatakse, seda lühem on jaama tasuvusaeg ning madalam energia hind;

- Minimaalne koormus mille puhul jaam jätkab tööd ning jaama soojusliku ja elektrilise kasuteguri sõltuvus sellest;
- Tehnoloogia valik – kaaluda võib põhiliste laialdasemalt kasutatavate tehnoloogiate vahel, nagu näiteks aurugeneraator, auruturbiin, gaasigeneraator ja ORC tsüklil töötav koostootmisjaam;
- Tipukoormuste katmisel eraldi seadmega tuleb arvestada lisainvesteeringuga.

5.3. Kütused ja tuhatöötlus

Koostootmisjaama tasuvuse leidmisel tuleb arvestada kütuse valikut. Jälgida tasuks järgnevaid punkte [56]:

- kütuse maksumus;
- kütuse kättesaadavus;
- kütuse hinna prognoos – kütuste hindu saab prognoosida mineviku hinnatõusude põhjal;
- kütuse põletamisel tekkivad kõrvalsaadused (saasteained ja tuhk) ja nende töötlemine;
- kütteväärtus.

Põhilised kütused mida koostootmisel kütusena kasutatakse on maagaas, hakkepuit ja turvas [13]. Turba ja töötlemata puidu põletamisel tekkinud lendtuha töötlemise maksumus koos käibemaksuga on 76,20 €/tonn, koospõletamisel tekkinud lendtuha töötlemise hind 76,20 €/tonn vastavalt ja koldetuha, räbu ja katlatolmu töötlemise hind koos käibemaksuga 76,20 €/tonn Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus AS hinnakirjale [60]. Sellest tulenevalt hakkepuidu ühe MWh põletamisel saadud tuha hind on 1,15 €/MWh ja hakkepuidul 0,32 €/MWh.

Tabel 5.1. Kütuste parameetrid [13] [61]

Kütus	Maagaas ²	Hakkepuut	Turvas
Kütteväärtus [MWh/t]	0,0093	2,4	3,3
Hind [€/MWh]	47	12,8	11,7
Tuhatöötluskulu [€/MWh]	0	0,32	1,15
Tuha hulk [%]	0	1	5
Heitekogused [t/MWh]			
Süsinikdioksiid, CO ₂	0,201	0	0,374
Vääveldioksiid, SO ₂	0	0	0,00072
Lämmastikoksiidid, NO _x	0,00022	0,00036	0,0011
Süsinikoksiid, CO	0,00014	0,00072	0,00036
Tahked osakesed	0	0,00025	0,00029
Lenduvad orgaanilised osakesed	0,000014	0,00017	0,00036
Raskemetallid ja nende ühendid	0	0,000000104	0,00000028

Põletusseadmest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguseid määratakse arvutuslikult määruse „Põletusseadmetest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramise kord ja määramismeetodid” järgi. Keskkonnatasude määrad saasteainete välisõhu viimisel on näha tabelis. Puidu kui taastuvkütuse põletamisel ei arvestata saastetasu CO₂-e atmosfääri paiskamise eest. [62] [63]

Tabel 5.2. Saastetasude määrad [62]

Saastekulud	[€/t]
Süsinikdioksiid, CO ₂	2
Vääveldioksiid, SO ₂	122,32
Lämmastikoksiidid, NO _x	145,46
Süsinikoksiid, CO	7,7
Tahked osakesed	146,16
Lenduvad orgaanilised osakesed	122,32
Raskemetallid ja nende ühendid	1278

² AS Gaasivõrgud gaasihind, milles sisaldub käibemaks, aktsiis, gaasi hind ja võrguteenuse hind. [61] [72]

5.4. Hooldus – ja käidukulud

Kuludesse tuleb arvestada ka analüüsitava tehnoloogia korral hooldus – ja käidukulusid. Hooldus – ja käidukulud on jaotatud muutuvateks ja fikseeritud kuludeks. Hooldus – ja käidukulud sisaldavad igapäevaseid kulusid, nagu näiteks tööjõukulud, hoonete ülalpidamiskulud, tehnoloogia hoolduskulud. Koostootmisjaama pidev hooldamine pikendab jaama eluiga ja kasutegurit. Tihtilugu on tootja poolt antud kulud määratletud, olles sõltuvuses tootmisagregaadi töötundide arvust. Hooldus – ja käidukulude puudumise puhul on võimalik kasutada kirjandusest leitud üldisi väärtusi, mis on näha lisas L.3 tabelis L.3.1. Tabelis on esitletud nii fikseeritud kui muutuvkulud vastavalt tehnoloogiale ja koostootmisjaama võimsusele. [13]

5.5. Rahastus

Tihtilugu tuleb katta koostootmisagregaadi ja võrgu ehitusest tulenevad kulud laenuga, mille tagasimakseid tuleb koostootmisjaama tasuvuse arvutamisel arvestada. Laenu kasutades, pikeneb tasuvusaeg, kuid tihtilugu on laenu võtmine tasuv kui puudub kapital investeeringu teostamiseks või firma puhul pole tark otsus panna suur hulk raha kinni investeeringu alla. Mida lühema ajaga on võimalik laen tagasi maksta, seda väiksem on laenusumma ja tagasimakse pangale. Laenusumma tagasimaksmisel tuleb arvestada, et esimestel aastatel on väljaminekud suuremad ning rahalist tasu oodata ei saa. Tagasimaksed tulevad teenitavast tulust ning säästudest, mistõttu esimestel aastatel kasumit teenida pole võimalik. Kulud ja tulud tuleb jaotada nii, et kulud saaksid kaetud. [57]

Võimalik on kasutada anuiteetlaenu ehk igal perioodil tuleb pangale tagasi maksta võrdne summa. Perioodiks võib olla aasta misjuhul tuleks näiteks viie aastase laenuperioodi puhul sooritada 5 makset (aastas ühe korra). [57] [64]

Aastamaksete teadasaamiseks saab kasutada valemit [57]:

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5.1)$$

Kus P – investeeringu suurus;

i – intressimäär;

n – laenu periood.

5.6. Toetused

Koostootmisjaama tasuvuse arvutamisel saab arvestada ka toetusi, mille abil saab vähendada toodetud energia hinda ja lühendada projekti tasuvusaega. Toetused on suunatud energia – ja keskkonnasäästlike tehnoloogiate toetamiseks. Toetuste suuruseid ja samme toetuse saamiseks on kajastatud täpsemalt peatükis 2.4. Tõhusa koostootmise toetuse saamiseks tuleb arvestada järgnevaid nõudeid (määruse „Soojus- ja elektrienergia tõhusa koostootmise nõuded” põhjal) [65]:

- Koostootmisjaama üldkasutegur peab olema vähemalt 80 % (kombineeritud tsükliga gaasiturbiin koos utilisaatorkatlaga, vaheltvõttudega auruturbiin) ja primaarenergia sääst (PES) peab olema vähemalt 10 % võrreldes soojuse ja elektri eraldi tootmisega;
- Koostootmisjaama üldkasutegur peab olema vähemalt 75 % (vasturõhuauruturbiin, gaasiturbiin koos utilisaatorkatlaga, sise põlemismootor, mikroturbiin, *Stirling*-mootor, kütuseelement) ja primaarenergia sääst (PES) peab olema vähemalt 10 %;
- Primaarenergia sääst (PES) peab olema vähemalt 10 % (aurumootor, ORC, muu tehnoloogia või tehnoloogiate kombinatsioon, mis vastab koostootmise mõistele);
- Väikekoostootmiseseadmetel (elektriline võimsus alla 1 megavati) ja mikrokoostootmiseseadmetel (elektriline võimsus alla 50 kilovati), kui on tagatud valem 5.2 põhjal primaarenergia sääst;

Primaarenergia sääst (PES) leitakse valemiga 5.2 [65]:

$$PES = \left\{ 1 - \frac{1}{\frac{CHP_{H\eta}}{REF_{H\eta}} + \frac{CHP_{E\eta}}{REF_{E\eta}}} \right\} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

Kus $CHP_{H\eta}$ – kasuliku soojuse kasutegur (viimase 12 kuu kasuliku soojuse toodang jagatud kütuseenergiaga, mis kulus kasuliku soojuse ja elektri koostootmiseks [58]);

$REF_{H\eta}$ – soojuse eraldi tootmise viiteväärtus;

$CHP_{E\eta}$ – koostoodetud elektrienergia kasutegur (koostoodetud elektrienergia viimase 12 kuu kogus jagatud kütuseenergiaga, mis kulus kasuliku soojuse ja elektri koostootmiseks [58]);

$REF_{E\eta}$ – elektrienergia eraldi tootmise viiteväärtus.

Viiteväärtused on leitavad määruse „Soojus- ja elektrienergia tohuse koostootmise nõuded” lisas 1 ja lisas 2 [65].

5.7. Energia müük

Elektrienergia müügilt saadava tulu suuruseks tuleb leida vaadeldava aja jooksul müüdava elektrikoguse hulk ja vastav elektri turuhind, mis 2018 aasta nelja kuu keskmiseks on tulnud 42 EUR/MWh [66]. Arvutades elektrienergia hinda tuleviku vaates, tuleb seda ette prognoosida. Elektrienergia puhul saab arvestada ka elektrienergia säästu ehk elektrienergiat, mida tootmisagregaat kasutab omatarbeks. Sääst tarbijale, kui elektrienergiat tarbitakse otseliini mööda, tuleneb sellest, et tarbija ei pea maksma võrguettevõttele võrguteenuse hinda.

Soojust müüakse soojuse tarbijale. Õiguslikus analüüsis (ptk 2.3.2) selgus, et soojuse müügihind tuleb kooskõlastada Konkurentsiametiga, mis on näiteks vana kaugküttepiirkonna puhul juba tehtud. Kui arvutuslik soojuse hind jääb madalamaks kui vana kaugküttepiirkonna kinnitatud hind, siis tasub kaaluda lokaalse energiatootja ehitust.

Kasulik on ette prognoosida nii elektri kui sooja tarbimist. Tarbimise prognoosimiseks tuleb ette näha hoonete renoveerimist ja rekonstrueerimist, et vältida paralleeltarvet ja üledimensioneerimist. Täpsemalt on paralleelse soojustarbe ohtudest kirjutatud peatükis 3.1.

5.8. Tasuvuse arvutamine

Koostootmisjaama tasuvuse arvutusel tuleb arvestada kõiki tulusid ja kulusid. Tulud ja kulud on näha tabelis 5.3. Tabelisse on kulud ja tulud välja toodud üldiselt. Kuludele saab luua kolm põhilist ülemüksust: tootmisagregaadi kulud, elektrivõrgu kulud, soojavõrgu kulud, olenevalt kui ulatuslik lahendus on planeeritud.

Tabel 5.3. Lokaalse energiatootja (CHP) kulud ja tulud

Tootmine, sooja ülekanne, elektri ülekanne		Tulud
Kulud		
Kapitalikulud	Muutuvkulud	
Seadmete maksumused	Kütuse hind	Soojuse müük
Load ja kooskõlastused	Aktsiis, riigilõiv	Elektri müük
Ehitus	Saastekulud	Toetused
Projektijuhtimine, load, kooskõlastused	Tuha käitlemis kulu	
Hoolduskulud		
Laenu tagasimakse		

Ehituslike kuludena tuleb arvestada järgnevaid kulusid [67]:

- Tootmiseseadme maksumus;
- Paigaldus, torustikud, elektrisüsteem;
- Hoone ehitus;
- Kütuse ladu;
- Otseliini ehituse kulud;
- Maa ost (muutuvkulu kui maad renditakse);
- Soojusvõrgu ehitamine/vana võrgu renoveerimine.

Vajalik on küsida hinnapakkumisi kõigile seadmetele ja ehitusele, tuleb uurida mis muudatusi on vaja teha elektrivõrgus ja mis on muudatuste maksumus.

5.9. Majanduslikud arvutused

Majandusanalüüs on tasub teostada kulude analüüsi metoodika alusel. Analüüsida tuleks kulude muutumist baasvariandiga võrreldes. Majandusarvutuste tulemusena tuleb arvutada järgmised suurused [57] [58] [63]:

- soojuse hind pärast investeringut;
- aastane kasum/kahjum pärast investeringut;
- Vaba rahavoog (FCFF);
- Vabade rahavoogude väärtus (FCFE);
- lihtne tasuvusaeg.

Kasutades kogutud andmeid tuleb arvutada soojuse hind pärast investeringut. Kõige lihtsam selleks on arvutada kokku aastased kulud ning jagada need aastase toodanguga (valem 5.3). Arvutatud hinnast saab maha arvutada toetused elektrienergiale. Saadavat soojuse hinda tuleb võrrelda varasema soojuse hinnaga, et leida kas tasub kulude kokkuhoiu eesmärgil investering ette võtta. Aastased kulud sisaldavad kõiki kulusid, mis energia tootmisega kaasnevad (ka panga tagasimakset).

$$\text{Soojuse hind} = \frac{\text{Aastased kulud (€)}}{\text{Aastane toodang (MWh)}} \quad (5.3)$$

Vabade rahavoogude nüüdispuhasväärtus (FCFF) mõõdab kui palju kasumit genereeritakse pärast kulude maha arvamist, avaldub (selle arvelt saab maksta dividende, intresse ja teenindada laene [68]):

$$FCFF = Tulud - Kulud \quad (5.4)$$

Vabade rahavoogude väärtus (FCFE) sarnaneb vabade rahavoogude nüüdispuhasväärtusele, kuid lisaks on maha arvatud maksed pangale (ettevõtte poolt teenitav rahavoog, mida võib määratleda kui potentsiaalset dividendi aktsionäridele [68]):

$$FCFE = Tulud - Kulud - Panga tagasimakse \quad (5.5)$$

Tasuvusaeg – aastate arv, mis kulub algse raha väljavoo katmiseks rahavoogudega. Kui tasuvusaeg jääb oodatud vahemikku, siis on projekt aktsepteeritav, vastasel juhul mitte. Tasuvusaeg avaldub: [57] [63]

$$-P + \sum_{k=1}^T F_k = 0 \quad (5.6)$$

Kus P – alginvesteering;

F_k – iga aasta resulteeriv rahavoog;

T – tasuvusaeg, mil algmaksumus on tasutud sissetulekutega.

Majandusarvutuste põhjal saab määrata projekti tasuvust. Kui peale majandusarvutusi selgub, et projekt pole tasuv, siis tuleb kas projekti sisse viia muudatused, või tuleb projekt jätta teostamata.

6. Kriitilised piirtingimused

6.1. Kriitiliste piirtingimuste leidmine

Antud peatükis on kirjandusest leitud andmete põhjal teostatud analüüs kriitiliste piirtingimuste leidmiseks. Piirtingimused on leitud koostootmisseadmete paigaldamiseks, lähtudes peatükis 5 esitletud sammudest. Analüüsitud on nelja erinevat koostootmisseadme tüüpi ja teostatud majandusarvutused projektide tasuvuse hindamiseks. Kriitiliste piirtingimuste eesmärgiks on määratleda ära koostootmisjaama tehnoloogiate tasuvus kaudsel vaatlemisel.

Majanduslikud ja tasuvuse arvutused koostati tabelis 6.1 nähtavatele tehnoloogiatele [13]. Tabelis on näha põhilisi andmeid uuritavate tehnoloogiate kohta. Analüüs on läbi viidud programmis *Microsoft Excel*, loodud on matemaatiline mudel. Analüüsi tabel on jaotatud kolme ossa ja on leitav lisades L1, L2 ja L3. Saadud tulemuste põhjal on leitud piirtingimused erinevate tehnoloogiate kasutamiseks. Tasuvust on vaadeldud kahel tingimusel:

- 1) Investeeringu maksumus tuleb katta investeerijal;
- 2) Investeering on kaetud 50 %-i ulatuses investeeringutoetusega.

Tabel 6.1. Koostootmisseadmete parameetrid

Tehnoloogia	Elektriline võimsus	Soojuslik võimsus	Kasutegur (%)		Kütus	Investeeringukulu
	[MW]	[MW]	Elektriline	Kogu		[M€/MWe]
Aurumootor	0,1	0,84	9	85	puiduhake	9
	0,1	0,84	9	85	turvas	9
	0,5	3,04	12	85	puiduhake	7
	0,5	3,04	12	85	turvas	7
	1	5,07	14	85	puiduhake	5
	1	5,07	14	85	turvas	5
	5	25,36	14	85	puiduhake	3,8
	5	25,36	14	85	turvas	3,8
	10	50,71	14	85	puiduhake	3,8
	10	50,71	14	85	turvas	3,8
Aurutrubiiin	0,1	0,84	9	85	puiduhake	9
	0,1	0,84	9	85	turvas	9
	0,5	3,04	12	85	puiduhake	7,7
	0,5	3,04	12	85	turvas	7,7
	1	4,31	16	85	puiduhake	5
	1	4,31	16	85	turvas	5
	5	16,25	20	85	puiduhake	4
	5	16,25	20	85	turvas	4
	10	24,00	25	85	puiduhake	3,3
	10	24,00	25	85	turvas	3,3
Gaasimootor	0,1	0,18	30	85	maagaas	1,3
	0,5	0,83	32	85	maagaas	1,2
	1	1,36	36	85	maagaas	0,8
	5	5,90	39	85	maagaas	0,7
	10	11,25	40	85	maagaas	0,7
ORC	0,1	0,55	13	85	puiduhake	7
	0,1	0,55	13	85	turvas	7
	0,5	2,54	14	85	puiduhake	5,8
	0,5	2,54	14	85	turvas	5,8
	1	4,67	15	85	puiduhake	4,5
	1	4,67	15	85	turvas	4,5
	5	21,56	16	85	puiduhake	3,5
	5	21,56	16	85	turvas	3,5
	10	43,13	16	85	puiduhake	2,9
	10	43,13	16	85	turvas	2,9

Kriitilisi piirtingimusi on vaadeldud tehnoloogiatel, mis osutuvad tasuvaks järgnevatel tingimustel:

- Aastane tööaeg 8760 tundi;

- Uurimiseks peab toodetud energia hind jääma alla piiri 80 €/MWh (keskmine soojuse piirhind Lääne-Harjumaal on 70 €/MWh [69], mis on üks Eesti kõrgemaid soojuse hindu, põhjalikkuse eesmärgil on kaalutud ka hinda 80 €/MWh), tasuvaks on määratud tehnoloogia energia omahinnaga alla 70 €/MWh;
- Elektri maksumuseks on määratud 80 €/MWh (lõputöö koostaja hinnangul on selline hind küllalt atraktiivne projekti teostamiseks, kuna tavatarbija lõpphind küündib arvutuste põhjal umbkaudu 120 €/MWh juurde, arvestamata käibemaksu; elektri maksumuseks on määratud maksimaalne atraktiivne piirhind, kuna elektri hinna tõstmisel väheneb toodetava soojuse omahind ja on võimalik määratleda minimaalsed soojuse hinnad);
- Investeeringu tasuvusaeg peab jääma madalamale projekti kestvuse ajast, mis antud juhul on 15 aastat;
- Projekt peab olema võimeline tootma kasumit esimesel aastal, kuna energiaühikul peab olema võimalik tasuda tekkivate kulude maksumus (makstes pangale lühema perioodi vältel laenu tagasi, on võimalik kasumit suurendada, kuna lühem tagasimakse aeg vähendab tagasimaksete suurust pangale, kuid tagasimaksed tuleb tihtilugu teostada olemasolevatest rahadest, mida energiaühikul olla ei pruugi, mistõttu pole seda varianti selles töös kaalutud);
- Projekt toodab kasumit.

Lisatingimused ja täpsustused:

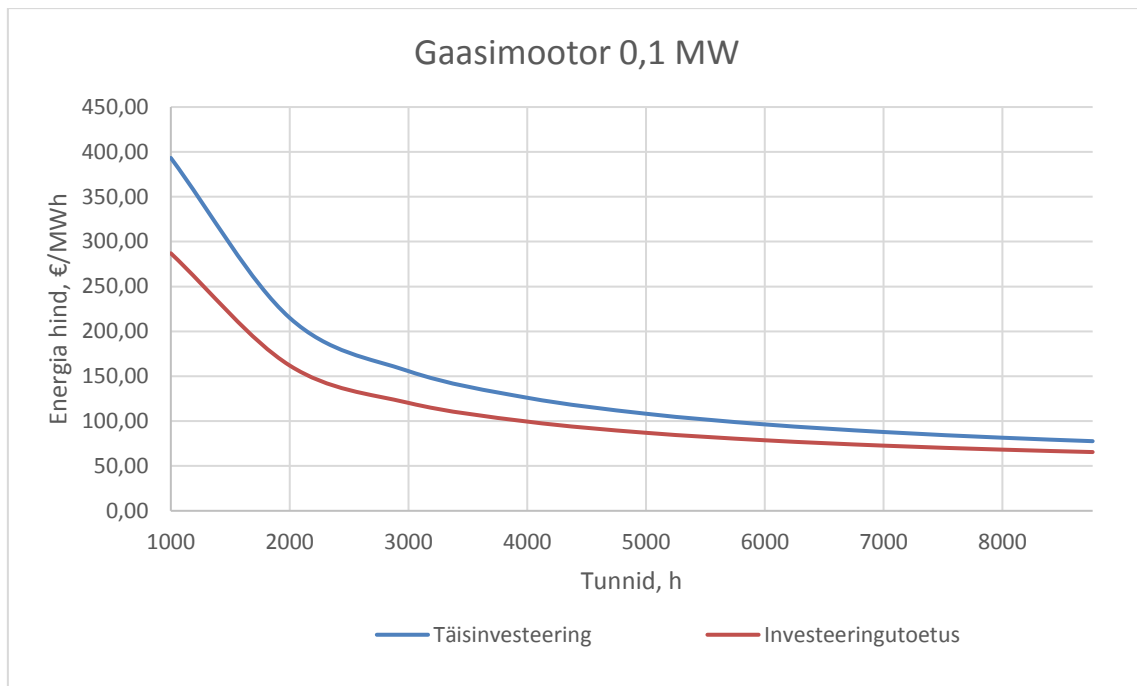
- Analüüsi koostamisel on arvestatud võimaliku kütuse hinna tõusuga aastate jooksul – Maailmapanga kohaselt võivad kütuse hinnad tõusta aastas 1,5 %, mis on tingitud eeldatavasti inflatsiooni kasvuprognosist [70];
- Analüüsi koostamisel on arvestatud kõiki selles töös käsitletud kulusid, mis ülevaatlilikult on esitletud tabelis 5.3;
- Süsteemi võrguga ühendamise kulud ja otseliinide ehituse kulud on kokku võetud ja lihtsustatult on selleks määratud 50 000 eurot - maksumus moodustab lõppinvesteeringust väikese osa ning mõjutab lõpptulemusi vähesel määral;
- Tehnoloogiate põhilised parameetrid on leitud kirjandusest;
- Maksimaalseks oodatavaks energia hinnaks piirtingimuste leidmisel on võetud 70 €/MWh, energia hind on võrdne antud analüüsis soojusenergia hinnaga. Analüüsis ja tulemustes on üldiselt välja toodud CHP poolt toodetava energia hind, mis

tegelikkuses ühtib toodetava soojusenergia hinnaga, mistõttu võib analüüsis käsitletud energia hinda vaadelda kui soojusenergia hinda;

- Energiaühistute puhul on eeldatud, et energiaühistu ei tooda kasumit ja müüb energiat omahinnaga tarbijale, seega tarbija maksab kinni investeeringu- ja töökulud.

Piirtingimuste määramiseks on koostatud iga koostootmisjaama tüübi kohta graafikud. Näidisenä on antud töö põhiosas lisatud maagaasi kütusena kasutatava 100 kW võimsusega koostootmisjaama analüüsograafik.

Joonisel 6.1 on kujutatud võimsusega 100 kW maagaasil töötava CHP toodetava energia minimaalse hinna sõltuvust aastasest töötundide arvust (teiste koostootmisjaamade graafikud on toodud lisas L.2.). Minimaalne energia hind kujutab endast hinda, mille korral FCFE on 0, mis tähendab, et projekt ei tooda oma eluea jooksul ei kahjumit ega ka kasumit. Selline energia hind sobib kõige paremini energiaühistu liikmele. Tõstes antud piirist energia hinda kõrgemale, muutub FCFE positiivseks ja projekt toodab kasumit. Graafiku 6.1 kohaselt, 100 kW maagaasil töötava CHP ei ole võimeline tootma soojust hinnaga 70 €/MWh. Saades investeeringutoetust 50 % investeeringu hinnast, on minimaalsed töötunnid 7400 tundi energia hinna 70 €/MWh juures. 100 kW võimsusega gaasimootoril põhinev CHP madalaim energia hind on näha tabelis 6.4, mille puhul tuleb jaama hoida täisvõimsusel töös 8760 tundi aastas, mis reaalsuses pole võimalik, kuna jaam tuleb seistada vähemalt hoolduste läbiviimise jaoks. Kriitiliste piirtingimuste koondatud väärtused on tabelites 6.2, 6.3, 6.4 ja 6.5.



Joonis 6.1. saja kilovatise gaasimootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust

Tabelisse 6.2 on välja toodud minimaalsed töötunnid, mille korral energia hind jääb alla 70 €/MWh, tabelis 6.3 minimaalsed töötunnid juhul kui energia hind jääb alla 50 €/MWh. Minimaalsed töötundide arvud on leitud täisinvesteeringu ja investeeringutoetuse korral. Tuleb arvestada, et antud piirväärtused eeldavad, et seade töötab kogu tööaja täisvõimsusel. Tabeli eesmärk on näidata seadme minimaalset aastast tööaega, mille puhul energia hind jääb oodatud piiridesse. Suurendades aastast töötundide arvu, saab oodata energiahinna alanemist. Kasumi teenimise eesmärgil tuleb ette näha oodatavat FCFE-d ja vastavalt sellele valida tehnoloogia, leida minimaalsed töötunnid aastas ja sellele vastav energia hind.

Tabel 6.2. Minimaalsed koostootmiseseadmete töötunnid (<70 €/MWh)

Tehnoloogia	Elektriline võimsus	Kasutatav kütus	Minimaalne aastane töötundide arv, <70 €/MWh	
	[MW]		Täisinvesteering	Investeeringutoetus
Aurumootor	1	puiduhake	-	6600
	1	turvas	-	6800
	5	puiduhake	8100	5000
	5	turvas	8200	5000
	10	puiduhake	8200	5000
	10	turvas	8300	5100
Auruturbiin	1	puiduhake	-	6500
	1	turvas	-	6600
	5	puiduhake	8100	4900
	5	turvas	8100	5000
	10	puiduhake	6300	3800
	10	turvas	6400	3900
Gaasimootor	0,1	maagaas	-	7400
	0,5	maagaas	7500	4900
	1	maagaas	4700	3000
	5	maagaas	3700	2300
	10	maagaas	3600	2200
ORC	0,5	puiduhake	-	7200
	0,5	turvas	-	7300
	1	puiduhake	-	5500
	1	turvas	-	5600
	5	puiduhake	7000	4200
	5	turvas	7100	4200
	10	puiduhake	5800	3400
	10	turvas	5900	3500

Tabel 6.3. Minimaalsed koostootmisseadmete töötunnid (soojuse hind <50 €/MWh)

Tehnoloogia	Elektriline võimsus	Kasutatav kütus	Minimaalne aastane töötundide arv, <50 €/MWh	
	[MW]		Täisinvesteering	Investeeringutoetus
Aurumootor	1	puiduhake	-	-
	1	turvas	-	-
	5	puiduhake	-	6900
	5	turvas	-	7000
	10	puiduhake	-	6800
	10	turvas	-	6900
Auruturbiin	1	puiduhake	-	8760
	1	turvas	-	-
	5	puiduhake	-	6300
	5	turvas	-	6400
	10	puiduhake	7800	4800
	10	turvas	7100	4900
Gaasimootor	0,1	maagaas	-	-
	0,5	maagaas	-	-
	1	maagaas	8760	5600
	5	maagaas	6300	3900
	10	maagaas	5900	3600
ORC	0,5	puiduhake	-	-
	0,5	turvas	-	-
	1	puiduhake	-	7400
	1	turvas	-	7500
	5	puiduhake	-	5600
	5	turvas	-	5700
	10	puiduhake	7800	4600
	10	turvas	7900	4700

Tabelis 6.4 on välja toodud minimaalne energia hind, kui tootmisseade töötab terve aasta seiskumata. On arvestatud, et FCFE on võrdne nulliga. Väärtused on saadud koostatud graafikutelt. Antud tabeli põhjal on võimalik otsustada, kas projekti tasub käsile võtta, võrreldes toodetavat energia hinda kaugkütte soojuse hinnaga. Kui toodetava soojuse hind jääb madalamale, siis tasub energiaühistu puhul projekt käsile võtta. Kui projekti võtab ette kasumit teeniv ettevõtte, saab energia hinnale juurde lisada oodatava kasumi suuruse. Kui energia hind jääb ka sel juhul madalamaks võrreldava hinnaga, siis tasub projekti käsile võtta. Täpsemalt saab projekti teostamise tasuvust hinnata koostatud graafikute põhjal, teades ette aastast koormatust ja oodatavat energia hinda.

Tabel 6.4. Koostootmiseseadmete minimaalne energia hind

Tehnoloogia	Elektriline võimsus [MW]	Kasutatav kütus	Energia hind, 8760 h/aastas	
			Täisinvesteering [€/MWh]	Investeeringutoetus [€/MWh]
Aurumootor	1	puiduhake	87,98	51,83
	1	turvas	88,83	52,67
	5	puiduhake	65,04	37,57
	5	turvas	65,89	38,41
	10	puiduhake	64,95	37,47
	10	turvas	65,79	38,32
Auruturbiin	1	puiduhake	86,71	49,51
	1	turvas	87,58	50,38
	5	puiduhake	62,82	31,23
	5	turvas	63,75	32,16
	10	puiduhake	41,50	13,27
	10	turvas	42,51	14,27
Gaasimootor	0,1	maagaas	77,62	65,49
	0,5	maagaas	65,76	54,14
	1	maagaas	50,51	42,12
	5	maagaas	42,29	34,48
	10	maagaas	40,38	32,39
ORC	0,5	puiduhake	98,59	56,65
	0,5	turvas	99,43	57,50
	1	puiduhake	74,19	41,18
	1	turvas	75,04	42,04
	5	puiduhake	54,37	28,33
	5	turvas	55,24	29,20
	10	puiduhake	43,36	21,78
	10	turvas	44,23	22,65

Tabelis 6.5 on välja toodud minimaalne energia hind, kui tootmiseseade töötab 5000 tundi aastas. Tabelisse lisatud väärtused on võetud koostatud graafikutelt. Kui 500 kW gaasimootor töötab täiskoormusel aastas 5000 tundi, siis tasub investeering ette võtta ainult juhul, kui on võimalik saada investeeringu toetust. Täisinvesteeringu puhul tõuseb energia omahind liialt kõrgele ning pole võimalik saavutada oodatavat energia hinda, rääkimata kasumist. Toetuse puhul, on hind 69,25 €/MWh, mis jääb napilt alla seatud piiri (energia maksimaalne hind 70 €/MWh). Antud energia hind on määratud soojuse omahinnaks. Elektri müügihind, nagu eelnevalt mainitud on arvestatud 80 €/MWh.

Tabel 6.5. Koostootmisseadmete minimaalne energia hind

Tehnoloogia	Elektriline võimsus [MW]	Kasutatav kütus	Energia hind 5000 h/aastas	
			Täisinvesteering, [€/MWh]	Investeeringutoetus, [€/MWh]
Aurumootor	1	puiduhake	158,19	94,85
	1	turvas	159,03	95,69
	5	puiduhake	117,99	69,86
	5	turvas	118,84	70,70
	10	puiduhake	117,83	69,69
	10	turvas	118,67	70,54
Auruturbiin	1	puiduhake	158,95	93,78
	1	turvas	159,82	94,65
	5	puiduhake	123,70	68,35
	5	turvas	124,62	69,28
	10	puiduhake	95,86	46,39
	10	turvas	96,86	47,39
Gaasimootor	0,1	maagaas	108,21	86,95
	0,5	maagaas	89,61	69,25
	1	maagaas	67,65	52,97
	5	maagaas	57,53	43,84
	10	maagaas	55,84	41,85
ORC	0,5	puiduhake	176,81	103,34
	0,5	turvas	177,66	104,18
	1	puiduhake	135,59	77,77
	1	turvas	136,44	78,62
	5	puiduhake	102,39	56,77
	5	turvas	103,26	57,64
	10	puiduhake	83,10	45,29
	10	turvas	83,97	46,16

Antud peatükis on koostatud graafikud, mille põhjal on enne projekti kätte võtmist võimalik hinnata projektist oodatavate tulemuste täitmist. Kui näiteks graafiku 6.1 põhjal tasub 100 kW gaasimootori paigaldamine ära, tuleb siiski läbi viia tasuvusarvutused täpsema projekti tulemuslikkuse määramiseks. Tasuvusarvutused saab läbi viia peatükis 5 esitletud põhimõtete põhjal. Jälgida tuleb ka seadmete soojusliku võimsust, et oleks tagatud piirkonna soojustarbe katmine. Soojuslikud võimsused on nähtavad tabelis 6.1.

6.2. Kriitiliste piirtingimuste kasutamise näidis

Kasutades ära leitud piirtingimusi, on leitud kas investeering on tasuv järgmistel tingimustel:

- Jaama tööaeg aastas – 2880 tundi aastas (4 kuud);
- Tööaeg minimaalsel koormusel – 3672 tundi aastas (5 kuud);

- Seisuaeg – 2208 tundi aastas (3 kuud).

Järgmiseks on leitud igale tehnoloogiale aastased maksimaalkoormuse töötundide arvud. Selleks on vajalik teada koostootmisjaama kasuteguri sõltuvust jaama koormatusest. Tehnoloogiate andmed on näha tabelis 6.7. Piirtingimused on leitud maksimaalkoormusel töötamisele, mistõttu tuleb minimaalsel koormusel töötamine teisaldada maksimaalsele koormusele, arvestades koormatust ja kasutegurit minimaalsel koormusel. Antud viisil saab tabelis 6.6 esitatud täistööaja tundide tulemused. Vastavaid tulemusi on võrreldud kriitiliste piirtingimustega kahel juhul:

- 1) Oodatav soojuse hind jääb alla 70 €/MWh.
- 2) Oodatav soojuse hind jääb alla 50 €/MWh.

Tulemusi on näha tabelites 6.8 ja 6.9 .

Tabelis 6.6 on näha koostootmisjaamade aastaseid töötunde, mil jaam töötab täiskoormusel.

Tabel 6.6. Koostootmisjaamade täistöötnnid aastas

Tehnoloogia	Elektriline võimsus	Kütus	Täistöötnnid
	[MW]		[h/a]
Aurumootor	1	puiduhake	3442
	1	turvas	3442
	5	puiduhake	3442
	5	turvas	3442
	10	puiduhake	3498
	10	turvas	3498
Auruturbiin	1	puiduhake	3208
	1	turvas	3208
	5	puiduhake	3208
	5	turvas	3208
	10	puiduhake	3208
	10	turvas	3208
Gaasimootor	0,1	maagaas	3543
	0,5	maagaas	3543
	1	maagaas	3543
	5	maagaas	3543
	10	maagaas	3543
ORC	0,5	puiduhake	3442
	0,5	turvas	3442
	1	puiduhake	3442
	1	turvas	3442
	5	puiduhake	3442
	5	turvas	3442
	10	puiduhake	3492
	10	turvas	3492

Tabelis 6.7 on näha näidisülesandes kasutatud koostootmisjaamade parameetrid. Parameetrid on võetud kirjandusest.

Tabel 6.7. Koostootmisjaamade parameetrid [13]

Tehnoloogia	Elektriline võimsus	Kütus	Kasutegur	Minimaalsel koormusel töötamine	
	[MW]			[%]	Minimaalne koormus [%]
Aurumootor	1	puiduhake	85	20	76,5
	1	turvas	85	20	76,5
	5	puiduhake	85	20	76,5
	5	turvas	85	20	76,5
	10	puiduhake	85	20	84,15
	10	turvas	85	20	84,15
Aurutrubiin	1	puiduhake	85	30	29,75
	1	turvas	85	30	29,75
	5	puiduhake	85	30	29,75
	5	turvas	85	30	29,75
	10	puiduhake	85	30	29,75
	10	turvas	85	30	29,75
Gaasimootor	0,1	maagaas	85	25	72,25
	0,5	maagaas	85	25	72,25
	1	maagaas	85	25	72,25
	5	maagaas	85	25	72,25
	10	maagaas	85	25	72,25
ORC	0,5	puiduhake	85	20	76,5
	0,5	turvas	85	20	76,5
	1	puiduhake	85	20	76,5
	1	turvas	85	20	76,5
	5	puiduhake	85	20	76,5
	5	turvas	85	20	76,5
	10	puiduhake	85	20	83,3
	10	turvas	85	20	83,3

Tabel 6.8 näitab, kas eesmärgiga toota soojust 70 €/MWh, tasub koostootmisjaama investering ära.

Tabel 6.8. Investeeringu tasuvus soojuse hinnal 70 €/MWh

Tehnoloogia	Elektriline võimsus	Kütus	Minimaalne aastane töötundide arv, <70 €/MWh	
	[MW]		Täisinvesteering	Investeeringutoetus
Aurumootor	1	puiduhake	ei	ei
	1	turvas	ei	ei
	5	puiduhake	ei	ei
	5	turvas	ei	ei
	10	puiduhake	ei	ei
	10	turvas	ei	ei
Auruturbiin	1	puiduhake	ei	ei
	1	turvas	ei	ei
	5	puiduhake	ei	ei
	5	turvas	ei	ei
	10	puiduhake	ei	ei
	10	turvas	ei	ei
Gaasimootor	0,1	maagaas	ei	ei
	0,5	maagaas	ei	ei
	1	maagaas	ei	jah
	5	maagaas	ei	jah
	10	maagaas	ei	jah
ORC	0,5	puiduhake	ei	ei
	0,5	turvas	ei	ei
	1	puiduhake	ei	ei
	1	turvas	ei	ei
	5	puiduhake	ei	ei
	5	turvas	ei	ei
	10	puiduhake	ei	jah
	10	turvas	ei	jah

Joonisel 6.9 on näha kas koostootmisjaama investeering tasub ära soojuse hinnal 50 €/MWh.

Tabel 6.9. Investeeringu tasuvus soojuse hinnal 50 €/MWh

Tehnoloogia	Elektriline võimsus [MW]	Kütus	Minimaalne aastane töötundide arv, <50 €/MWh	
			Täisinvesteering	Investeeringutoetus
Aurumootor	1	puiduhake	ei	ei
	1	turvas	ei	ei
	5	puiduhake	ei	ei
	5	turvas	ei	ei
	10	puiduhake	ei	ei
	10	turvas	ei	ei
Auruturbiin	1	puiduhake	ei	ei
	1	turvas	ei	ei
	5	puiduhake	ei	ei
	5	turvas	ei	ei
	10	puiduhake	ei	ei
	10	turvas	ei	ei
Gaasimootor	0,1	maagaas	ei	ei
	0,5	maagaas	ei	ei
	1	maagaas	ei	ei
	5	maagaas	ei	ei
	10	maagaas	ei	ei
ORC	0,5	puiduhake	ei	ei
	0,5	turvas	ei	ei
	1	puiduhake	ei	ei
	1	turvas	ei	ei
	5	puiduhake	ei	ei
	5	turvas	ei	ei
	10	puiduhake	ei	ei
	10	turvas	ei	ei

Tabelites 6.8 ja 6.9 esitatud tulemustest saab järeldada, et algtingimuste põhjal osutuvad tasuvateks tehnoloogiateks ainult tehnoloogiad, mille puhul on rakendatud investeeringutoetust ja eelduseks, et soojuse hind ei ületa 70 €/MWh kohta. Eesmärgiga toota soojust odavamalt kui 50 €/MWh, ei osunud antud tingimustel tasuvaks mitte ükski koostootmisjaam. Tasuvateks osutusid (soojuse maksimaalne hind 70 €/MWh):

- 1 MW gaasimootor;
- 5 MW gaasimootor;
- 10 MW gaasimootor;
- 10 MW ORC tsüklil töötav koostootmiseseade (hakkepuut);

- 10 MW ORC tsüklil töötav koostootmiseseade (turvas).

On arvestatud, et antud investeeringud ei tooda kasumit. Luues lisakriteeriumi, mille kohaselt mõistlik ettevõtte kasum on 6 %, tekib olukord, kus tasuvateks tehnoloogiateks on järgnevad:

- 1 MW gaasimootor;
- 5 MW gaasimootor;
- 10 MW gaasimootor.

Antud juhul tuleb investeeringuotsuse langetamisel tõdeda, et tasuvaim koostootmisjaam on gaasimootor. Investeering tasub ette võtta ainult investeeringutoetuse abil. Kui enne investeeringut toodetava soojuse hind jääb 50 €/MWh juurde, siis ei tasu investeeringut kätte võtta, kui see aga jääb 70 €/MWh juurde, tasub investeeringule mõelda. Tasuvate koostootmisjaamade vahel tuleb valida jaam vastavalt soojuskoormusele. Antud juhul on arvutus koostatud kõigile koostootmisjaamadele, millele kriitilised piirtingimused olid leitud, kuid tegelikus olukorras tuleb eelnevalt välja valida tehnoloogiad, mis sobivad kõige paremini katma soojuskoormust (tehnoloogiate soojuslik võimsus on nähtav tabelis 6.1) ja seejärel rakendada kriitilised piirtingimused.

6.3. Järeldused

Käesolevas peatükis kasutati lõputöö koostamisel omandatud teadmisi ja kirjandusallikaid, et leida erinevatele koostootmisjaamadele kriitilised piirväärtused. Seejärel rakendati piirtingimusi näidisülesandele iga tehnoloogia puhul.

Leitud piirväärtuste põhjal on võimalik järeldada, et kõige sobivamaks tehnoloogiaks energia lokaalsel tootmisel sobib gaasimootor. Gaasimootori tasuvus tuleneb kõige madalamast investeeringukulust. Lisaks ei teki gaasi põletamisel tuhka, tänu millele ei jäävad ära tuha käitlemise kulud. Gaasimootori kasutamisel tuleb soojuse hind antud näidisülesande põhjal suurem kui 50 €/MWh, mistõttu tasub investeering ära ainult juhul, kui seni tarbitava soojuse hind on suurem. Kui investeerijaks on ettevõtte, siis tuleb arvestada ka kasumiga, mis soojuse hinda omakorda tõstab. Näidisülesandes töötas gaasimootoriga CHP 3543 tundi aastas täiskoormusel. Vaadeldes kriitiliste piirtingimuste graafikuid (LISA 2), on näha, et soojuse hind langeb töötundide kasvamisega, esimesel 2000 töötunnil järsult, edaspidi aeglustub 4000 ja 5000 töötunni juures ja langeb kõige aeglasemalt peale 5000-ndat töötundi. Gaasimootori puhul on näha, et 5000 tundi aastas täisvõimsusel töötamist muudab tehnoloogia võrreldes näidisülesandega, palju tasuvamaks (tabel 6.5).

Kõigi tehnoloogiate piirtingimuste graafikuid ühendab soojuse hinna langemine töötundide arvu kasvul ja soojuse hinna langus investeringutoetuse korral. Aurugeneraatorit saab soovitada hakata suurematel võimsustel ja töötundidel. Ilma investeringutoetuseta ei tasu aurugeneraatoriga CHP-d paigaldada. Investeringutoetuse puhul oleks sobilik seda teha alles 5 MW-se seadme puhul, kuid tuleb tähele panna, et seejuures peaks aastane täisvõimsusel töötundide arv ületama 5000 tundi. Kui eesmärk on hoida soojuse hinda alla 50 €/MWh, siis tuleks kasutada investeringutoetust ja koormata täisvõimsusel jaama aastas vähemalt 7000 tundi. Väikese suvise tarbimisega asula puhul ei tasu aurugeneraatori paigaldamine kindlasti ära.

Auruturbiini kriitilised piirtingimused sarnanevad aurugeneraatori omadele, kuid on näha, et auruturbiin on vähem tasuv madalatel võimsustel ja väiksematel töötundidel, kuid jaama võimsuse suurenemisel ja töötundide arvu kasvamisel tasub jaama paigaldamine ära rohkem kui aurugeneraatori paigaldamine. Näidisülesande tingimustel auruturbiini paigaldada ei tasu, kuna soojuse hind tuleks liiga kõrge ja hinna alandamisel toodaks jaam kahjumit. Auruturbiini piirtingimuste graafikult on näha, et 5 MW ja 10 MW jaama paigaldamine tasub ilma investeringutoetuseta ära juhul kui aastaste täistöötundide arv ületab 8000 tundi. Investeringutoetus korral seevastu saab 10 MW-ise jaama paigaldada juhul kui täisvõimsusel töötundide arv jääb aastas 5000 juurde, seejuures on toodetava soojuse hind madalam kui 50 €/MWh. Auruturbiinil töötavat CHP-d on soovitatav paigaldada piirkondadesse, kus soojatarve on küllalt suur, et oleks võimalik kasutada 10 MW-st CHP-d. Soojuslik võimsus antud jaamal on 24 MWh (tabel 6.1). Auruturbiini paigaldamisel tuleks arvestada, et jaama kasutegur langeb hüppeliselt kui jaam ei tööta täiskoormusel, mistõttu planeerida jaama baaskoormusele ja jätta osakoormusel koormamata. Jaama ei tasu seega paigaldada piirkonda, kus väikese suvise soojatarbe tõttu tuleks jaama seisata.

ORC-tsüklil töötava koostootmisjaama investeringukulud on kõige suuremad, mistõttu ei tasu jaama paigaldada ilma investeringutoetuseta. Investeringutoetuse korral langeb soojuse hind hüppeliselt. Näidisülesandes tasus ORC-tsüklil töötava CHP paigaldamine ära juhul, kui paigaldada 10 MW jaam nii, et selle pealt ei toodeta kasumit. Kasumi teenimise eesmärgil antud jaama näidisülesande tingimustel paigaldada ei tasu. Kui eesmärk on soojuse hinda hoida madalamal 50 €/MWh-st, siis investeringutoetuse puhul tasub paigaldada 5 MW ja 10 MW võimsusega jaamad, misjuures täiskoormusel töötamise töötundide arv 5 MW võimsusega jaama puhul jääb 6000 lähedale ja 10 MW jaama puhul 5000 tunni juurde. ORC-

tsüklil töötavat CHP-d tasub paigaldada ainult juhul, kui on võimalik saada investeeringutoetust. Hoides eesmärgi toota soojust madalamalt, kui 50 €/MWh, tasub paigaldada 5 MW ja 10 MW võimsusega koostootmisseadmed, mille soojuslik võimsus on vastavalt 21,56 MW ja 43,13 MW (tabel 6.1).

Kütustena vaadeldi turvast ja hakkepuitu. Kriitiliste piirtingimuste ja näidisülesande põhjal saab järeldada, et hakkepuit on kütusena odavam, kuna hakkepuidu põletamisel jääb vähemal hulgal tuhka järele ning alanevad tuhakäitlemiskulud. Lisaks ei tule hakkepuidu kasutamisel maksta saastemaksu süsihappegaasi pealt, mis omakorda kulu vähendab. Turba tuhasisaldus ja süsihappegaasi heitmed on hakkepuidu omast suuremad, kuid selle kõrgem kütteväärtus tasandab kutsute vahelist hinnalõhet. Saab öelda, et turba kasutamine tuleb kokkuvõttes kallim, kuid hinnavahe ei kujune nii suureks, et tasuks ühte kindlalt ühte kütust teisele eelistada. Kütuste valimisel tuleks lähtuda piirkonna eripärasusest (hakkepuidu ja turba kohaliku pakkuja olemasolu) ja piirkonnas pakutavatest kütuse hindadest.

Näidisülesande tingimustel ei tasu paigaldada peale gaasimootori teisi koostootmisseadmeid. Teised seadmed tuleb paigaldada suurema soojusliku tarbega piirkondadesse. Gaasigeneraatoriga CHP-d on võimalik paigaldada gaasivõrgu lähedale, mistõttu ei saa seda paigaldada igale pole Eestis. Teiste tehnoloogiate kalliduse tõttu jääb väiksemates asulates koostootmise potentsiaal kasutamata investeeringu suure maksumuse tõttu. Suurendades toetuste suurusi on koostootmisseadmete paigaldamine võimalikuks muuta ka väiksemates piirkondades. Kui lähtuda sellest, et EITS annab vabamad käed alla 200 kW tootmisseadmete paigaldamiseks, siis on soovitatav paigaldada gaasimootoriga koostootmisjaam, mis võimalusel soetada investeeringutoetusega ning hoida võimalikult suure osa aastast töös, mida kindlustab gaasimootori üpriski lai võimsuste vahemik ja kasuteguri suhteliselt vähene sõltuvus koormatusest.

Lõputöö kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli luua teave investorile ja välja töötada lokaalse energiatootmise üldised investeerimispõhimõtted.

Töö esimeses peatükis on loodud ülevaade lokaalsetest energiatootmise võimalustest. Käsitatud on põhilisi soojuse ja elektri tootmiseks kasutatavaid seadmeid. Vaadeldud on päikesekollektoreid, soojuspumpasid, päikesepaneele, tuulikud ja koostootmiseseadmeid. Põhjalikumalt on peatutud koostootmise seadmetel ja koostootmisjaamade poolt kasutatavatel kütustel. Välja on toodud erinevad CHP tehnoloogiad ning käsitatud nende plusse ja miinuseid, andes tutvustava ülevaate töö lugejale. Ülevaade on loodud biokütuste ja fossiilsete kütuste omadustest ning käsitatud nende kasutamist lokaalsel energiatootmisel.

Teises peatükis on välja toodud põhjendused, miks tasuks lokaalselt energiat toota ja millised tendentsid lokaalset energiatootmist mõjutavad. Lõputöö loob ülevaate elektri hajatootmise seadmete ühendamise võimalustest, kohustustest ja eeldustest jaotus- või põhivõrguga. Hajatootjate elektrivõrguga ühinemise protsess on ilusti reguleeritud, mistõttu ei tohiks lokaalsel energiatootjal võrguga ühinemisel tekkida probleeme. Tuleb mainida, et tootja, kes elektrivõrguga liitub, peab tasuma liitumise kulud, mis võivad olla üprisriiski ettearvamatud.

Käsitatud on energiaühistute loomise võimalust Eestis. Energiaühistu loomine seisab tihtilugu kogukondliku pealehakkamise taga kinni. Lisaks on raskendab olukorda ka hetkel kehtiv seadusandlus, mida antud töös on analüüsitud. On leitud, et seadusandlusesse tuleks lokaalsete energiatootjate tekkimise soodustamiseks sisse viia mõningad muudatused. Põhiliselt analüüsitud seadusandlused on „Elektrituruseadus” (EITS) ja „Kaugkütteseadus”. EITS-i puhul on analüüsitud ka oodatavaid muudatusi, mis eelnõu „Elektrituruseaduse ja energiamajanduse korralduse seaduse muutmise seadus 576 SE I” kohaselt sisse plaanitakse viia. Kuna „Elektrimajanduse arengukava aastani 2030” kohaselt plaanitakse seadusandlust muuta energiaühistute tekke soodustamiseks, siis on lõputöö autor ka ise esitanud mõningad ettepanekud seadusemuudatusteks.

Ülevaade on loodud ka riigi poole loodud toetusmeetmetest, mille eesmärk on eelkõige taastuvat ja tõhusat energiatootmist toetada. Subsiidiumid jagunevad põhiliselt kaheks, on subsiidiumid, mida jagatakse elektri tootmise puhul vastavalt toodetavale energiahulgale (taastuvenergia toetus ja tõhusa koostootmise toetus) ja on investeringutoetused, mis katavad

tavapäraselt protsentuaalse osa investeringu maksumusest. Toetuste abil on võimalik muuta tasuvaks investering, mis tavaolukorras mitte kuidagi tasuvaks ei osutuks.

Kolmandas peatükis on vaadeldud elektri ja soojuse tootmise tulevikku. Käsitletud on paralleeltarbimisest tekkida võivat probleemi, mille kohaselt hakatakse hoonepõhiselt tarbimise soojusenergiat lisaallikatest, mistõttu väheneb näiteks lokaalse koostootmiseseadme või kaugküttevõrgu jätkusuutlikus ning järgneb paratamatu hinnatõus. Töös on käsitletud ka lahendusi antud probleemi ennetamiseks või leevendamiseks.

Vaadeldud on tarka elektrisüsteemi, mis koosneb nii tarkvõrgust kui neljanda põlvkonna kaugküttest. Uuritud on nii tarkvõrgu kui neljanda põlvkonna tarkvõrgu olemust ja rakendamist tuleviku vaates. Tarkvõrgu lahenduste rakendamine hajatootmisega võib olla üks tuleviku energiasüsteemi suundadest.

Neljandas peatükis on vaadeldud koostootmise rakendamist ja rakendatavust Eestis. Välja on toodud neli põhilist koostootmise tehnoloogiat, mida antud töö praktilises osas on käsitletud. Põhilised praegusel ajal kasutatavad koostootmise tehnoloogiad on aurumootoril, auruturbiinil, gaasimootoril või ORC tsüklil põhinev koostootmiseseade.

Viienda peatükis on loodud juhismaterjal lokaalse energiatootja planeerimiseks koostootmisjaama näitel. Antud peatüki põhjal on võimalik investoril koostada tehnilis-majanduslik analüüs projekti tasuvuse määramiseks. Käsitletud on soojuse koormusgraafiku põhjal sobiliku koostootmiseseadme leidmise samme ja välja on toodud vajalikud koostootmiseseadme parameetrid, mille põhjal projekti tasuvus ennekõike leitakse. Ülevaade on loodud kõigist kuludest ja tuludest, mis koostootmiseseadme planeerimisel, ehitamisel ja töötamisel tekivad. Vajadusel on kuluallikaid käsitletud eraldi täpsemalt. Välja on toodud rahastuse võimalused ja toetuse saamise eeldused. Projekti tasuvus on määratud kulude analüüsi meetodil, välja on toodud vajalikud valemid ja selgitavad mõisted juhendmaterjali kasutajale.

Kuuendas peatükis on teostatud antud töö praktiline osa. Leitud on piirtingimused põhilistele koostootmiseseadmetele, mida on käsitletud esimese ja neljandas peatükis. Koostootmiseseadmete parameetrid on võetud kirjandusest. Piirtingimused on leitud peatükis 5 koostatud juhendmaterjali põhjal. Kriitilised piirtingimused on leitud neljale CHP tehnoloogiale (aurumootor, auruturbiin, gaasimootor ja ORC tsüklil põhinev koostootmiseseade). On arvestatud, et gaasimootor tarvitab kütusena maagaasi. Ülejäänud tehnoloogiate puhul on piirtingimused leitud juhtudel kui on kasutusel kütusena kas hakkepuut

või turvas. Iga tehnoloogia on jagatud vastavalt seadme elektrilisele võimsusele (0,1; 0,5; 1; 5 ja 10 MW). Kõigile tehnoloogiatele on koostatud tasuvusarvutused. Arvutuste koostamisel on arvestatud kõiki võimalikke kulusid investeeringukuludest kuni kütuse ja riigilõivu kuludeni. Kulud on lihtsustatult nähtaval tabelis 5.3. Leitud piirtingimused on olemuselt energia hinna sõltuvused töötundide arvust. On arvestatud, et energia hind on minimaalne võimalik energia hind antud koostootmiseseadme puhul, mis tähendab, et projekt ei tooa ei kahjumit ega kasumit piirtingimuse juures. Piirtingimused on esitletud graafikutena ja on nähtavad lisas L.2. Põhilised väärtused on välja toodud analüüsi eesmärgil ka tabelites. Leitud piirtingimusi on võimalik kasutada esmaseks projekti tasuvuse määramiseks. Kui piirtingimuste puhul pole saavutatav oodatav energia hind, siis pole projekt tasuv. Kui on võimalik hind saavutada varuga, siis saab müüdavat energia hinda tõsta kasumi teenimise eesmärgil nii, et müüdava energia hind jääks ikkagi tarbijale sobilikuks. On näha, et koostootmisjaama aastaste töötundide arvu kasvul energia hind alaneb.

Järgmiseks rakendati kriitilisi piirtingimusi näidisülesandele, eesmärgiga tõestada ja näidata piirtingimuste kasutamise võimalikkust. Näidisülesande tulemuste põhjal selgus, et kui koostootmisjaamad on täiskoormusel koormatud umbes 3500 tundi aastas, siis ei tasu projekt ilma investeeringutoetuseta ära. Ja isegi sel juhul pole võimalik saavutada energia hinda, mis jääks alla 50 €/MWh-i kohta. Kui oodata energia hinda 70 €/MWh ja lisada sinna juurde soov, teenida 6 % kasumit, siis on näidisülesande põhjal tasuv tehnoloogia gaasimootoril põhinev koostootmisjaam, mille nimivõimsused jäävad vahemikku 1 kuni 10 MW. Näidisülesandele ei saavutatud oodatavat tulemust, milleks oli toodetava energia maksumus vähem kui 50 €/MWh, millest saab järeldada, et antud töös esitletud näidisolukorra puhul ei tasu investeeringut teostada ja tuleks leida alternatiivsed lahendused näiteks soojuspumba näitel.

Kriitiliste piirtingimuste graafikutelt saab välja lugeda, et põhiliselt hakkab koostootmisjaama investeering ära tasuma aastasel maksimumkoormuse töötundidel alles vahemikus 4000 – 6000 tundi, olenevalt koostootmiseseadmest. Saab öelda, et koostootmiseseadme paigaldamisel tuleb tagada jaama ühtlane täisvõimsusel töökoormus. Kui jaama peab suvisel perioodil seisma, siis suure tõenäosusega ei tasu investeering ära. Kui kasutada ORC-tsükliga koostootmisjaama, mille koormusdiapasoon on väga lai, saab jaama koormata aastas pikemalt, kuid ka sel juhul hakkab ORC-tsükli põhinev CHP ära tasuma alles tootmiseseadme võimsusel 1 MW.

Kehtiv seadusandlus ja oodatavad muudatused eeldavad tootmiseseadme väikest võimsust. Antud töö põhjal saab väita, et väikese võimsusega koostootmiseseadme investering pole tasuv. Lisaks ei võimalda hetkel kehtiv seadusandlus MTÜ-l põhinevat energiaühistut koostootmise jaoks luua. Seega pole energiaühistu loomine praeguses turusituatsioonis ja seadusandluse kehtimisel mõeldav.

Lõputöö koostaja teeb ettepaneku muuta seadusandlust, väiketootjaid silmas pidades, leebemaks ja võimaldada koostootmiseseadmetele suuremamahulisi investeringutoetusi.

Lõputöö raames sai vastatud kõigile püstitatud küsimustele ning loodud kriitilised piiritingimused ja juhendmaterjal investori abistamiseks.

Kirjandus

- [1] „Energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ Vabariigi Valitsus, 2017.
- [2] „Energiatalgud - Päikesekollektor,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://energiatalgud.ee/index.php?title=P%C3%A4ikesekollektor>. [Kasutatud 28. 03. 2018].
- [3] Energy Education, [Võrgumaterjal]. Available: http://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_collector. [Kasutatud 31. 03. 2018].
- [4] A. Rosin, S. Link ja I. Drovтар, „Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele Osa III NÄIDISHOONE,“ TTÜ, Tallinn, 2013.
- [5] A. Rosin, S. Link ja I. Drovтар, „Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele Osa I TAASTUVENERGIALAHENDUSED,“ TTÜ, Tallinn, 2013.
- [6] Eesti Soojuspumba Liit, „Maasoojuspump,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.soojuspumbaliit.ee/Maasoojuspump>. [Kasutatud 05. 03. 2018].
- [7] AU Energiateenus OÜ, „Lokaalne energiatootmine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://energiateenus.ee/lokaalne-energiatootmine/>. [Kasutatud 05. 03. 2018].
- [8] T. Hilimon, „Grid connected photovoltaic array modelling using Simulink/Matlab,“ TTÜ, Tallinn, 2016.
- [9] Energiatalgud, „Päikesepaneel,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://energiatalgud.ee/index.php?title=P%C3%A4ikesepaneel>. [Kasutatud 06. 03. 2018].
- [10] A. Rosin, *Ülevaade energiasäästlikest ja taastuvenergia lahendustest*.
- [11] M. Merimaa, „ELEKTRI JA SOOJUSE KOOSTOOTMISJAAM ETTEVÕTTE ENERGIAVARUSTUSES,“ Eesti Maaülikool, Tartu, 2016.
- [12] U. Kask, „Lokaalsed energialahendused ettevõttele. Tootmine ja salvestus. Soojuse ja elektri väikekoostootmine.“ %1 *Eesti Kaubandus- ja Tööstuskoja infopäev*, Tallinn,

2016.

- [13] E. Latõsov, „Model for the Analysis of Combined Heat and Power Production,“ TUT, Tallinn, 2011.
- [14] „Elektri ja soojuse koostootmine,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/16._Elektri_ja_soojuse_koostootmine.pdf. [Kasutatud 10. 03. 2018].
- [15] S. Velling ja T. Vaasma, „Energiaalikas biomass,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/30198/index.html>. [Kasutatud 01. 03. 2018].
- [16] M. Alaru ja E. Vollmer, „Mitmeaastaste heintaimede biomassi väärindusahelad - BIOREF projekt Eesti Maaülikoolis,“ Eesti põlevloodusvarad ja -jätmed, 2012.
- [17] A. Küttim, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.envir.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/kyttimtaastuvatetegevuskavametsandus.pdf. [Kasutatud 10. 03. 2018].
- [18] Energiatalgud, „Vedelad biokütused,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://energiatalgud.ee/index.php?title=Vedelad_biok%C3%BCtused#cite_note-2. [Kasutatud 01. 03. 2018].
- [19] Eesti Biogaasi Assotsiatsioon, [Võrgumaterjal]. Available: <http://eestibiogaas.ee/>. [Kasutatud 01. 03. 2018].
- [20] Energiatalgud, „Energeetika ja keskkond Loeng 7,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://energiatalgud.ee/img_auth.php/f/fb/Energeetika_ja_keskkond._%C3%95ppematerjal.pdf. [Kasutatud 10. 03. 2018].
- [21] Elering, „Eesti gaasiülekandevõrgu arengukava 2018-2027,“ 2018.
- [22] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, „Gaasiturg,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mkm.ee/et/tegevused-eesmargid/energeetika/gaasiturg>. [Kasutatud 01. 05. 2018].
- [23] S. Velling ja T. Vaasma, „Energiaalikas põlevkivi,“ [Võrgumaterjal]. Available:

- <https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/27643/index.html>. [Kasutatud 01. 03. 2018].
- [24] M. Tšudakov, „Põlevkiviõli - Eesti strateegiline kütus,“ TTÜ, Tallinn, 2004.
- [25] OÜ Inseneribüroo STEIGER, SA Säästva Eesti Instituut, AS Maves, OÜ Baltic Energy Partners, „Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016 - 2030 koostamiseks vajalike andmete analüüs,“ Tallinn, 2012.
- [26] A. Konist, „Põlevkiviõli tootmisel tekkiva uttegaasi kasutusvõimaluste uuring,“ Tallinn, 2014.
- [27] „Eesti Turbaliit,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.turbaliit.ee/turvas/>. [Kasutatud 28. 04. 2018].
- [28] AS Tootsi Turvas, „Kohalikud biokütused, Ressurss, Ettepanekud biokütuste osakaalu suurendamiseks“.
- [29] M. Külaots, „Energeetika arengu plaanimine. Kaugküte ja -jahutus,“ Fortum.
- [30] Vabariigi Valitsus, „Võrgueeskiri,“ 2003.
- [31] Elektrilevi OÜ, „Liitumine elektritootjale,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/liitumine-elektritootjale>. [Kasutatud 29. 03. 2018].
- [32] AS Elering, „Põhivõrguga liitumine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/pohivorguga-liitumine>. [Kasutatud 29. 03. 2018].
- [33] Eesti Arengufond, „Energiäühistu,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://energiayhistud.ee/>. [Kasutatud 30. 03. 2018].
- [34] Eesti Arengufond, „Energiäühistute potentsiaali ja sotsiaalmajandusliku,“ Tallinn, 2015.
- [35] C. Rute, „Energiäühistute Mentorprogrammi kokkuvõte,“ Eesti Arengufond, 2015.
- [36] Advokaadibüroo GLIMSTEDT, „Energiäühistute loomist ja tegutsemist takistavad probleemid Eestis,“ Tallinn, 2018.
- [37] Advokaadibüroo Glimstedt, „Energiäühisused Eesti õiguskorras,“ Tallinn, 2013.

- [38] Vabariigi Valitsus, „Tegevusvaldkondade, mille korral tuleb anda keskkonnamõju hindamise vajalikkuse eelhindang, täpsustatud loetelu,“ 2005.
- [39] Riigikogu, „Elektrituruseadus,“ 11. 02. 2003. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/ELTS>. [Kasutatud 30. 03. 2018].
- [40] E. Nestor, „Elektrituruseaduse ja eneriamajanduse korralduse seaduse muutmise seadus,“ Vabariigi Valitsus, Tallinn, 2018.
- [41] Riigikogu, „Riigilõivuseadus,“ 2014.
- [42] Vabariigi Valitsus, „Seletuskiri elektrituruseaduse ja energiamajanduse korralduse seaduse muutmise seaduse eelnõu juurde,“ 2018.
- [43] Riigikogu, „Kaugkütteseadus,“ 2003.
- [44] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, „Kütte ja jahutuse tõhususe võimalused Eestis- Eesti kütte ja jahutuspotentsiaali hindamine,“ Tallinn, 2016.
- [45] J. Lilienberg, „Kaugküttesüsteemide investeeringutoetustest,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.kik.ee/sites/default/files/kaugkyyte_infopaev_110118.pdf. [Kasutatud 24. 03. 2018].
- [46] „Keskkonnainvesteeringute keskus - toetatavad tegevused,“ SA Keskkonnainvesteeringute Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kik.ee/et/toetatav-tegevus/efektiivne-soojusenergia-tootmine-ja-ulekanne>. [Kasutatud 04. 20. 2018].
- [47] Sihtasutus KredEx, „KredEx,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.kredex.ee/>.
- [48] E. Latõšov, A. Volkova, A. Siirde, J. Kurnitski ja M. Thaldeldt, „Methodological Approach to Determining the Effect of Parallel Energy Consumption in District Heating System,“ TUT, Tallinn, 2017.
- [49] V. Mašatin, S. Link ja A. Siirde, „The Impact of Alternative Heat Supply Options on CO₂ Emission and District Heating System,“ *Chemical Engineering Transactions*, pp. 1105-1110, 2014.
- [50] TTÜ soojustehnika instituut, TTÜ Ehitiste projekteerimise instituut, „Soojuse

- paralleeltarbimise mõju kaugküttesüsteemile,“ Eesti jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, Tallinn, 2016.
- [51] E. Kraav, „Neljanda põlvkonna kaugküte,“ TTÜ, Tallinn, 2015.
- [52] S. Bokka, „Lokaalküte, võimalused ja tulevik Eestis,“ TTÜ, Tallinn, 2015.
- [53] A. Siirde, „Kaasaegsed suundumused kaugküttevõrkude arendamisel“.
- [54] R. Armas, „Väiketootja mõju pingekvaliteedile jaotusvõrgus Elektrilevi OÜ näitel,“ TTÜ, Tallinn, 2014.
- [55] T. Lehtla, „Energeetika tulevik - otsapidi tarkvõrkude küljes,“ *Horisont*, nr 2, pp. 32-37, 2012.
- [56] A. Siirde, „Tõhusa elektri ja soojuse koostootmise potentsiaal Eestis,“ Tallinna Tehnikaülikool, Soojustehnika instituut, Tallinn, 2007.
- [57] K. Kopelman, „Lokaalste elektri- ja soojusenergia koostootmistehnoloogiate majanduslik analüüs tööstuspargi näitel,“ TTÜ, Tallinn, 2016.
- [58] R. Ivantsov, „Kinnisvara arenduspiirkonna energiavarustus (Jaani kinnistu, Harku vald),“ TTÜ, Tallinn, 2017.
- [59] ÅF-Consulting AS, „Saue valla Laagri aleviku kaugküttepiirkonna soojusmaajnduse arengukava 2015-2025,“ Saue vallavalitsus, Tallinn, 2015.
- [60] Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus AS, „Vastuvõetavate jäätmete nimistu koos hindadega,“ 01. 05. 2016. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.tjt.ee/admin/upload/files/Hinnakirjad/Hinnakiri%20alates%2001%2005%202016%20V5_%20parandatud%2011.10.pdf. [Kasutatud 15. 05. 2018].
- [61] „Gaasihind.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://gaasihind.ee/paketid>. [Kasutatud 27. 04. 2018].
- [62] Riigikogu, „Keskkonnatasude seadus,“ 2005.
- [63] ÅF-ESTIVO AS , „Iisaku aleviku kaugkütte soojuse hinna arvutus üleviimisel hakkpuidule või muule kohalikule kütusele,“ Iisaku Vallavalitsus, Tallinn, 2011.

- [64] T. Toomark, „Kinnisvarauudised,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.adaur.ee/annuiteetlaen-ja-fikseeritud-pohiosaga-tagastatav-laenu-erinevused-ja-sarnasused/>. [Kasutatud 10. 05. 2018].
- [65] Majandus- ja taristuminister, „Soojus- ja elektrienergia koostootmise nõuded,“ 2016.
- [66] „Nord Pool Spot,“ 01. 05. 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com>.
- [67] AF-Consulting Aktsiaselts, „Merirahu kaugkütet võrgupiirkonna soojusmajanduse arengukava 2017 - 2017,“ Tallinna Kommunaalamet, Tallinn, 2017.
- [68] H. Rajasalu, „ETTEVÕTTE VÄÄRTUSE LEIDMINE BRENSTOL OÜ NÄITEL,“ Eesti Ettevõtluskõrgkool Mainor, Tallinn, 2016.
- [69] Konkurentsiamet, „Kooskõlastatud lõpptarbijahinnad (seisuga 15.05.2018),“ [Võrgumaterjal]. Available: file:///C:/Users/Tauno/Downloads/Kooskolastatud_lopptarbijahinnad_15.05.2018.pdf. [Kasutatud 17. 05. 2018].
- [70] Ü. Kask, „Tabasalu aleviku kaugkütte võrgupiirkonna soojusmajanduse arengukava aastateks 2016-2026,“ OÜ Pilvero, 2016-2017.
- [71] Elektrilevi OÜ, „Elektrilevi võrguga sobivate seadmete list,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/kliendile/kodulehe_nimekiri_2018.pdf.
- [72] AS Gaasivõrgud, „Võrguteenuse hind ja maagaasiaktsiis,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gaasivorgud.ee/kasulikku/vorguteenuse-hind/>. [Kasutatud 15. 05. 2018].

Lisad

L.3. Elektrilevi võrguga sobivate seadmete list

L.2. Kriitiliste piirtingimuste graafikud

L.3. Analüüsi lähteandmed ja tulemused

L.1. Elektrilevi võrguga sobivate seadmete list [71]

Tootja	Mudel	Nimiaktiivvõimsus [kW]	Maksimaalne näivvõimsus [kVA]
ABB	PVS300-TL-3300W-2	3,3	-
	PVS300-TL-4000W-2	4	-
	PVS300-TL-4600W-2	4,6	-
	UNO-2.0-TL-OUTD	2	2
	UNO-3.0-TL-OUTD	3	3
	UNO-3.6-TL-OUTD	3,6	3,6
	UNO-4.2-TL-OUTD	4,2	4,2
	PVI-3.0-TL OUDT	3	3,33
	PVI-3.6-TL OUDT	3,6	4
	PVI-4.2-TL OUDT	4,2	4,67
	PVI-10.0-TL-OUTD	10	11,5
	PVI-12.5-TL-OUTD	12,5	13,8
	TRIO-5.8-TL-OUTD	5,8	5,8
	TRIO-7.5-TL-OUTD	7,5	7,5
	TRIO-8.5-TL-OUTD	8,5	8,5
	PVI-5000-TL-OUTD	5	5,56
	TRIO-20.0-TL-OUTD	20	22,2
	TRIO-27.6-TL-OUTD	27,6	30,67
	TRIO-50.0-TL-OUTD	50	50
	UNO-DM-1.2-TL-PLUS	1,2	1,2
	UNO-DM-2.0-TL-PLUS	2	2
	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	3,3	3,3
	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	4	4
	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	4,6	4,6
	UNO-DM-5.0-TL-PLUS	5	5
	PVS-100-TL	100	100
	TRIO-TM-50.0	50	50
	Altenergy Power System Inc.	YC500-I	0,53
YC1000-3		0,9	-
Delta Energy Systems GmbH	RPI M6A	6	6,3
	RPI M8A	8	8,4
	RPI M10A	10	10,5
	RPI M15A	15	15,75
	RPI M20A	20	21

	RPI M50A	50	55
	RPI H3	3	3
DVE Technologies ApS	GFI-10K	10	-
Envertech Corporation Ltd.	EVT 248	0,248	0,257
	EVT 500	0,5	0,521
Fronius International GmbH	Symo 3.0-3-S	3	3
	Symo 3.7-3-S	3,7	3,7
	Symo 4.5-3-S	4,5	4,5
	Symo 3.0-3-M	3	3
	Symo 3.7-3-M	3,7	3,7
	Symo 4.5-3-M	4,5	4,5
	Symo 5.0-3-M	5	5
	Symo 6.0-3-M	6	6
	Symo 7.0-3-M	7	7
	Symo 8.2-3-M	8,2	8,2
	Symo 10.0-3-M	10	10
	Symo 12.5-3-M	12,5	12,5
	Symo 15.0-3-M	15	15
	Symo 17.5-3-M	17,5	17,5
	Symo 20.0-3-M	20	20
	Symo Hybrid 3.0-3-S	3	3
	Symo Hybrid 4.0-3-S	4	4
	Symo Hybrid 5.0-3-S	5	5
	ECO 25.0-3-S	25	25
	ECO 27.0-3-S	27	27
	Galvo 1.5-1	1,5	1,5
	Galvo 2.0-1	2	2
	Galvo 2.5-1	2,5	2,5
	Galvo 3.0-1	3	3
	Galvo 3.1-1	3,1	3,1
	Primo 3.0-1	3	3
	Primo 3.5-1	3,5	3,5
	Primo 3.6-1	3,68	3,68
	Primo 4.0-1	4	4
	Primo 4.6-1	4,6	4,6
Primo 5.0-1	5	5	
Primo 6.0-1	6	6	
Primo 8.2-1	8,2	8,2	
GoodWe Power Supply Technology Co., Ltd.	GW15K-DT	15	15
	GW17K-DT	17	17
	GW20K-DT	20	20
	GW25K-DT	25	25
	GW4000-DT	4	4
	GW5000-DT	5	5

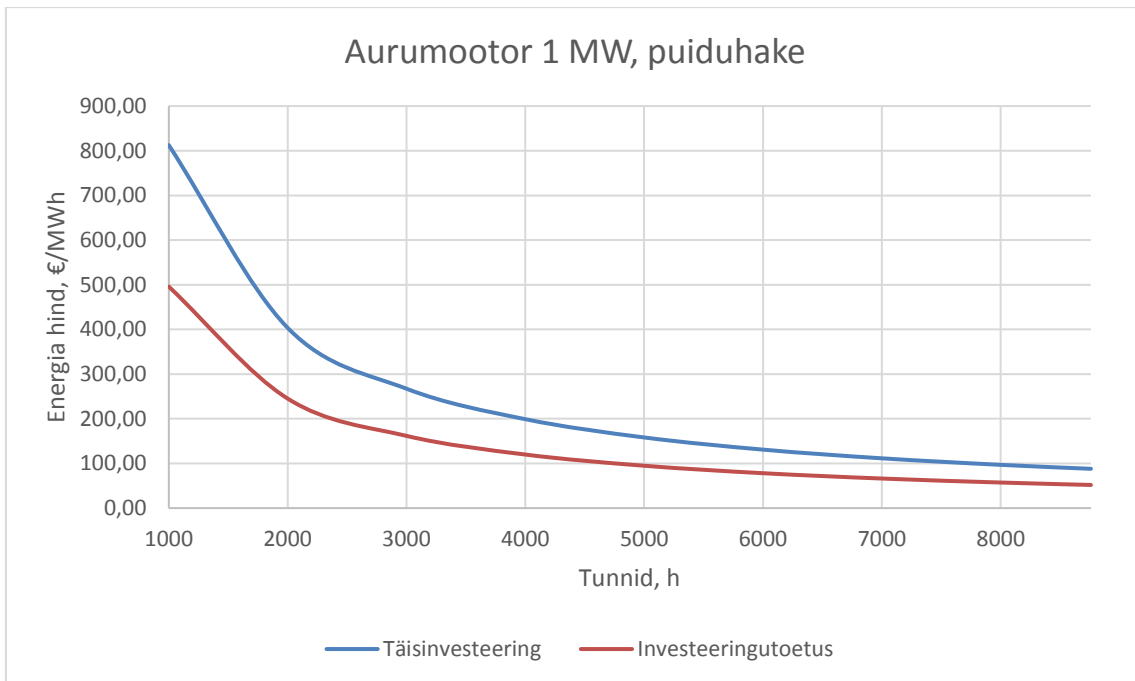
	GW6000-DT	6	6
	GW50K-MT	50	55
	GW60K-MT	60	64
	GW65KHV-MT	65	66,48
	GW75KHV-MT	75	75
	GW4000-DT	4	4
	GW5000-DT	5	5
	GW6000-DT	6	6
	GW8000-DT	8	8
	GW9000-DT	9	9
	GW10KN-DT	10	10
Growatt New Energy Technology Co.,Ltd	Growatt 1000S	1	1
	Growatt 1500S	1,6	1,6
	Growatt 2000S	2	2
	Growatt 3000S	3	3
	Growatt 2500MTL-S	2,5	2,5
	Growatt 3000MTL-S	3	3
	Growatt 3600MTL-S	3,6	3,6
	Growatt 4200MTL-S	4,2	4,2
	Growatt 5000MTL-S	4,6	4,6
	Growatt 5500MTL-S	5	5
	Growatt 10000UE	10	10
	Growatt 8000TL3-S	8	8,8
	Growatt 9000TL3-S	9	9,9
	Growatt 10000TL3-S	10	11
	Growatt 11000TL3-S	11	12,1
	Growatt 12000UE	12	12
	Growatt 18000UE	18	18
	Growatt 20000UE	20	20
	Growatt 30000TL3-S	30	33,3
	Growatt 33000TL3-S	33	36,6
Growatt 40000TL3-S	40	44,4	
Growatt 50000TL3-S	48	53,3	
Hoymiles Converter Technology Co., Ltd.	Hoymiles MI-250-EU	0,25	
	Hoymiles MI-500-EU	0,5	
	Hoymiles MI-600-EU	0,6	
Huawei Technologies Co., Ltd.	SUN2000-8KTL	8	8,8
	SUN2000-10KTL	10	11
	SUN2000-12KTL	12	13,2
	SUN2000-15KTL	15	16,5
	SUN2000-17KTL	17	18,7
	SUN2000-20KTL	20	22
	SUN2000-23KTL	23	23
	SUN2000-33KTL	30	33

	SUN2000-36KTL	36	40
INVOLAR Corporation Ltd	MAC 250 & eGate	0,235	-
Indop d.o.o	INDOP 140M	130	130
KACO new energy GmbH	Powador 12.0 TL3	10	-
	Powador 14.0 TL3	12,5	-
	Powador 20.0 TL3	17	-
	Powador 60.0 TL3	49,9	-
	Blueplanet 50.0 TL3	50	-
	Blueplanet 5.0 TL3	5	-
	Blueplanet 6.5 TL3	6,5	-
	Blueplanet 7.5 TL3	7,5	-
	Blueplanet 8.6 TL3	8,6	-
	Blueplanet 9.0 TL3	9	-
	Blueplanet 10.0 TL3	10	-
	Blueplanet 3.0 TL3	3	-
Kostal Solar Electric GmbH	Piko 3.0	3	3
	Piko 4.2	4,2	4,2
	Piko 4.6	4,6	4,6
	Piko 5.5	5,5	5,5
	Piko 7.0	7	7
	Piko 8.3	8,3	8,3
	Piko 4.2 (FW \geq 5.00)	4,2	4,2
	Piko 5.5 (FW \geq 5.00)	5,5	5,5
	Piko 7.0 (FW \geq 5.00)	7	7
	Piko 8.5	8,5	8,5
	Piko 10	10	10
	Piko 12	12	12
	Piko 15	15	15
	Piko 17	17	17
	Piko 20	20	20
	Piko 2.5 MP	2,5	2,5
	Piko 36 EPC	36	36
Letrika Sol d.o.o.	SMI 260	0,26	0,29
LG Electronics Inc.	ESS Residential (ED05K000E)	5	5
Renesola	Replus-250	0,22	-
Shenzhen JingFuYuan Tech	Suntree 12000TL	10	-
SMA Solar Technology AG	SB 1.5-1 VL-40	1,5	1,5
	SB 2.5-1 VL-40	2,5	2,5
	SB 3000TL-21	3	3
	SB 3600TL-21	3,68	3,68
	STP 5000TL-20	5	5
	STP 6000TL-20	6	6
	STP 7000TL-20	7	7

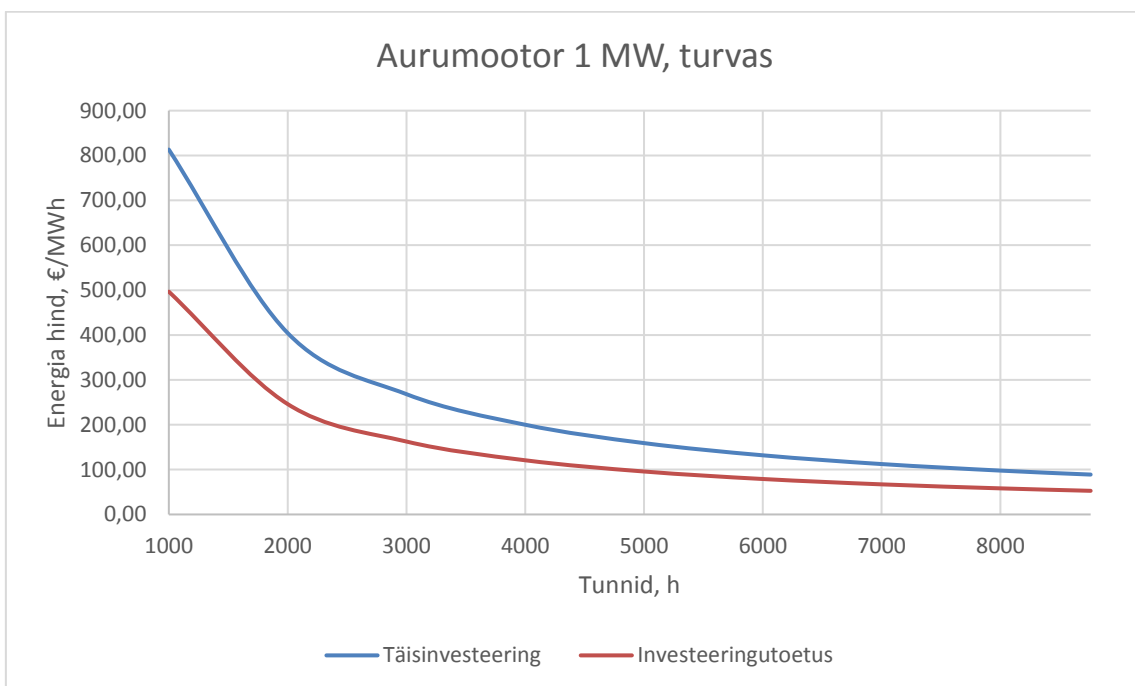
	STP 8000TL-20	8	8
	STP 9000TL-20	9	9
	STP 10000TL-20	10	10
	STP 12000TL-20	12	12
	STP 15000TL-10	15	15
	STP 20000TL-30	20	20
	STP 25000TL-30	25	25
	STP 60-10	60	60
	STP 50-40	50	50
Solaredge Technologies Inc.	SE2200	2,2	2,2
	SE3000	3	3
	SE3500	3,5	3,5
	SE4000-16A	3,68	4
	SE4K	4	4
	SE5K	5	5
	SE7K	7	7
	SE8K	8	8
	SE9K	9	9
	SE10K	10	10
	SE12,5K	12,5	12,5
	SE15K	15	15
	SE16K	16	16
	SE17K	17	17
	SE25K	25	25
	SE27.6K	27,6	27,6
	SE2200H	2,2	2,2
	SE3000H	3	3
	SE3500H	3,5	3,5
	SE3680H	3,68	3,68
SE4000H	4	4	
SE5000H	5	5	
SE6000H	6	6	
Solutronic AG	Solplus 25	2,85	3,1
	Solplus 35	3,8	4,1
	Solplus 80	8	8,8
	Solplus 100	10	11
SoMa Solar Holding GmbH	SolarMax 2000P	2	2
	SolarMax 3000P	3	3
	SolarMax 8MT2	8	8
	SolarMax 10MT2	10	10
Steca Elektronik GmbH	StecaGrid 3010	3	3,16
	StecaGrid 3600	3,68	3,68
	StecaGrid 8000+ 3ph	8	9,78
	StecaGrid 10000+ 3ph	9,9	10,3

	StecaGrid 3010x	3	3,16
	StecaGrid 3600x	3,68	3,68
	StecaGrid 3203	3,2	3,2
	StecaGrid 4003	4	4
	StecaGrid 3203x	3,2	3,2
	StecaGrid 4003x	4	4
	StecaGrid 4803x	4,8	4,8
	StecaGrid 5503x	5,5	5,5
Tuge Energia	TUGE 50	50	50
Volter Oy 1	Volter 40 Indoor	45	-
Zeversolar New Energy Co.	Evershine TLC8000	8	8,8
	Evershine TLC10000	10	10
	Zeverlution 2000S	2	2,2
	Zeverlution Pro 33K	33	33
Zucchetti Centro Sistemi Spa	Azzurro ZCS 4.4KTL	4	4,4
	Azzurro ZCS 5.5KTL	5	5,5
	Azzurro ZCS 6.6KTL	6	6,6
	Azzurro ZCS 8.8KTL	8	8,8
	Azzurro ZCS 11KTL	10	11
	Azzurro ZCS 12KTL	12	13,2
	Azzurro ZCS 10000TL	10	10
	Azzurro ZCS 15000TL	15	15
	Azzurro ZCS 17000TL	17	17
	Azzurro ZCS 20000TL	20	20
XZERES Wind	Skystream 3.7	2,4	-

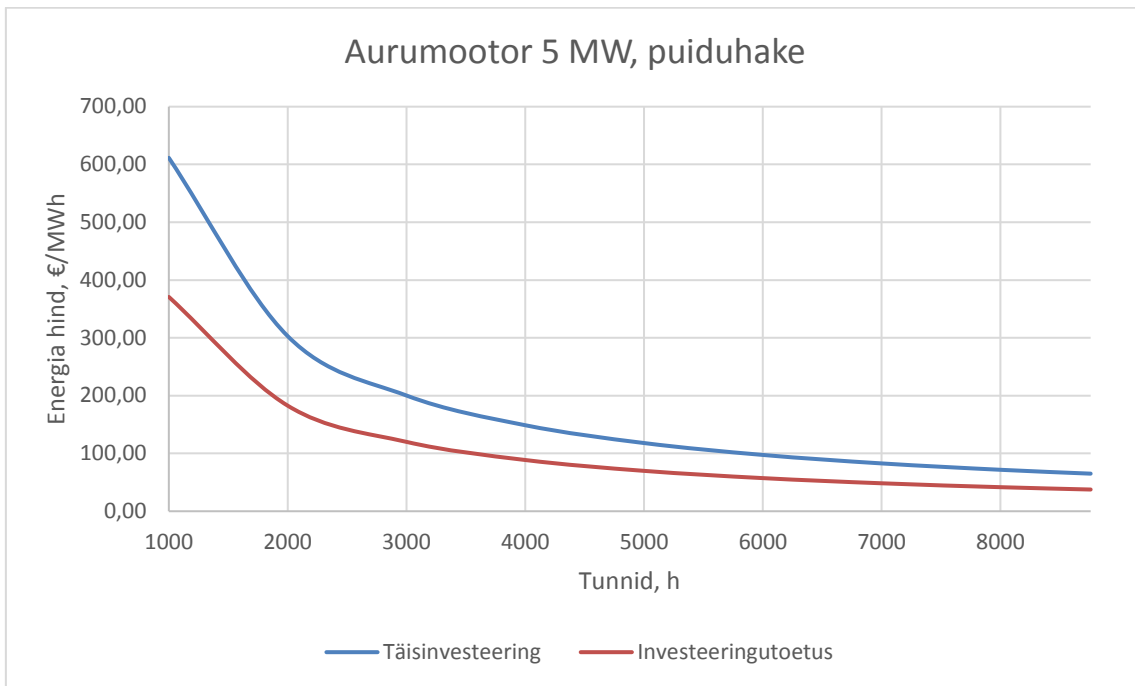
L.2. Kriitiliste piirtingimuste graafikud



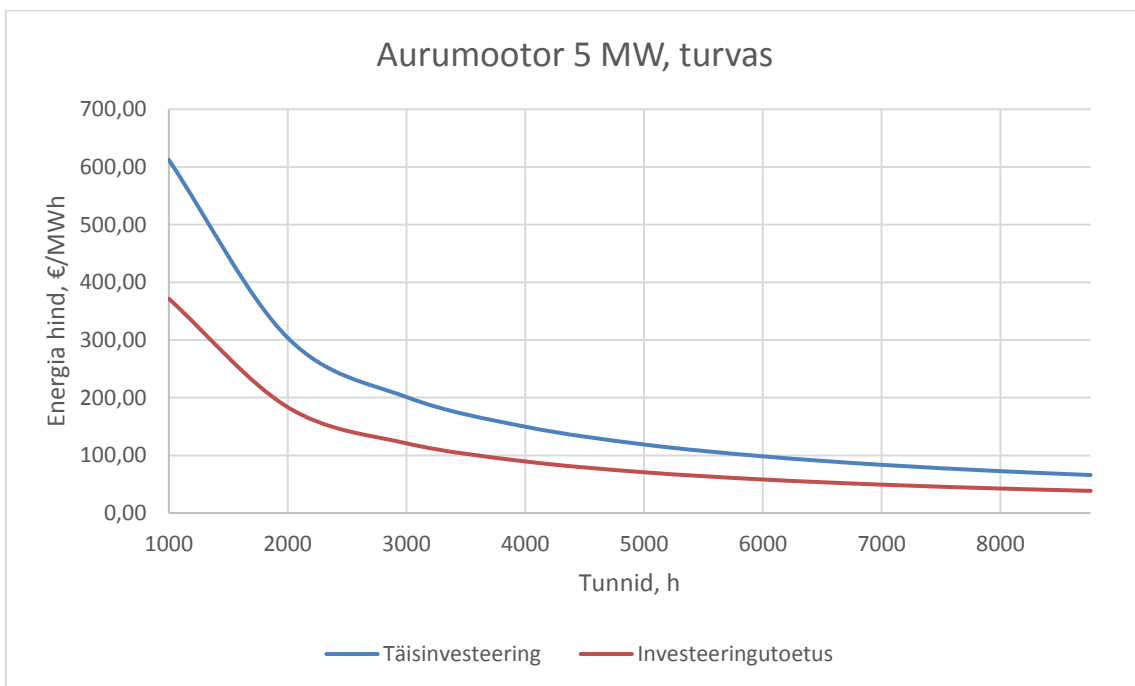
Joonis L.2.1. ühe megavatisse nimivõimsusega puiduhakkkel töötava aurumootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



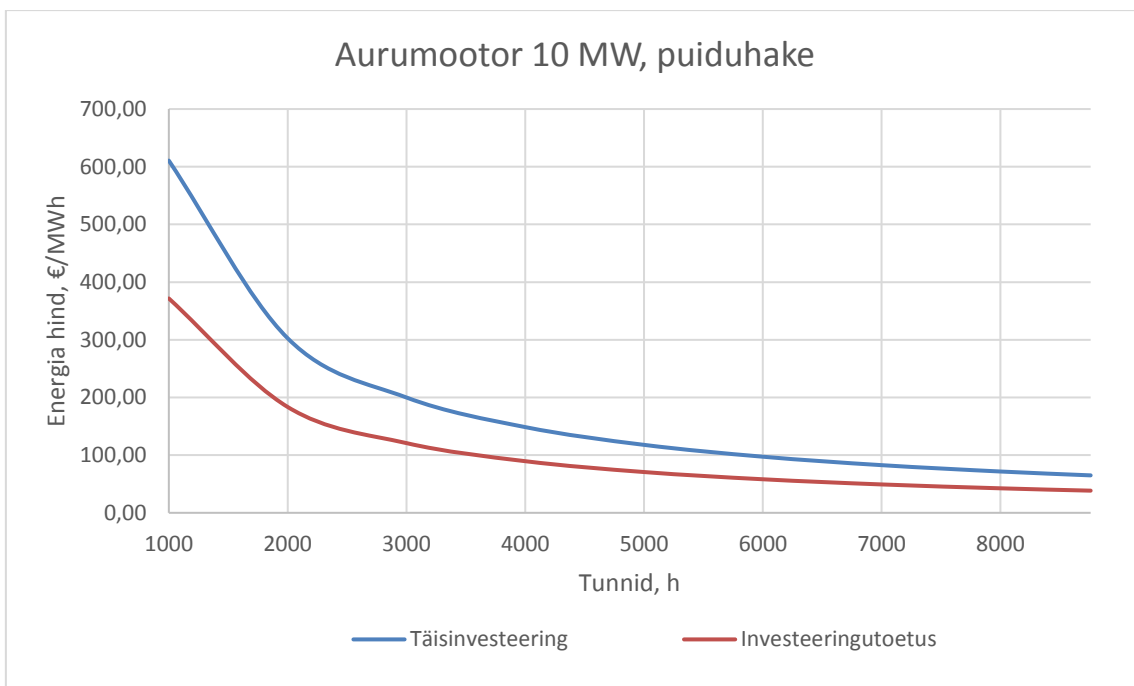
Joonis L.2.2. ühe megavatisse nimivõimsusega turval töötava aurumootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



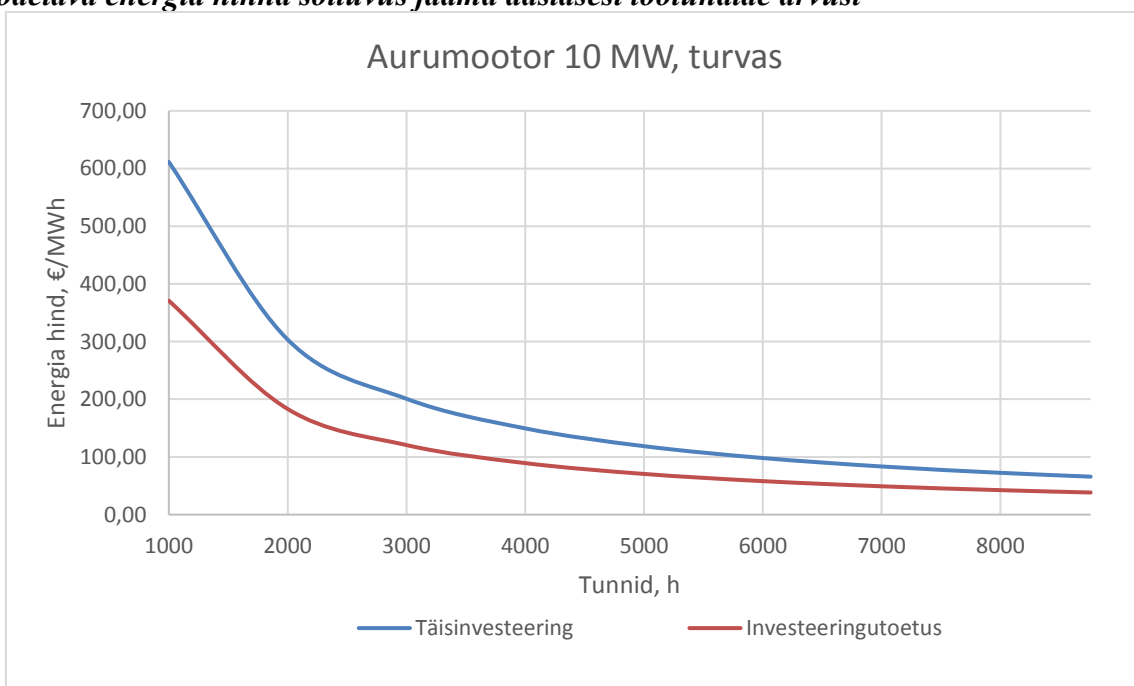
Joonis L.2.3. viie megavatise nimivõimsusega puiduhakkel töötava aurumootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



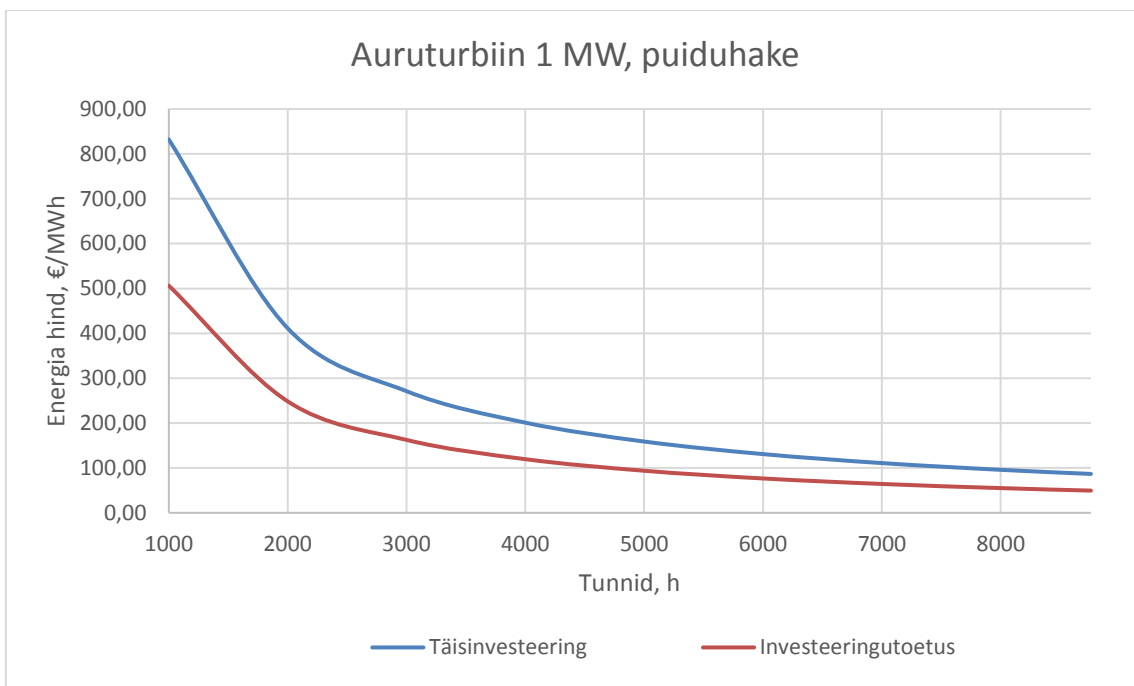
Joonis L.2.4. viie megavatise nimivõimsusega turval töötava aurumootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



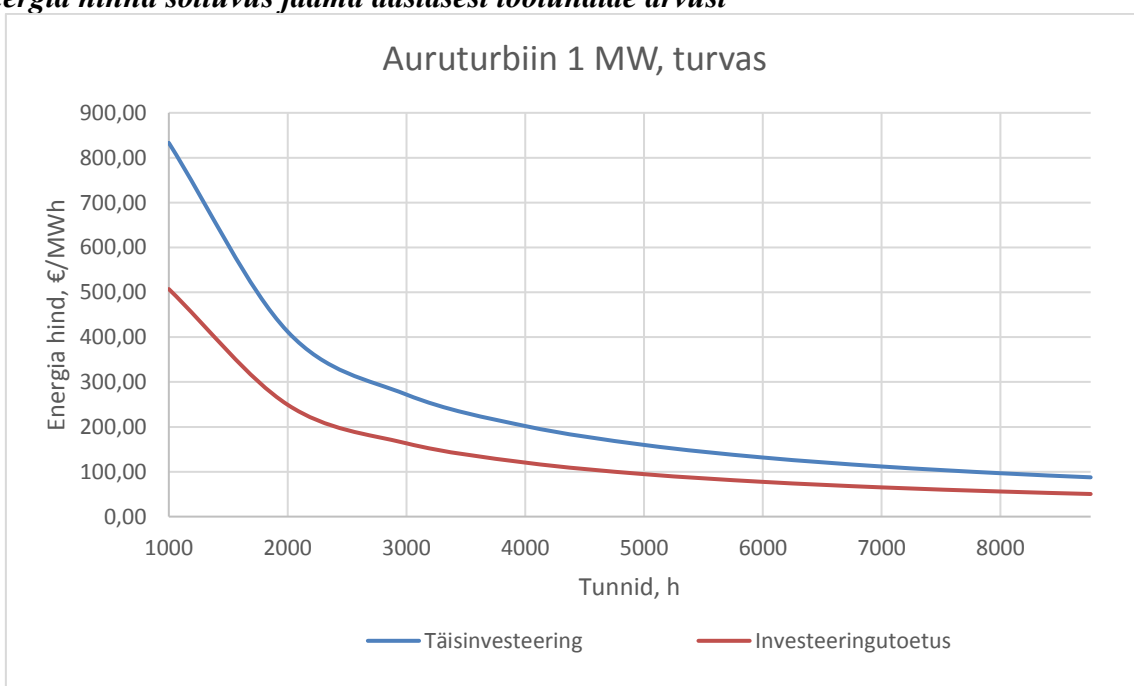
Joonis L.2.5. kümne megavatisse nimivõimsusega puiduhakkel töötava aurumootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



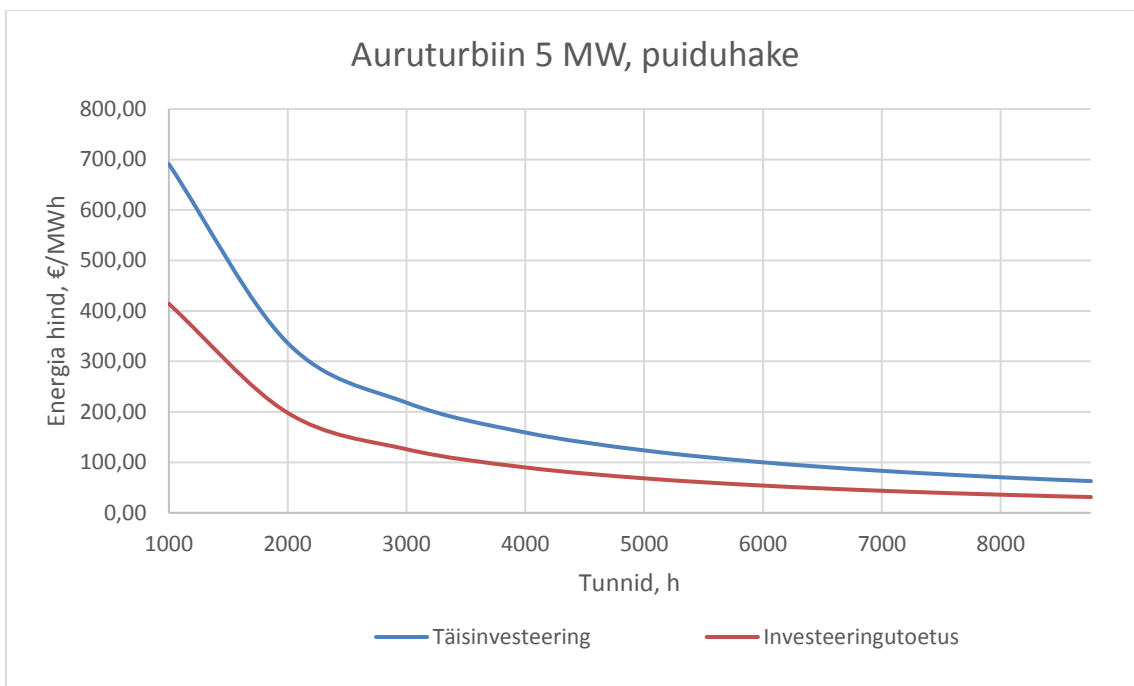
Joonis L.2.6. kümne megavatisse nimivõimsusega turbal töötava aurumootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



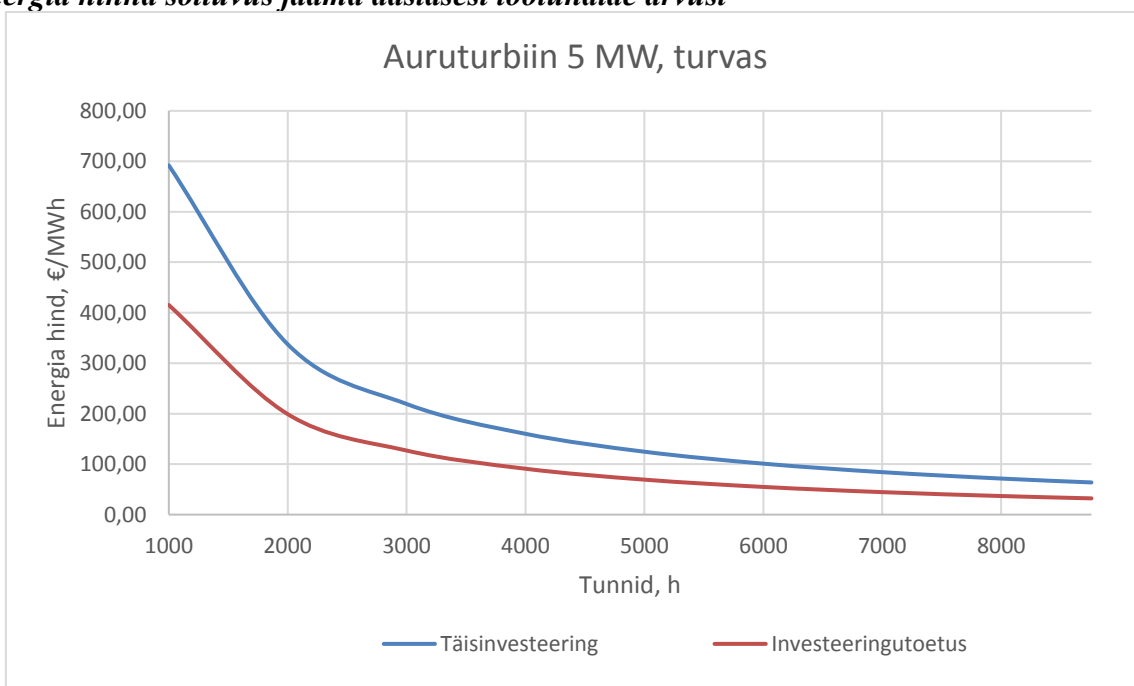
Joonis L.2.7. ühe megavatisse nimivõimsusega puiduhakkel töötava auruturbiini toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



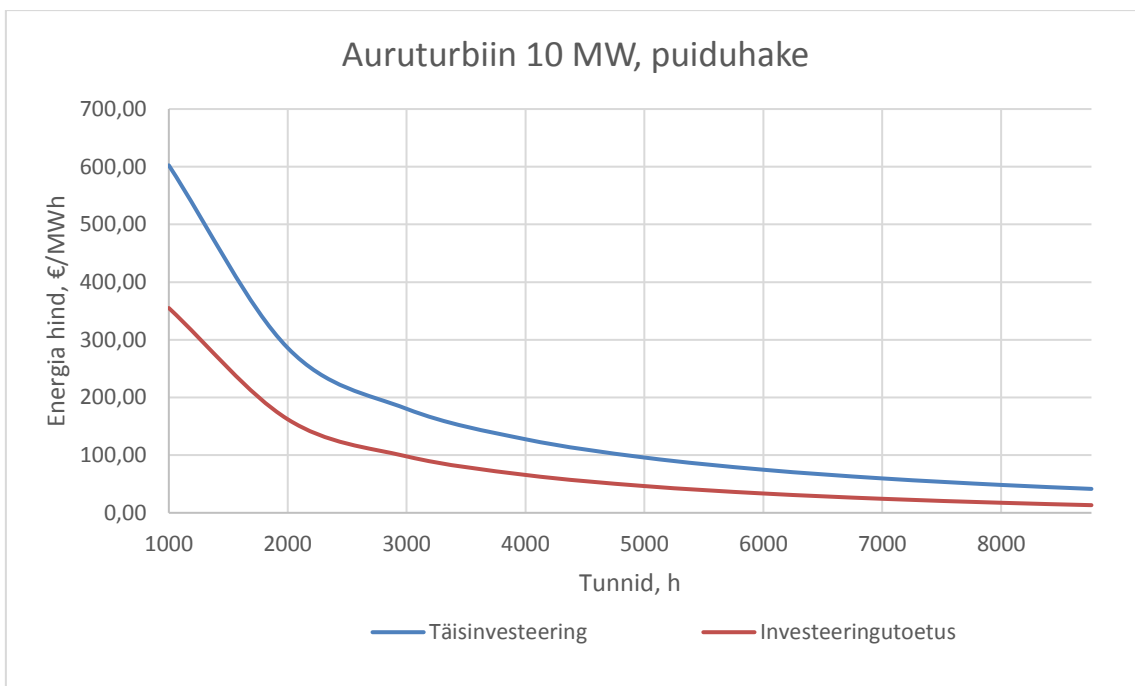
Joonis L.2.8. ühe megavatisse nimivõimsusega turval töötava auruturbiini toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



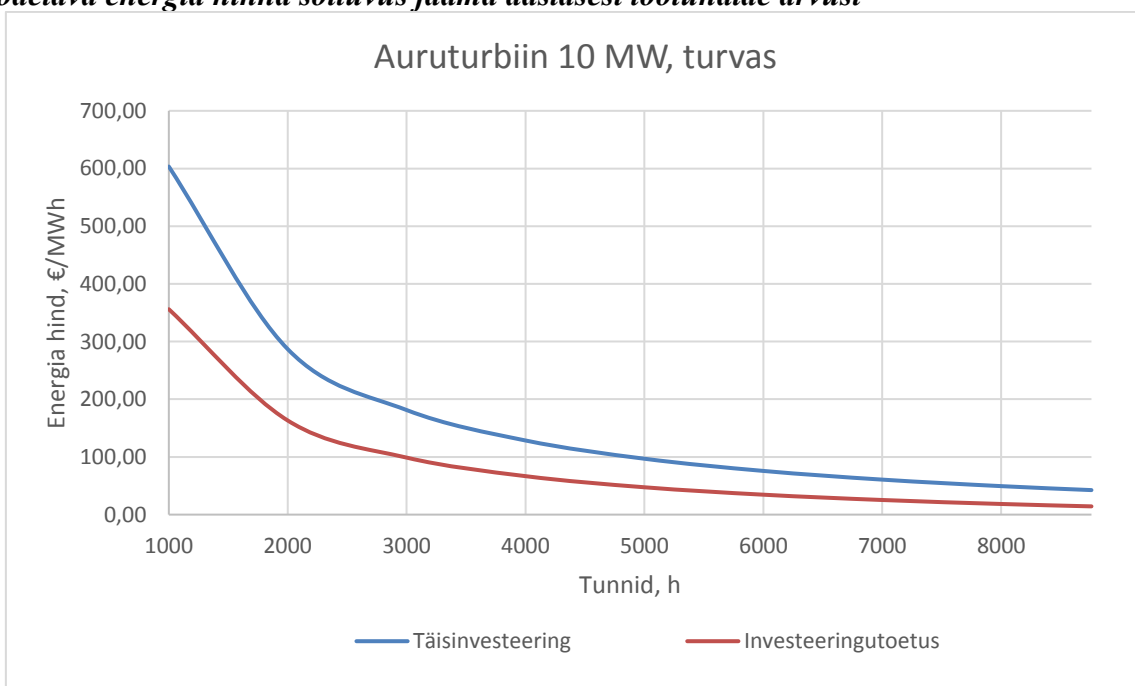
Joonis L.2.9. viie megavatise nimivõimsusega puiduhakkel töötava auruturbiini toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



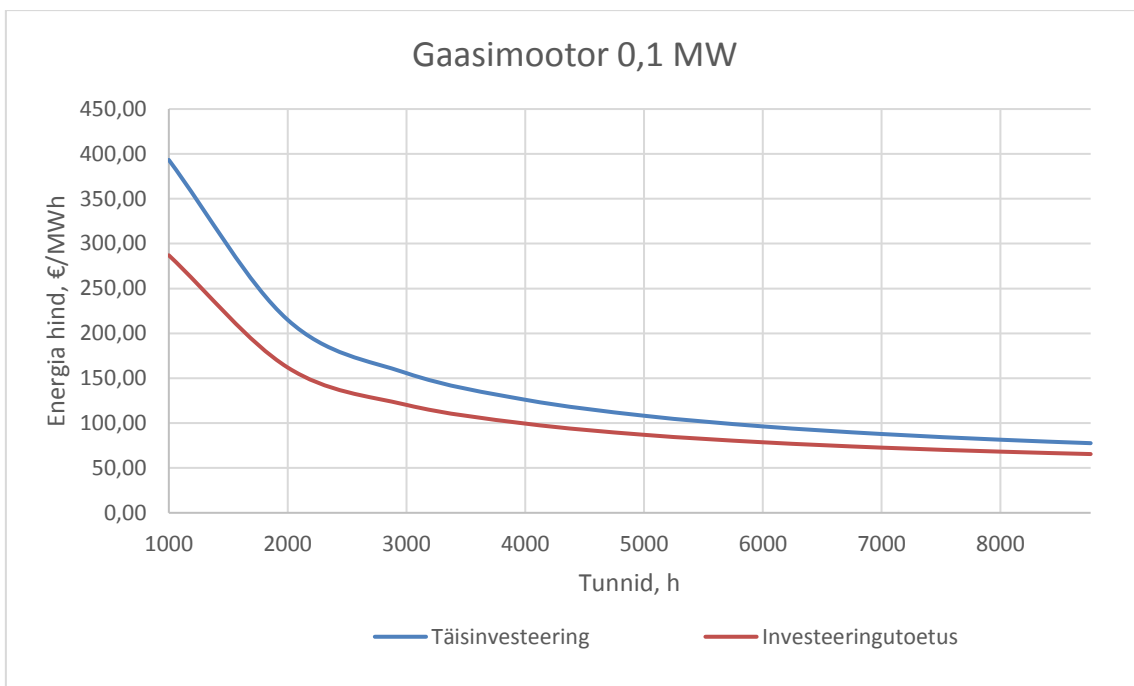
Joonis L.2.10. viie megavatise nimivõimsusega turval töötava auruturbiini toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



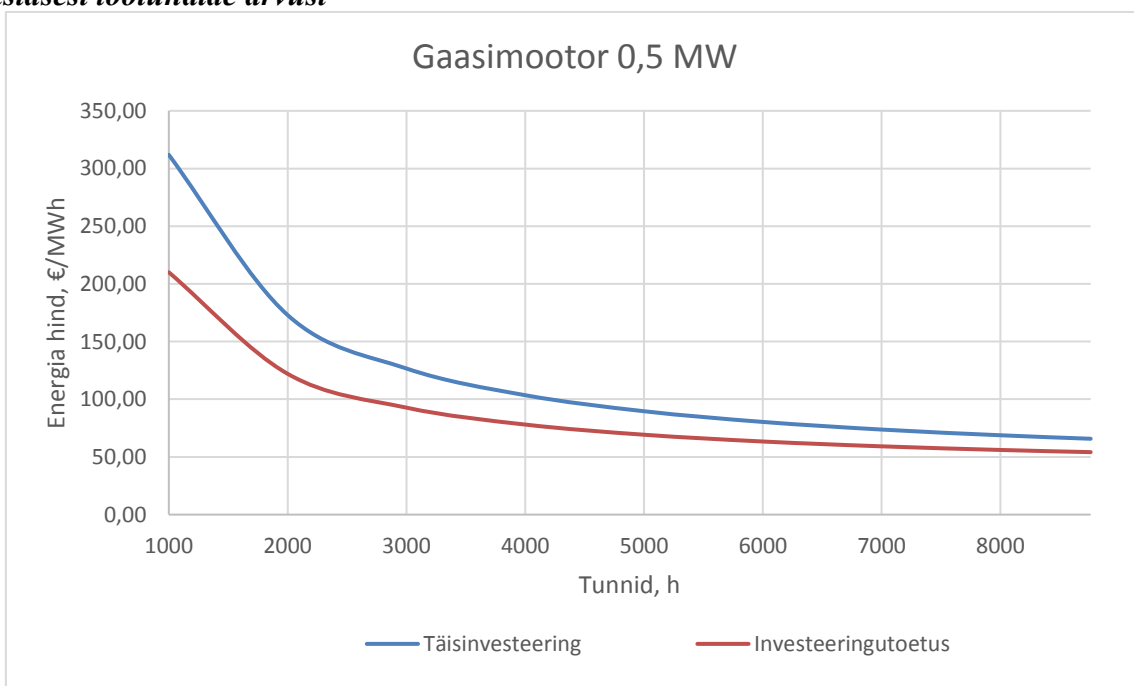
Joonis L.2.11. kümne megavatise nimivõimsusega puiduhakkel töötava auruturbiini toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



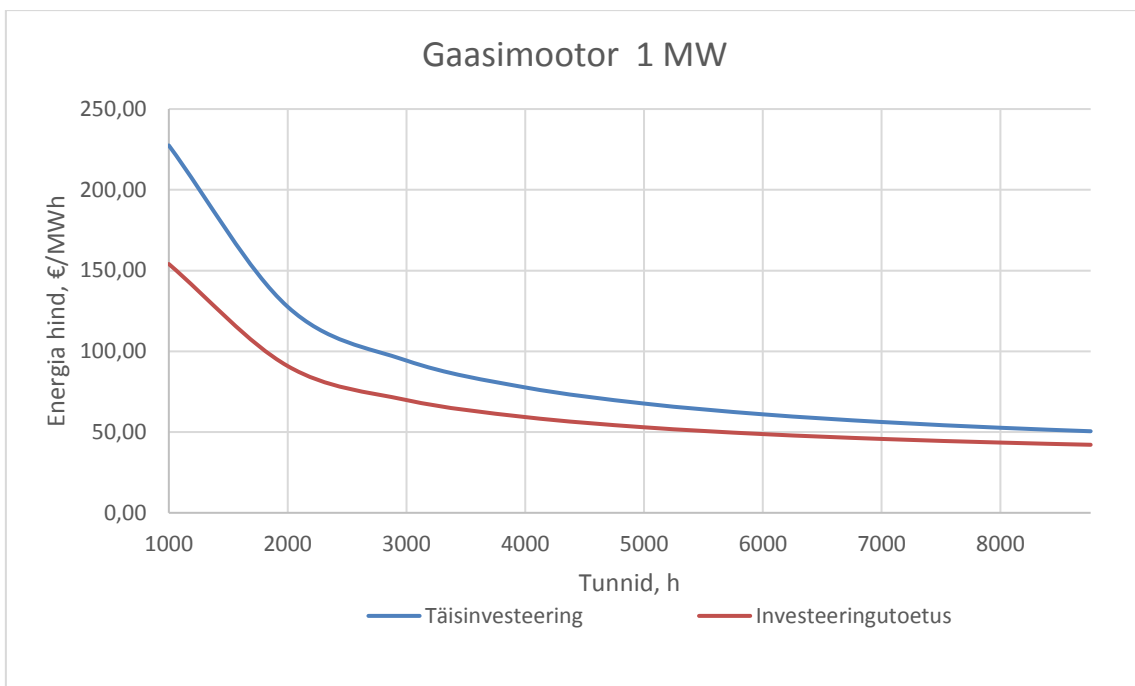
Joonis L.2.12. kümne megavatise nimivõimsusega turbal töötava auruturbiini toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



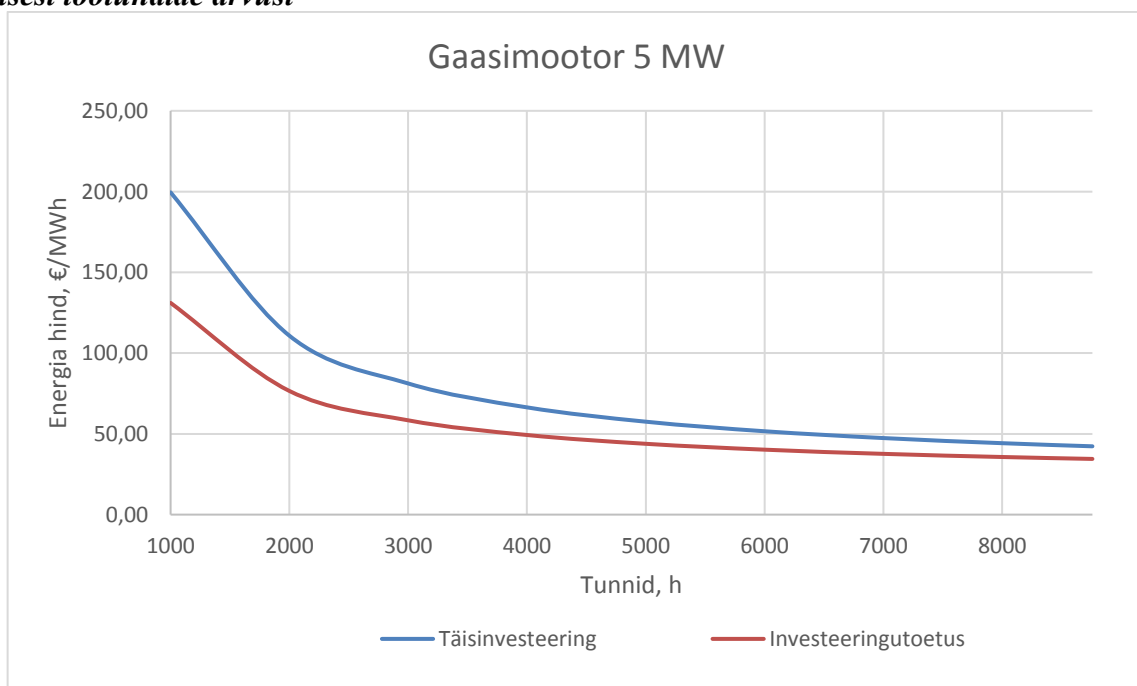
Joonis L.2.13. saja kilovatise gaasimootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



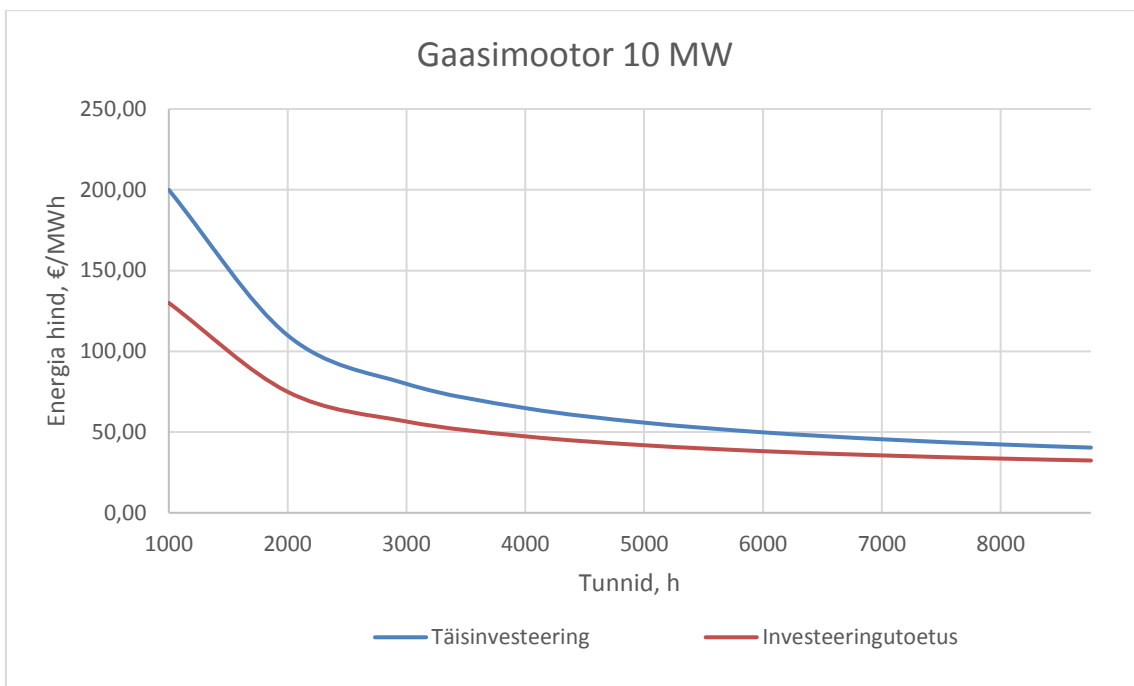
Joonis L.2.14. viiesaja kilovatise gaasimootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



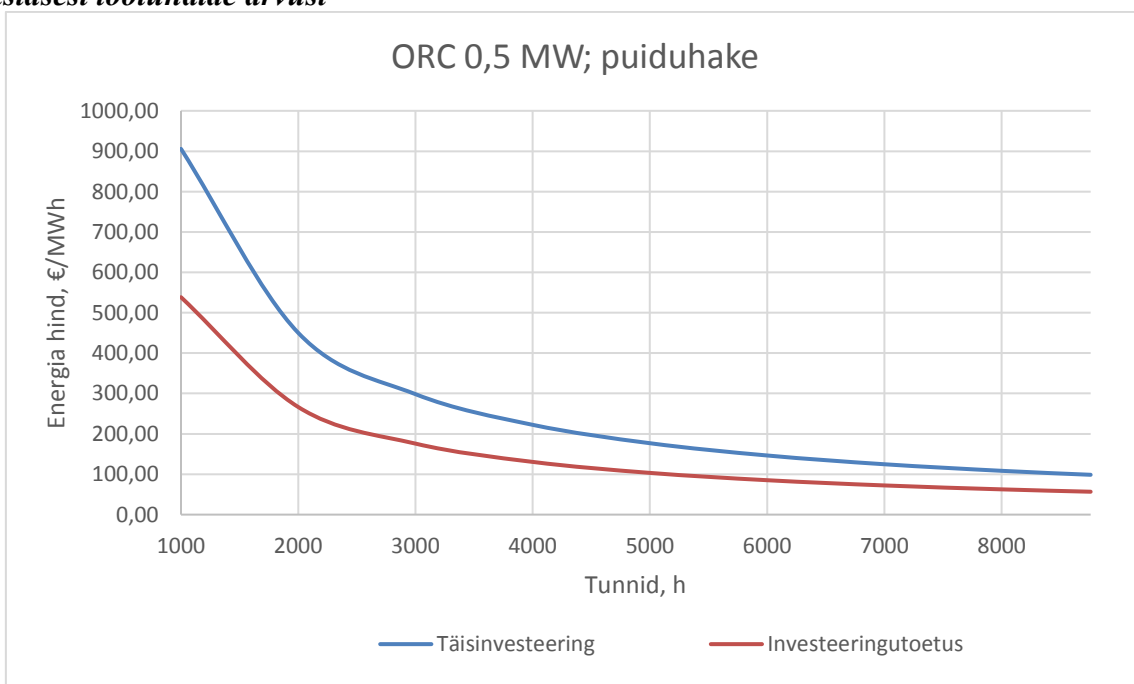
Joonis L.2.15. ühe megavattise gaasimootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



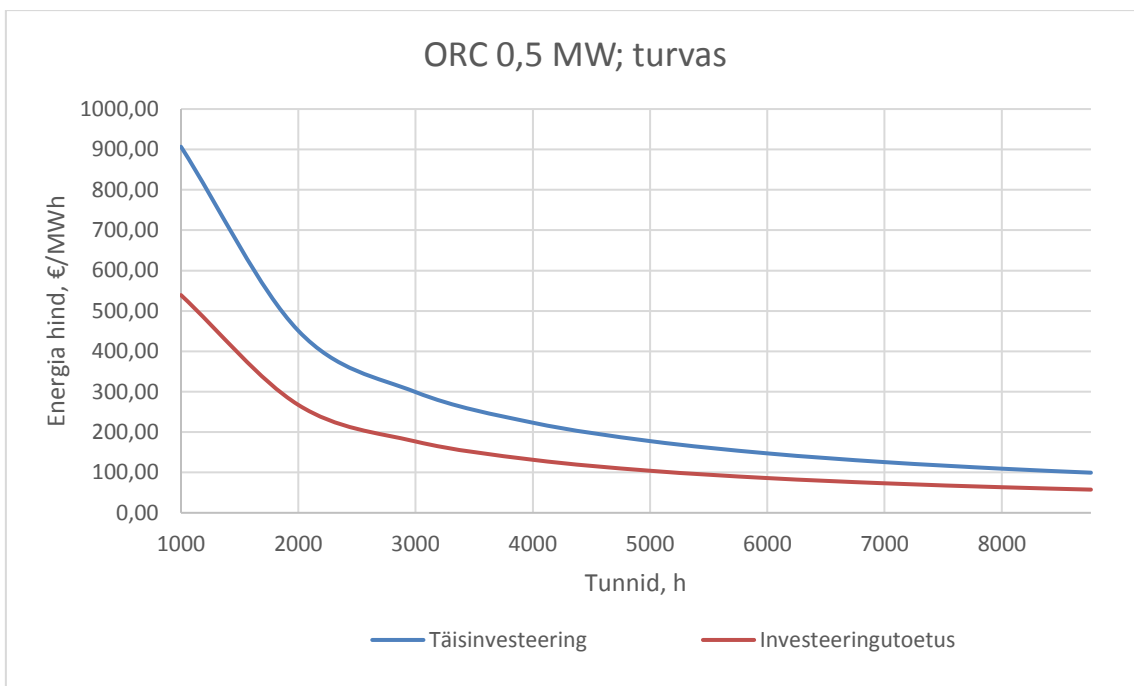
Joonis L.2.16. viie megavattise gaasimootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



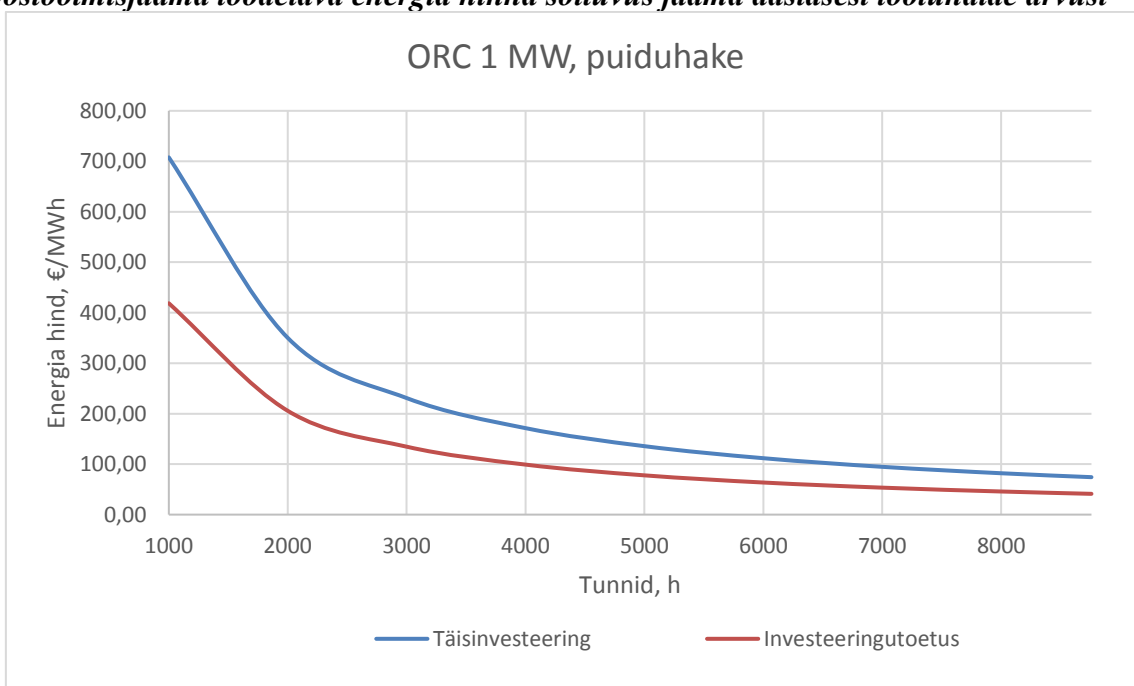
Joonis L.2.17. kümne megavatise gaasimootori toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



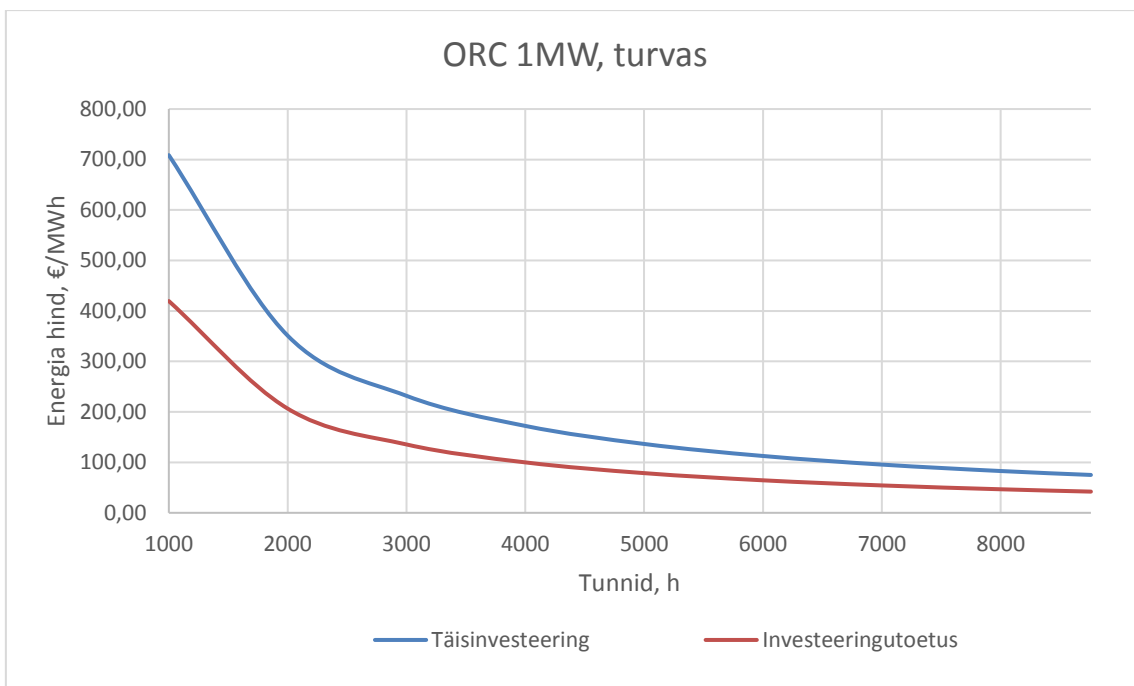
Joonis L.2.18. viiesaja kilovatise nimivõimsusega puiduhakkel töötava ORC tsüklit kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



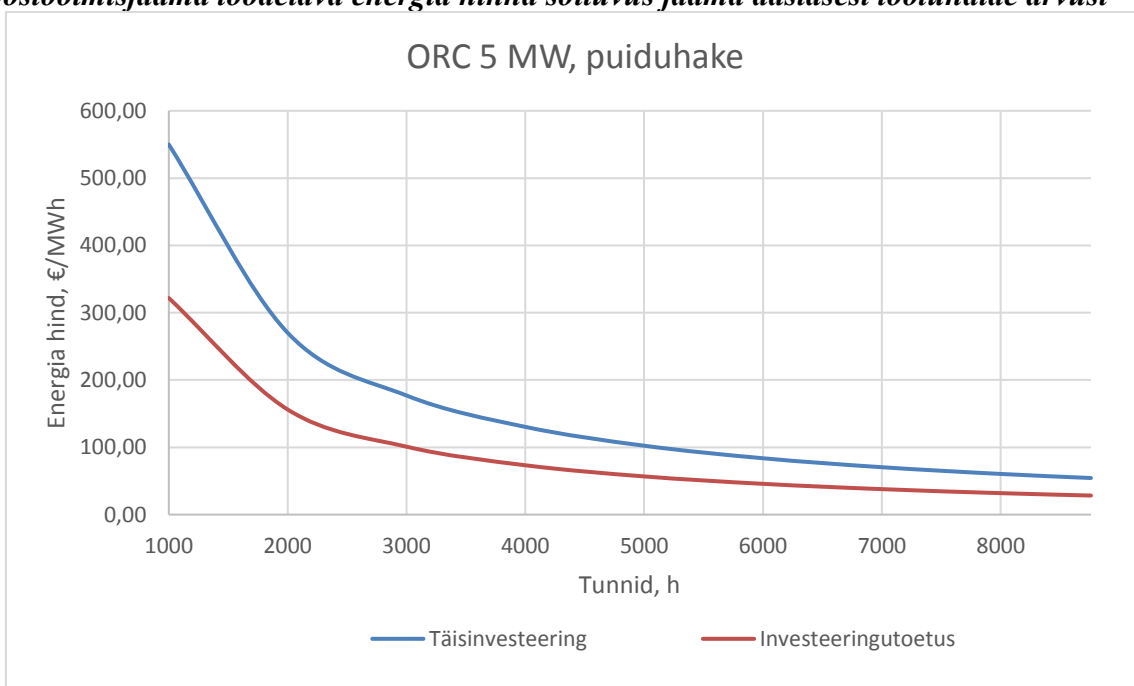
Joonis L.2.19. viiesaja kilovatise nimivõimsusega turbal töötava ORC tsüklit kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



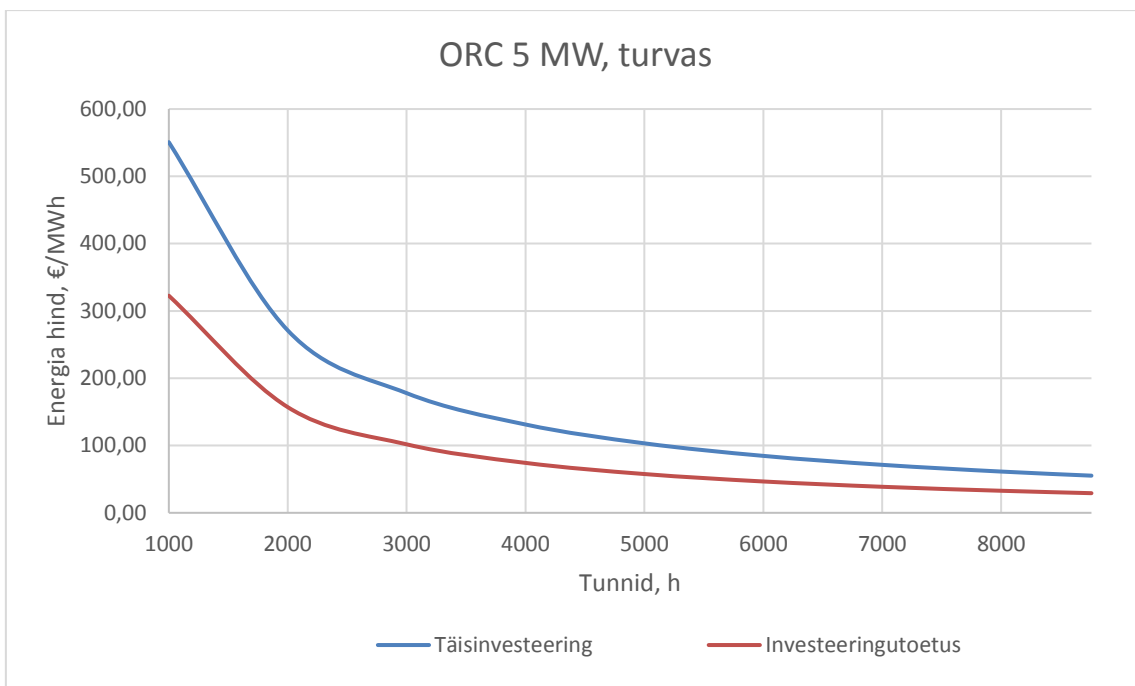
Joonis L.2.20. ühe megavatise nimivõimsusega puiduhakkel töötava ORC tsüklit kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



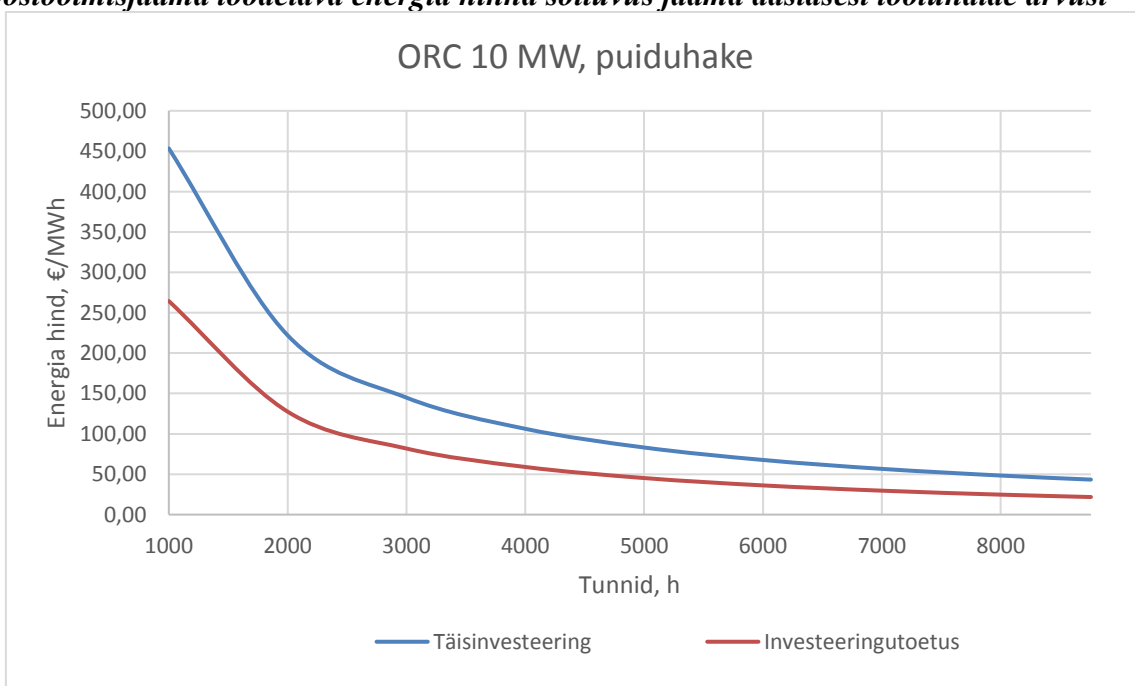
Joonis L.2.21. ühe megavatisse nimivõimsusega turbal töötava ORC tsüklit kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasesest töötundide arvust



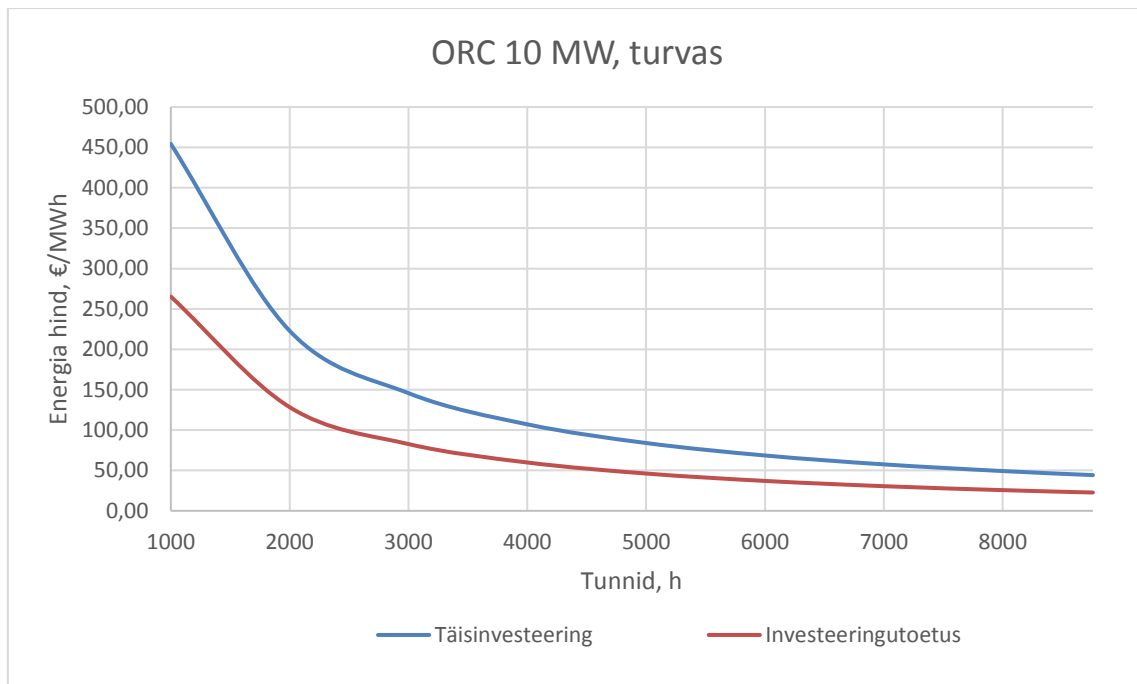
Joonis L.2.22. viie megavatisse nimivõimsusega puiduhakkel töötava ORC tsüklit kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasesest töötundide arvust



Joonis L.2.23. kümne megavatise nimivõimsusega turbal töötava ORC tsükli kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



Joonis L.2.24. kümne megavatise nimivõimsusega puiduhakkel töötava ORC tsükli kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust



Joonis L.2.25. kümne megavatise nimivõimsusega turbal töötava ORC tsükli kasutava koostootmisjaama toodetava energia hinna sõltuvus jaama aastasest töötundide arvust

L.3. Analüüsi lähteandmed ja tulemused

Tabel L.3.1. Kriitiliste püütingimuste arvutustabelid

Tehnoloogia	Elektriline võimsus MW	Soojuslik võimsus MW	Kaategur	Kogu	Kütus	Investeeringukulu M€/MWh	Investeeringukulu €	Tootumind tundi, h
Aurumootor	0.1	0.84	9	85	puiduhake	9	900000	7000
	0.1	0.84	9	85	torvas	2.5%	900000	7000
	0.5	3.04	12	85	puiduhake	7	3500000	7000
	0.5	3.04	12	85	torvas	2.5%	3500000	7000
	1	5.07	14	85	puiduhake	5	5000000	7000
	1	5.07	14	85	torvas	2.5%	5000000	7000
	5	25.36	14	85	puiduhake	3.8	19000000	7000
	5	25.36	14	85	torvas	2.5%	19000000	7000
	10	50.71	14	85	puiduhake	3.8	38000000	7000
	10	50.71	14	85	torvas	2.5%	38000000	7000
Aururublin	0.1	0.84	9	85	puiduhake	9	900000	7000
	0.1	0.84	9	85	torvas	2.5%	900000	7000
	0.5	3.04	12	85	puiduhake	7.7	3850000	7000
	0.5	3.04	12	85	torvas	2.5%	3850000	7000
	1	4.31	16	85	puiduhake	5	5000000	7000
	1	4.31	16	85	torvas	2.5%	5000000	7000
	5	16.25	20	85	puiduhake	4	20000000	7000
	5	16.25	20	85	torvas	2.5%	20000000	7000
	10	24.00	3.3	85	puiduhake	3.3	33000000	7000
	10	24.00	3.3	85	torvas	2.5%	33000000	7000
Gaasimootor	0.1	0.18	30	85	maagaas	1.3	130000	7000
	0.5	0.83	32	85	maagaas	2.5%	600000	7000
	1	1.36	36	85	maagaas	0.8	800000	7000
	5	5.90	40	85	maagaas	2.2	3500000	7000
	10	11.25	40	85	maagaas	0.7	7000000	7000
	0.1	0.55	13	85	puiduhake	7	7000000	7000
	0.1	0.55	13	85	torvas	2.0%	7000000	7000
	0.5	2.54	14	85	puiduhake	5.8	29000000	7000
	0.5	2.54	14	85	torvas	2.0%	29000000	7000
	0.5	2.54	14	85	puiduhake	4.5	4500000	7000
ORC	1	4.67	15	85	puiduhake	4.5	4500000	7000
	1	4.67	15	85	torvas	2.0%	4500000	7000
	5	21.56	16	85	puiduhake	3.5	17500000	7000
	5	21.56	16	85	torvas	2.0%	17500000	7000
	10	43.13	16	85	puiduhake	3.5	29000000	7000
	10	43.13	16	85	torvas	2.0%	29000000	7000

Soojus, MWh/a	Elektriline tootang, MWh/a	Kütuse maskumid €/aastas	Intress	Tagasimakse periood aastraid	O&M €/a	Kütuse kulu MWh/a	Tuha käitlus €/a	Riipilõivud €/a	Saatekulud €/a	Toetuse summa €/a	Aastased kulud kokku, ilma laenuita €/a
532	63	9940	4%	15	22653.8	700	224	160	80.76	3383.10	33068.96
532	63	9100	4%	15	22653.8	700	865	160	759.94	3383.10	34883.74
2355	420	49700	4%	15	88424	3500	1120	160	403.82	22554.00	138687.82
2355	420	45500	4%	15	88424	3500	4025	160	3795.70	22554.00	141908.70
4970	980	99400	4%	15	128862	7000	2240	1440	807.64	52626.00	230749.64
4970	980	91000	4%	15	128862	7000	8950	1440	7595.39	52626.00	234951.39
24850	4900	497000	4%	15	484310	35000	11200	1440	4038.19	263130.00	997988.19
24850	4900	455000	4%	15	484310	35000	40250	1440	37966.97	263130.00	1018996.97
49700	9800	994000	4%	15	968620	70000	22400	1440	8076.38	526260.00	1994536.38
49700	9800	910000	4%	15	968620	70000	89500	1440	75993.95	526260.00	2086553.95
532	63	9940	4%	15	22638.6	700	224	160	80.76	3383.10	33043.36
532	63	9100	4%	15	22638.6	700	865	160	759.94	3383.10	34633.54
2355	420	49700	4%	15	97174	3500	1120	160	403.82	22554.00	148557.82
2355	420	45500	4%	15	97174	3500	4025	160	3795.70	22554.00	156858.70
4890	1120	99400	4%	15	127128	7000	2240	1440	807.64	60144.00	231015.64
4890	1120	91000	4%	15	127128	7000	8950	1440	7595.39	60144.00	235217.39
22750	7000	497000	4%	15	511200	35000	11200	1440	4038.19	375900.00	1024878.19
22750	7000	455000	4%	15	511200	35000	40250	1440	37966.97	375900.00	1045886.97
42000	17500	994000	4%	15	847750	70000	22400	1440	8076.38	939750.00	1873866.38
42000	17500	910000	4%	15	847750	70000	89500	1440	75993.95	939750.00	1915683.95
385	210	36764.10719	4%	15	3922	700	305.75	160	305.75	6720.00	41151.86
1855	1120	18820.536	4%	15	18248	3500	1528.77	160	1528.77	35840.00	203757.31
2480	2630	367641.0719	4%	15	26563	7000	3687.54	1440	3687.54	80640.00	398690.61
16100	13650	388205.36	4%	15	117530	35000	0	1440	15287.71	436800.00	1972463.07
31500	28000	3676410.719	4%	15	228200	70000	0	1440	30575.42	895000.00	3986261.4
504	91	9940	4%	15	14172.9	700	224	160	80.76	4886.70	24577.66
504	91	9100	4%	15	14172.9	700	805	160	759.94	4886.70	24997.84
2485	490	49700	4%	15	58784	3500	1120	160	403.82	26313.00	110167.82
2485	490	45500	4%	15	58784	3500	4025	160	3795.70	26313.00	112268.70
4900	1050	99400	4%	15	91365	7000	2240	1440	807.64	56385.00	195252.64
4900	1050	91000	4%	15	91365	7000	8950	1440	7595.39	56385.00	199454.39
24150	5600	497000	4%	15	357280	35000	11200	1440	4038.19	300720.00	870958.19
24150	5600	455000	4%	15	357280	35000	40250	1440	37966.97	300720.00	891966.97
48900	11200	994000	4%	15	594560	70000	22400	1440	8076.38	601440.00	1620476.38
48900	11200	910000	4%	15	594560	70000	89500	1440	75993.95	601440.00	1662493.95

