



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

# **Lokaalsete elektri- ja soojusenergia koostootmistehnoloogiate majanduslik analüüs tööstuspargi näitel**

**Elektroenergeetika õppekava**

**Energiasüsteemide õppetool**

**Magistritöö**

|                  |      |                      |
|------------------|------|----------------------|
| Õppetooli hoidja | dots | Jako Kilter          |
| Juhendaja        | dots | Reeli Kuhi-Thalfeldt |
| Lõpetaja         |      | Klaus Kopelman       |

**Tallinn 2016**

## **Autori deklaratsioon**

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

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

## Referaat eesti keeles

|   |   |
|---|---|
| <i>Autor:</i> Klaus Kopelman  | <i>Lõputöö liik:</i> Magistriõppe lõputöö |
| <i>Töö pealkiri:</i> Lokaalsete elektri- ja soojusenergia koostootmistehnoloogiate majanduslik analüüs tööstuspargi näitel  |   |
| <i>Kuupäev:</i> 27.05.2016  | 113 lk                                    |
| <i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool   |   |
| <i>Teaduskond:</i> Energeetikateaduskond  |   |
| <i>Instituut:</i> Elektroenergeetika Instituut  |   |
| <i>Õppetool:</i> Energiasüsteemide õppetool   |   |
| <i>Töö juhendaja:</i> Reeli Kuhu-Thalfeldt  |   |
| <p><i>Sisu kirjeldus:</i></p> <p>Käesoleva magistritöö eesmärgiks on analüüsida erinevate soojus- ja elektrienergia koostootmislahenduste tehnilisi eeliseid ja puuduseid ning hinnata nende majanduslikku tasuvust Keila Tööstuspargi näitel.</p> <p>Töö käigus antakse ülevaade koostootmisest ja selle energiatootmistehnoloogia arengut Eestis, analüüsitakse erinevaid koostootmistehnoloogiaid ning simuleeritakse nende käitu Keila Tööstuspargi tarbimise põhjal energyPRO tarkvara abil. Vaadeldakse kolme erineva koostootmistehnoloogia (sisepõlemismootor, auruturbiin ja orgaaniline Rankine`ringprotsess) majanduslikku tasuvust olukorras, kus AS Entek hakkab tööstuspargile soojust tootma puiduhakkkel või gaaskütusel töötava koostootmisjaama abil.</p> <p>Töö tulemustest selgub, et tehniliselt ja majanduslikult on kõige tasuvam koostootmistehnoloogia sisepõlemismootoriga koostootmisjaama lahendus elektrilise väljundvõimsusega 1,2 MW ning soojusliku väljundvõimsusega 4,7 MW. Terviklahenduse ehitamine läheb vaadeldud tingimustes maksma 1 976 719 € ning investeringu tasuvusaeg on 3,85 aastat. Seejuures on koostootmisjaama rentaablus tema 15 aastase eluea jooksul 5 638 355 €, puhasnüüdisväärtus (NPV) 1 965 922 € ning tasuvusnäitaja (PI) 2,0. Teised kaks vaadeldud koostootmistehnoloogiat ei ole majanduslikult tasuvad vaatamata sellele, et need toodavad vaadeldud 15-aastase perioodi jooksul samuti positiivseid rahavoogusid.</p> <p>Keila Tööstuspargil tasub kindlasti seniselt soojuse tootmise viisilt üle minna koostootmisele ning antud tehnoloogia rakendamist võiks kaaluda ka teistes tööstusparkides üle Eesti.</p> |   |
| <i>Märksõnad:</i> Hajatootmine, koostootmisjaam, simuleerimine, majanduslik tasuvus, elektritootmine.   |   |

## Abstract in English

|  |  |
|--|--|
| <i>Author: Klaus Kopelman</i>  | <i>Kind of the work: Master`s thesis</i> |
| <i>Title: Local heat and electricity cogeneration technologies economic analyses with an industrial park example.</i>  |  |
| <i>Date: 27.05.2016</i>  | <i>113 pages</i>                         |
| <i>University: Tallinn University of Technology</i>  |  |
| <i>Faculty: Power Engineering</i>  |  |
| <i>Department: Electrical Power Engineering</i>  |  |
| <i>Chair: Energy Systems Engineering</i>   |  |
| <i>Tutor of the work: Reeli Kuhi- Thalfeldt</i>  |  |
| <p><i>Abstract:</i></p> <p>Purpose of this diploma work is to analyse different combined heat and power technologies, their technical advantages and disadvantages and also evaluate their profitability in the Keila Industrial Park example.</p> <p>During the work the overview about the cogeneration and its development in Estonia will be given, different technologies and their operating will be analysed with EnergyPRO software based on Keila Industrial Park heat and electricity consumption. Three different technologies economic analyses will be done in the situation, where AS Entek will start producing heat for industrial park with the CHP using wood chips or natural gas.</p> <p>It is concluded that from the technical and economical point of view the most profitable CHP technology will be gas engine CHP with the electrical output 1,2 MW and thermal output 4,7 MW. The complete solution construction and set up will cost 1 976 719 € and the payback time in the analysed conditions will be 3,85 years. In doing so, the profitability will be 5 638 355 € during its 15 years life-cycle, net present value (NPV) 1 965 922 € and PI 2,0. The other two analysed CHP technologies are not economically profitable, despite they produced positive cash-flow during 15 years.</p> <p>Keila Industrial Park should consider to start producing head and electricity with CHP and that technology should be implemented in the other industrial parks in Estonia as well.</p> |  |
| <p><i>Key words: distributed generation, cogeneration plant, simulation, economic efficiency, electricity production</i></p>   |  |

# Sisukord

|  |            |
|--|------------|
| <b>Lõputöö ülesanne.....</b>   | <b>6</b>   |
| <b>Eessõna .....</b>   | <b>9</b>   |
| <b>1. Sissejuhatus.....</b>  | <b>10</b>  |
| <b>2. Keila Tööstuspargi ülevaade .....</b>  | <b>16</b>  |
| 2.1 Üldine ülevaade ja piirkonna energiaallikad.....                                   | 16         |
| 2.2 Elektrienergia aastane tarbimine ja kulud.....                                     | 18         |
| 2.3 Kütteõli ja sellest toodetud soojusenergia aastane tarbimine ning kulu.....        | 20         |
| 2.4 Soojus- ja elektrienergia müügitulud ja kasum.....                                 | 23         |
| <b>3. Soojus- ja elektrienergia koostootmise tehnoloogiad.....</b>                     | <b>26</b>  |
| 3.1 Sisepõlemismootoril põhinev koostootmistehnoloogia .....                           | 27         |
| 3.2 Auruturbiintehnoloogia.....  | 32         |
| 3.3 Rankine`ringprotsessil põhinev koostootmistehnoloogia .....                        | 37         |
| <b>4. EnergyPRO tööpõhimõte ja selle sisendparameetrite kirjeldus .....</b>            | <b>41</b>  |
| 4.1. Simuleerimistarkvara energyPRO tööpõhimõte .....                                  | 41         |
| 4.2. Sisendparameetrite kirjeldamine.....  | 43         |
| <b>5. Erinevate koostootmistehnoloogiate käidu simulatsioonid .....</b>                | <b>54</b>  |
| 5.1 Simulatsioon 1- Sisepõlemismootoriga koostootmisjaam .....                         | 55         |
| 5.2 Simulatsioon 2- auruturbiintehnoloogial koostootmisjaam .....                      | 61         |
| 5.3 Simulatsioon 3- orgaanilisel Rankine` ringprotsessil põhinev koostootmisjaam ..... | 67         |
| <b>6. Koostootmisjaama kapitali- käidu- ja hoolduskulud.....</b>                       | <b>73</b>  |
| 6.1 Sisepõlemismootoriga koostootmisjaama kulud.....                                   | 73         |
| 6.2 Auruturbiiniga CHP kulud .....   | 75         |
| 6.3 Orgaanilise Rankine`CHP kulud.....   | 76         |
| 6.4 Kulude analüüs.....  | 78         |
| <b>7. Rahavoogude prognoos ja tasuvusanalüüs .....</b>                                 | <b>79</b>  |
| 7.1 Laenusumma suurus.....   | 79         |
| 7.2 Energiahinnad .....  | 82         |
| 7.3 Koostootmisjaamade kogutulud.....  | 84         |
| 7.4 Koostootmisjaamade kogukulud.....  | 86         |
| 7.5 Rahavood ja majanduslikud parameetrid koostootmisjaama eluea jooksul.....          | 88         |
| <b>8. Investeeringu tundlikkuse ja riskianalüüs, parima alternatiivi valik .....</b>   | <b>97</b>  |
| 8.1 Stsenaarium 1 tundlikkuse analüüs .....  | 98         |
| 8.2 Stsenaarium 2 tundlikkuse analüüs .....  | 99         |
| 8.3 Stsenaarium 3 tundlikkuse analüüs .....  | 100        |
| <b>Lõputöö kokkuvõte .....</b>   | <b>102</b> |
| <b>Kasutatud kirjandus .....</b>   | <b>106</b> |
| <b>Lisad .....</b>   | <b>111</b> |

# Lõputöö ülesanne

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Lõputöö teema:             | <b>Lokaalsete elektri- ja soojusenergia koostootmistehnoloogiate majanduslik analüüs tööstuspargi näitel</b> |
| Üliõpilane:                | <b>Klaus Kopelman, 112434</b>  |
| Lõputöö juhendaja:         | <b>Reeli Kuhi-Thalfeldt</b>  |
| Õppetool:                  | <b>Energiasüsteemide õppetool</b>  |
| Õppetooli hoidja:          | <b>Jako Kilter</b>   |
| Lõputöö esitamise tähtaeg: | <b>27. mai 2016, kell 15:00</b>  |

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppetooli juhataja (allkiri)

## Teema põhjendus:

Käesolev teemavalik tuli isiklikust huvist uurida detailselt erinevaid koostootmise tehnoloogiaid ning nende plusse ja miinuseid. Bakalaureuse töös sai uuritud ja analüüsitud lokaalse soojus- ja elektrienergia koostootmisjaama majanduslikku tasuvust sisepõlemismootori tehnoloogial Interconnect Product Assembly AS tootmishoone näitel. Kuna teostatud tasuvusarvutuste tulemused tulid head ning töö järel dustes toodi välja, et lokaalsete koostootmisjaamade rajamine on Eesti oludes majanduslikult tasuv, tuleb antud energiatootmistehnoloogiat kindlasti Eestis edendada ja taoliseid jaamu enam kohalikku energiasüsteemi integreerida.

Kui bakalaureusetöös analüüsiti lokaalset soojus- ja elektrienergia koostootmistehnoloogia majanduslikku tasuvust üksiku hoone näitel, siis käesolevas magistritöös uuritakse antud energiatootmisviisi erinevaid tehnoloogiaid suurema piirkonna näitel hindamaks, milline on majanduslik tasuvus olukorras, kus ühe piirkonnana on käsitletud hoonete gruppi.

Kuna lähtuvalt Energiamajanduse arengukavast (ENMAK) on tarvis Eesti energeetikas arendada hajutatud tootmist, sealhulgas soojuse- ja elektrienergia koostootmist, annab käesolev töö sisendi Eestis asuvatele ettevõtetele ja tööstuspiirkondadele oma energiatootmisseedme

rajamiseks ning seeläbi ENMAKis väljatoodud koostootmise edendamise punkti realiseerida. Hajaenergeetika edendamiseks Eestis on tarvis välja pakkuda uusi, alternatiivseid ja jätkusuutlikke elektri- ja soojusenergia tootmise viise, mis suudaksid tsentraalse tootmisega konkureerida ning samas vastata elektrivõrgu stabiilsuse kriteeriumitele.

### **Töö eesmärk:**

Lõputöö eesmärgiks on koostada tootmise simulatsioon energyPRO mudeliga elektri ja soojuste koostootmisjaama rajamiseks Keila tööstuspiirkonda (Harju Elekter + Harju KEK) ning hinnata selle majanduslikku tasuvust.

Uuritakse erinevate koostootmistehnoloogiate (gaasimootor, auruturbiin, orgaanilise Rankine'i ringprotsessil koostootmine) eeliseid ja puuduseid (tootmise paindlikkus, tasuvus, toetuste saamine jne). Täiendavalt analüüsitakse soojuste salvestamise kasutamise otstarbekust.

### **Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

- 1) Milline oleks sobilik koostootmisjaama elektriline ja soojuslik võimsus, et oleks rahuldatud Keila Tööstuspargi soojuskoormus ning toodetakse võimalikult suur osa tööstuspargis tarbitavast elektrienergiast?
- 2) Millised on olemasolevad koostootmistehnoloogiad (turuküpsed lahendused) lähtuvalt vaadeldava piirkonna jaoks sobilikule koostootmisjaama võimsusele?
- 3) Millistel tingimustel on majanduslikult otstarbekas kasutada tööstuspiirkonna tarbeks soojuste tootmiseks katla asemel koostootmisjaama?

### **Lähteandmed:**

- Harju Elektri ja KEKi tööstuspiirkonna kirjeldus ja tehniline plaan
- Kuupõhine soojusenergia tarbimine tööstuspiirkonnas
- Olemasoleva katlamaja kütuse tarbimiskogused tööstuspiirkonnas
- Olemasoleva katlamajas kasutatava kütuse hind tööstuspiirkonnas
- Toodetava soojuste müügihind piirkonnas asuvatele klientidele
- Olemasoleva katlamaja hoolduskulud ja muud kulud
- Tööstuspiirkonna elektrienergia tarbimisandmed
- Elektrienergia ja maagaasiostuhinnad vaadeldavas piirkonnas

- Elektri- ja gaasituru põhimõtted, seadustik ja maksusüsteem
- Eleringi taastuvenergia tasude ja toetuste määrad
- Vaadeldavate koostootmislahenduste tehniline dokumentatsioon
- Loengukonspekt „Hajaenergeetikaobjektide investeringute hindamiseks- projekt“
- Loengukonspekt „Energiasüsteemide ökonomika“
- Aruanded
- Teadusartiklid
- Raamatud-> otsida andmebaasidest
- ENMAK
- Elektriturseadus
- Elektrilevi liitumise tingimused
- Võrgueeskiri (Riigiteataja)



## Eessõna

Magistritöö teema valikul sai määravaks eelkõige isiklik huvi lokaalsete koostootmisjaamade tehnoloogiate ning nende majandusliku tasuvuse vastu. Lisaks sellele reaalse probleemi püstitus, selle analüüsimine ja lahendamine Keila Tööstuspargi ning seeläbi AS Enteki energiakulude optimeerimisel.

Täna juhendajat Reeli Kuhi-Thalfeldt'i, kes aitas magistritöö struktuuri koostamisel ja kirjutamise juhendamisel. Magistritöö kirjutamiseks vajalike energia tarbimisandmete ning kirjutamise käigus tekkinud spetsiifiliste küsimuste lahendamise eest täna Jaan Seid, Peeter Salu ja Riho Reinolat AS Entekist ning välisõhu tunnipõhiste temperatuuriandmete eest täna Keskkonnaagentuuri.

Lisaks täna Kristit (Interconnect Product Assembly AS), kes on olnud mulle toeks magistritöö kirjutamisel ning võimaldanud paralleelselt töökohustuste kõrvalt ülikoolis käimist ning kõige enam täna oma ema, isa, õde, vanaema ja vanaisa, kes on olnud alati suureks toeks minu õpingute jooksul.

Klaus Kopelman

+372 5811 8842

# 1. Sissejuhatus

Lähtuvalt Eesti energiamajanduse riiklikust arengukavast aastani 2020 (ENMAK) on tarvis saavutada aastaks 2020 soojus- ja elektrienergia koostootmisjaamades toodetud elektrienergia osakaaluks 20 % brutotarbimisest. Antud eesmärgi saavutamiseks ja koostootmise edendamiseks rakendati 2007. aastal vastavad koostootmise toetusskeemid, mis on soodustanud koostootmisjaamade rajamist ning seeläbi antud jaamade poolt toodetud elektrienergia osakaalu suurenemist. [1]

Samuti seab Eesti pikaajaline energiamajanduse arengukava 2030+ muuhulgas eesmärgiks, et aastaks 2030 peavad olema tagatud Euroopa Liidu pikaajalised energia- ja kliimapoliitika eesmärgid ning sisemaine primaarenergia tarbimine on 10 % väiksem võrreldes 2012. aastaga. Seejuures kuuluvad Euroopa Liidu pikaajaliste energia- ja kliimapoliitika eesmärkide alla primaarenergia kasutamise vähendamine 25% võrra 2030. aastal võrreldes 2007. aasta tarbimisega. Samuti on eesmärk vähendada kasvuhoonegaaside heidet 40% aastaks 2030 võrreldes 1990. aastaga. Antud eesmärgi aitab täita soojus- ja elektrienergia koostootmine lokaalsel tasemel, kuna lokaalsel tasemel tootes ei teki energia ülekandmisest tekkivaid võrgukadusid. Samuti kasutatakse koostootmise protsessis kasutatav kütus efektiivselt ära, kuna koostootmise kasutegur on kõrgem kui soojust ja elektrit eraldi tootes. Seeläbi tekib primaarenergia sääst. Samuti on tänu koostootmisjaamade poolt kasutatavatele kütustele nagu gaaskütused ja puiduhake väiksemad keskkonnamõjud, kuna kütus kasutatakse protsessis peaaegu täielikult ära ning jääkproduktide hulk ning keskkonnale kahjulike heitmete kogused on minimaalsed. [2]

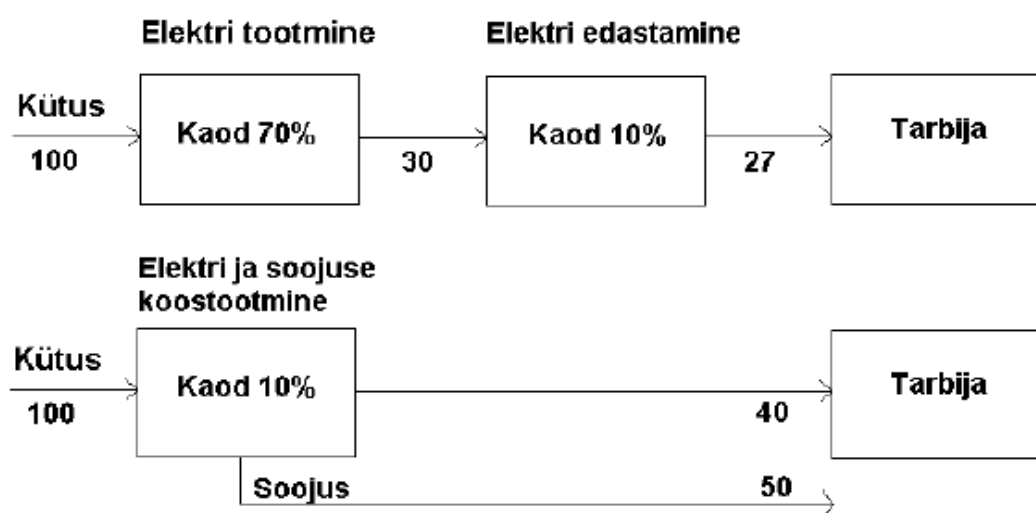
Elektri ja soojuse koostootmine on protsess, kus ühest seadmest väljastatakse samaaegselt kahte liiki energiat- mehaanilist energiat ja soojust. Erinevalt klassikalisest elektrijaamast, kus elektri tootmise käigus tekkinud soojus väljub keskkonda ning see ebaefektiivselt maha jahutatakse, kasutab koostootmine tekkinud soojuse hoonete kütmiseks ja säästab seega nii kütust kui ka raha. Antud kontekstis käsitletakse soojust kui energiahulka, mida saab kasutada tehnoloogilistes protsessides, tarbevee soojendamiseks ja ruumide kütteks või absorptsioonil põhinevate jahutusprotsesside käitamiseks kaugjahutussüsteemides. Mehaaniline energia muundatakse üldjuhul elektrienergiaks, kuid seda saab kasutada ka pumpade, kompressorite ja ventilaatorite otseseks käitamiseks tootmisprotsessides. [3]

Koostootmises saab kasutada paljusid energiaallikaid, nii fossiilseid kütuseid nagu näiteks kivisüsi, põlevkivi, diiselkütus, kütteõli või maagaas, aga ka taastuvenergiaallikaid nagu

puiduhake või biogaas. Koostootmist võib kasutada suures tootmisvõimsuse vahemikus, ühekiilovatisest mikrokoostootmisest eramajades kuni kümnete ja sadade megavattideni elurajoonide ja piirkondlikes katlamajades ja tööstusettevõtetes. [4]

Koostootmise eelisteks on 15-40% kõrgem kogukasutegur energia muundamise protsessis võrreldes soojuse ja elektri eraldi tootmisega, tunduvalt väiksem saastamine CO<sub>2</sub> osas, soojuse- ja elektrienergia koostootmine on tunduvalt odavam nende eraldi tootmisest, pakkudes konkurentsivõimelisi sooja- ja elektrienergia hindu. [3]

Kui soojus- ja elektrienergiat toodetakse lokaalsel tasandil väiksemas piirkonnas ning tarbijate vahetus läheduses, paraneb ka varustuskindlus, kuna lokaalne tootmine vähendab riski, et tarbijad võiksid jääda soojatrassi rikete korral soojusenergiata ning avarii korral elektrisüsteemis elektrienergiata. Läbi kõrgema varustuskindluse toimub ka primaarenergia efektiivsem kasutamine, kuna lokaalsel tasandil tootes ei teki energiakadusid, mis on seotud soojuse või elektri edastamisega lõpptarbijatele. (joonis 1.1)



**Joonis 1.1. Kütuse kasutamine elektrit eraldi ja koostootmisprotsessis tootes [5]**

Koostootmist on võimalik reguleerida nii soojus- kui ka elektrilise koormuse järgi: Eestis ja Skandinaavia maades toimub koostootmisjaamade dimensioneerimine ja nende töö juhtimine valdavalt soojuskoormuse järgi, mis tähendab, et vastavalt soojuskoormusele väljastatakse elektrit. See lähenemine tagab ühtlasi ka kütuse kasutamise parema efektiivsuse. [4]

Eestis on täna juba mitmetesse väiksematesse linnadesse, aga ka tööstusettevõtetesse oma koostootmisjaamad rajatud varustades piirkonda või ettevõtet vajaliku soojusenergiaga ning tootes ühtlasi ka elektrienergiat. Näiteks on oma koostootmisjaamad olemas Tartul, Pärnul ja Valgal. Lisaks on möödunud sajandil rajatud Balti ja Iru koostootmisjaamad Narva ja Tallinna

külje all, millest viimasele on täiendavalt juurde ehitatud ka 17 MW võimsusega prügilagaasil töötav koostootmisplokk.

Allolevas tabelis 1.1 on välja toodud Eesti elektrisüsteemi installeeritud koostootmisjaamad koos jaamade elektriliste nimivõimsustega. 2015 aasta seisuga on Eesti elektrisüsteemi installeeritud summaarselt 2656 MW tootmisvõimsuseid, millest elektriturul on igal ajahetkel võimalik kasutada 1700 MW. Kogu installeeritud võimsusest 549 MW moodustavad erinevat tüüpi ja erineval tehnoloogial põhinevad koostootmisjaamad. [6]

**Tabel 1.1. Eesti elektrisüsteemi installeeritud koostootmisjaamad** [6]

| Nimi   | Tootmisseadme tüüp                 | Kütus              | Nimivõimsus [MW] |
|--|------------------------------------|--------------------|------------------|
| Balti Elektriijaam                             | Koostootmisplokk                   | Põlevkivi          | 192              |
| Iru Elektriijaam                               | Koostootmisplokk                   | Maagaas            | 156              |
| Põhja SEJ                                      | Koostootmis-kondensatsiooniturbiin | Generaatorgaas     | 45               |
| Tartu Elektriijaam                             | Koostootmisplokk                   | Biomass            | 22,1             |
| Tallinna Elektriijaam                          | Koostootmisplokk                   | Biomass            | 21               |
| Pärnu Elektriijaam                             | Koostootmisplokk                   | Biomass            | 20               |
| Iru Elektriijaam                               | Koostootmisplokk                   | Prügilagaas        | 17               |
| Sillamäe SEJ                                   | Koostootmisplokk                   | Põlevkivi          | 10               |
| Horizon tselluloosi ja paberi AS               | Vasturõhuturbiin Vaheltvõttudega   | Must leelis        | 10               |
| Lõuna SEJ                                      | Koostootmisturbiin                 | Generaatorgaas     | 7                |
| Helme koostootmisjaam                          | Koostootmisplokk                   | Biomass            | 6,5              |
| Sillamäe SEJ                                   | Gaasimootor                        | Maagaas            | 5,75             |
| Painküla koostootmisjaam                       | Gaasimootor                        | Maagaas            | 4,3              |
| Grüne Fee Eesti AS                             | Gaasimootor                        | Maagaas            | 4,06             |
| Kunda Nordic Tsement koostootmisjaam           | Gaasimootor                        | Maagaas            | 3,1              |
| Kuressaare soojuse- ja elektri koostootmisjaam | Koostootmisplokk                   | Biogaas            | 2,3              |
| Aravete Biogaas OÜ                             | Gaasimootor                        | Biogaas            | 2                |
| Tallinna Prügilaja koostootmisjaam             | Gaasimootor                        | Prügilagaas        | 1,94             |
| Jämejala koostootmisjaam                       | Gaasimootor                        | Maagaas            | 1,8              |
| Repo Vabrikud AS                               | Gaasiturbiin                       | Maagaas            | 1,77             |
| Paide CHP                                      | Koostootmisplokk                   | Biogaas            | 1,73             |
| Ilmatsalu biogaasijaam                         | Gaasimootor                        | Biogaas            | 1,48             |
| Vinni biogaasi jaam                            | Gaasimootor                        | Biogaas            | 1,36             |
| Kiviõli Keemiatööstuse OÜ SEJ                  | Koostootmisplokk                   | Põlevkivi uttegaas | 1,3              |
| Katerina SEJ                                   | Gaasimootor                        | Maagaas            | 1,2              |

|   |                                       |             |               |
|---|---------------------------------------|-------------|---------------|
| Oisu biogaasi jaam                        | Gaasimootor                           | Biogaas     | 1,19          |
| Rakvere Koostootmisjaam                   | Koostootmisplakk                      | Biomass     | 0,99          |
| Põlva elektri- ja soojuse koostootmisjaam | Gaasimootor                           | Maagaas     | 0,92          |
| Kopli KTJ                                 | Gaasimootor                           | Maagaas     | 0,88          |
| Rakvere Päikese tn 4 KTJ                  | Koostootmisplakk                      | Biomass     | 0,85          |
| Pääsküla biogaasi elektri jaam            | Gaasiturbiin                          | Prügilagaas | 0,84          |
| Ahtri tn koostootmisjaam                  | Gaasimootor                           | Maagaas     | 0,6           |
| Endla tn koostootmisjaam                  | Sisepõlemismootor                     | Maagaas     | 0,51          |
| Tartu Aardlapalu prügilakoostootmisjaam   | Gaasimootor                           | Prügilagaas | 0,5           |
| Haldja KTJ                                | Gaasimootor                           | Maagaas     | 0,35          |
| Uikala prügilakoostootmisjaam             | Soojuse ja elektri koostootmise seade | Prügilagaas | 0,3           |
| Biomax Selja                              | Gaasimootor                           | Biomass     | 0,15          |
| Saare Economics OÜ                        | Gaasimootor                           | Biogaas     | 0,15          |
| Pärnu prügilakoostootmisjaam              | Gaasimootor                           | Maagaas     | 0,14          |
| Kullimäe gaasigeneraator                  | Gaasiturbiin                          | Maagaas     | 0,1           |
| <b>KOKKU</b>                              |                                       |             | <b>549,16</b> |

Nagu tabelist avalub, siis neljakümnest koostootmisjaamast vaid kaks on suurema elektrilise väljundvõimsusega kui 100 MW, kümme jaama jäävad vahemikku 5-50 MW ning ülejäänud 28 koostootmisjaama jäävad kõik alla 5 MW elektrilise nimivõimsuse.

Antud tabelist saab ka järeldada, et suurematesse piirkondadesse on täna juba valdavalt koostootmisjaamad rajatud, mis tähendab, et tulevikus leiavad suuremad koostootmisjaamad kasutust vanade amortiseerunud ning kütteõlil või maagaasil töötavate väheefektiivsete katlamajade asendusena. Samuti suureneb väiketootjate vallas väike- ja mikrokoostootmisjaamade levik.

Taolist levikut toetab ka asjaolu, et tänasel päeval on Eestis juba väga hästi väljaehitatud gaasivõrk, mis tagab gaasiga varustatuse kõikides linnades ning enamikes väiksemates asulates. See tagab väga head võimalused lokaalse koostootmise levikuks, kuna koostootmisagregaadid töötavad maagaasi abil väga efektiivselt olles peaaegu kõige efektiivsem koostootmisliik.

Sellest lähtuvalt on Eesti jaoks üsna uus suund üksikute hoonete jaoks rajatavad koostootmisjaamad, mis on Kesk- Euroopas täna juba laialt levinud. Ka Eestis on mõningad taolised jaamad juba rajatud või rajamisel. Näiteks on Tallinnas Eesti Gaasi peahoones Liivalaia tänaval installeeritud 15 kW elektrilise väljundvõimsusega koostootmiseseade ning Kristiine linnaosas Sõpruse Ärimajas on valminud 55 kW elektrilise väljundvõimsusega

koostootmisjaam, mille ehitas Energiaproff OÜ. Just lokaalsete koostootmisjaamade paigaldamine hoonetesse saab olema tulevikutrend, kui elektrienergia hinnad kallinevad veelgi. Juba täna on antud tehnoloogia majanduslikult tasuv ning neid on mõistlik Eesti oludes paigaldada. Seega võiks tulevikus näha lokaalsel ja mikrotootjate tasandil soojus- ja elektrienergia koostootmisjaamade leviku kasvu. [7]

Heaks näiteks vanade ja juba amortiseerunud katlamajade kasutajatena on tööstuspargid, kuhu koostootmistehnoloogia sobiks väga hästi. Põhjus on selles, et üldjuhul on tööstusparkides nii suur soojusenergia kui ka elektrienergia tarbimine. Soojusenergiat vajavad tööstusparkides olevad ettevõtted kas oma tootmisprotsessides (tehnoloogiline aur) või hoonete kütmiseks ja tarbevee jaoks. Elektrienergia kulu on üldjuhul samuti suur, kuna suur osa tootmisettevõtetes kasutatavad seadmed töötavad elektrienergial ning lisaks on valguse osas tootmisettevõtetele pandud suured nõudmised, mis tähendab suurt elektrienergia kulu valguse tarvis. Samuti kulub suur osa elektrit kontorite valgustamiseks ja kontoriseadmete tööks.

Üheks taoliseks piirkonnaks on Keila Tööstuspark, mis asub Harjumaal, Tallinnast umbes 20-minutilise autosõidu kaugusel. Antud tööstusparki ongi käesoleva töö raames vaadeldud, selle tarbimist analüüsitud ning teostatud simulatsioonid ning majanduslikud kalkulatsioonid raske kütteõli katlamajalt, mis täna toodab piirkonnale soojusenergiat, üleminekule koostootmisjaamale, mis varustaks tööstusparki ka elektrienergiaga.

Töö raames analüüsitakse põhjalikult lokaalset soojus- ja elektrienergia koostootmist sisepõlemismootori, auruturbiini ja orgaanilise Rankine'i ringprotsessi tehnoloogial ning antakse ülevaade nii selle rakendatavusest kui ka majanduslikust tasuvusest. Töö tulemusteni jõudmiseks analüüsitakse põhjalikult Keila Tööstuspargi soojus- ja elektrienergia tarbimist ning teostatakse koostootmisjaama rajamise tasuvuse analüüs, milleks kasutatakse peamiselt tabelarvutusi Excelis. Kõik arvutustulemused esitatakse tabelite ja graafikutena ning selgitatakse lahti arvutuskäik, kuidas tulemusteni jõuti. Koostootmisjaamade töö simuleerimiseks kasutatakse tarkvara energyPRO, mille abil saab tõhusalt analüüsida koostootmisjaama tasuvust erinevatel paigaldustingimustel ning stsenaariumitel, mida mõjutavad muutuvad sisendväärtused.

Töö esimeses etapis analüüsitakse ning antakse ülevaade Keila Tööstuspargi soojus- ja elektrienergia tarbimisest ning sellega seotud kuludest. Lisaks analüüsitakse erinevaid koostootmistehnoloogiaid ning nende eeliseid ja puuduseid. Samuti tuuakse välja vastavate tehnoloogiate tuntumad esindajad, kelle hulgast tehakse ka valik, kelle seadmete tööd edasistes töö etappides analüüsitakse.

Töö teises etapis kirjeldatakse sisendparameetreid, mis sisestatakse EnergyPRO tarkvarasse ning teostatakse simulatsioonid erinevate koostootmistehnoloogiate korral Keila Tööstuspargi energiatarbimisele vastavalt ning leitakse iga tehnoloogia korral koostootmisjaama sobilik võimsus. Simulatsioonide käigus leitakse, palju dimensioneeritud elektri jaam soojus- ja elektrienergiat toodab. Seejuures on eesmärk katta täielikult tööstuspargi soojusenergia vajadus ning toota võimalikult suur osa elektrienergia vajadusest.

Töö kolmandas etapis hinnatakse koostootmisjaama investeeringu maksumust, käidu- ja hoolduskulusid ning analüüsitakse aastast kokkuhoidu võrreldes hetkel kasutatava raske kütteõli katlamaja lahendusega. Sellest lähtuvalt leitakse koostootmisjaama rajamise tasuvusaeg, kumulatiivne puhasrahavoog ning muud majanduslikud parameetrid investeeringu tasuvuse hindamiseks. Samuti teostatakse investeeringu tundlikkuse analüüs. Vastavate majanduslike parameetrite leidmise tulemusena analüüsitakse saadud väärtuseid ning tehakse järeldus, milline koostootmistehnoloogia on Keila Tööstuspargi kontekstis majanduslikult kõige tasuvam lahendus.

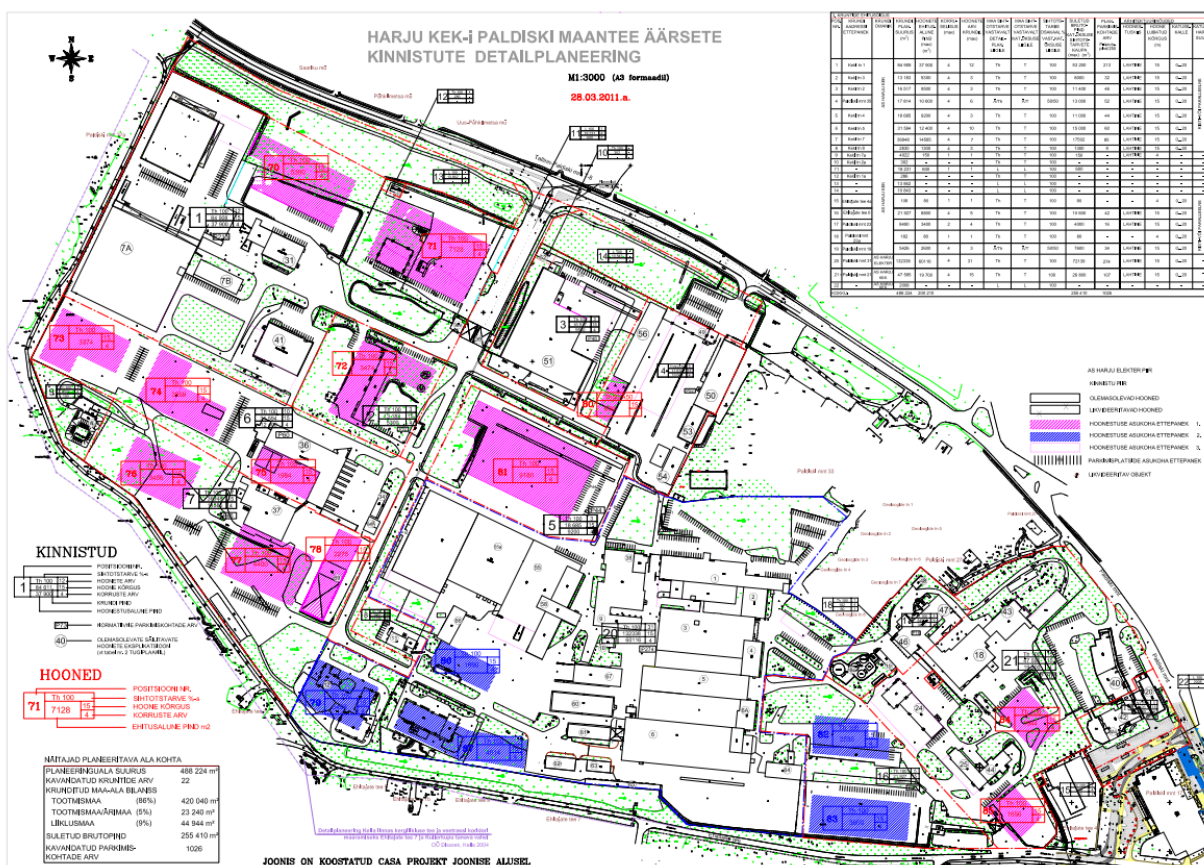
Antud töö raames saadakse põhjalik ülevaade lokaalse koostootmise efektiivsusest ja tasuvusest ning antakse hinnang, kas ja mis tingimustel soojus- ja elektrienergia hajatootmine on tõhus, tasuv ning kasumlik protsess.

## 2. Keila Tööstuspargi ülevaade

Käesolevas peatükis on antud lühike ülevaade Keila Tööstuspargist ning analüüsitud põhjalikumalt tööstuspargi soojus- ja elektrienergia tarbimist ning sellega kaasnevaid tulusid ja kulusid.

### 2.1 Üldine ülevaade ja piirkonna energiaallikad

Vaid 20-minutilise autosõidu kaugusel Eesti pealinnast Tallinnast ning Baltimaade ühest tuntumast sadamast Paldiskist asub 10-tuhande elanikuga Keila linn. Linna äärealal paikneb 48 hektari suurune Keila tööstuspark (joonis 2.1). Geograafiliselt soodsas positsioonis paiknevas ja korraliku infrastruktuuriga tööstuskülas on lisaks tootmisettevõtetele ka transpordifirmad ja tollivaba ladu. [8]



Joonis 2.1. Keila tööstuspargi detailplaneering



Keila tööstuspark kuulub Harju KEK AS-ile ja AS-ile Harju Elekter. Harju KEK on Eesti erakapitalil põhinev äriühing, mis tegeleb kinnisvara arendamise ja haldamisega ning investeeringute juhtimisega. Harju KEK omab ligikaudu 100 ha tootmis- ja ärimaad, millel on võimalik rajada juurde uusi äri- ning tootmishooneid. Kõikide Harju KEK-i tööstusparkide eeliseks on soodne asukoht sadamate, lennujaama, raudtee ja maanteevõrgu suhtes. [9]

Keila Tööstuspargis on rajatud hoonete brutopind kokku enam kui 120 000 m<sup>2</sup>, millest ca 45 000 m<sup>2</sup> on täiesti kaasaegne. Kehtestatud detailplaneering võimaldab rajada kuni 130 000 m<sup>2</sup> täiendavat hoonestust. Hoonete lubatud kõrgus on kuni 15 m ja lubatud on rajada kuni 4 korrust. Infrastruktuur on väljaehitatud ja püsivalt hooldatud. Terviklikuna on korraldatud territooriumi valve ning heakord.

Tööstuspargis tegutsevad mitmed rahvusvaheliselt tuntud ettevõtjad (PKC Eesti, Ensto Elekter, Glamox HE, Draka Keila Cables, Saajos, Harju Elekter, VIDA Packaging Eesti jt). Põhiline ettevõtjate tegevusvaldkond tööstuspargis on ehitusmaterjalitööstus s.h elektriseadmete ja tarvikute tootmine. Lisaks tootmisettevõtjatele tegutsevad tööstuspargis transpordi-, logistika- ja mitmesugused tugiteenuseid pakkuvad ettevõtjad. Tööstuspargis tegutsevad ettevõtjad annavad tööd ligikaudu 2000-le töötajale, kelleks on nii Keila, ümbruskonna valdade, kui ka Tallinna elanikud. [10]

Keila tööstuspargi energiavarustuse eest vastutab Harju KEKile kuuluv energeetika- ja tööstusettevõtte AS Entek, mis on asutatud 1993. aastal. AS Entek tegevusaladeks on soojusenergia tootmine ja müük, elektrivarustuse võrguteenuse osutamine jaotusvõrgu kaudu ja elektrienergia müük, vesivarustuse- ja kanalisatsioonivõrgu haldamine ja vee müük, remonditeenuste osutamine, valveteenuste vahendamine ja heakorratööd Keila tootmisterritooriumil, Klooga õppebaasi haldamine. Lisaks on AS Entek registreeritud erinõuetega tegevusaladel tegutsevate ettevõtjate majandustegevuse registris elektritööde, üldehitustööde, veevarustuse- ja kanalisatsioonitööde, küttesüsteemide ja –võrkude ehitustööde tegevusaladel. [11]

AS Entekile kuulub kütteõlil töötav katlamaja, mis asub Keila Tööstuspargi territooriumil ning mis varustab maa-alal asuvaid ettevõtteid soojusenergiaga. Katlamajas on kolm leektoru katelt nimivõimsustega 3 MW, 5 MW ja 8 MW ning mida kasutatakse kordamööda vastavalt soojusenergia vajadusele. Katelde tööd on seadistatud nii, et kui välisõhu temperatuur on kõrgem kui 5 kraadi, töötab 3 MW katel, kuid temperatuur jääb -5 ja 5 kraadi vahele, töötab 5 MW katel ning alla -5 kraadise välisõhu temperatuuri korral pannakse tööle 8 MW katel. [12]

Elektrienergiat AS Entek Keila Tööstuspargis ise ei tooda. Seega ostetakse elektrienergia läbi keskpinge võrgu ning müüakse see tööstuspargis tegutsevatele ettevõtetele edasi kahepoolsete lepingute alusel.

## 2.2 Elektrienergia aastane tarbimine ja kulud

Keila Tööstuspargi keskmine elektrienergia tarbimine aastas on 17,62 GWh. Elektrienergiat kasutatakse Tööstuspargis olevate hoonete ja klientide varustamiseks, kes omakorda kasutavad seda peamiselt tootmisala, kontoriruumide ja välisrajatiste valgustamiseks. Samuti kasutatakse elektrienergiat tootmisprotsessides vajaminevate seadmete käitamiseks ning kontoriseadmete jaoks. Vastavalt Entekist saadud indikatsioonile, ostetakse Enteki käest täna ca 6 GWh eest elektrienergiat aastas, mis moodustab ühe kolmandiku kogu elektrienergia tarbimisest. Käesolevas töös on tehtud eeldus, et kogu elektrienergia ostetakse Enteki käest Enteki poolt määratud hindadega. [13]

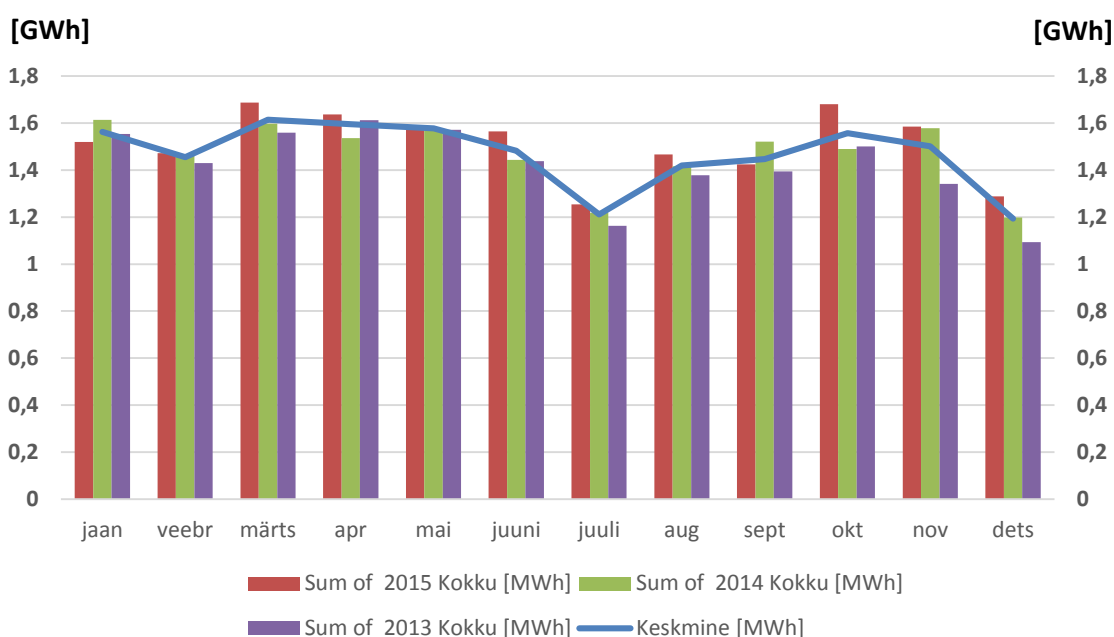
Seejuures on viimase kolme aasta kaalutud keskmine elektrienergia ostuhind Entekile olnud 69,97 €/MWh. Antud hind on leitud viimase kolme aasta 2013-2015 elektrienergia hinna komponentide hindade ja kaalutud keskmise tarbimise järgi. Vastavad andmed ja arvutustulemused on esitatud allolevas tabelis 3.1.

**Tabel 2.1 Elektrienergia komponentide hinnad ning keskmise elektrienergia koguhinna arvutustulemused vahemikus 2013-2015.**

| Elektritarbimine   | Ühik     | 2015             | 2014                               | 2013             | Keskmine         |
|--------------------|----------|------------------|------------------------------------|------------------|------------------|
| Elektritarbimine   | MWh      | 18 167           | 17 652                             | 17 037           | 17 619           |
| Elektrihind        | €/MWh    | 44,72            | 44,72                              | 45,78            |                  |
| Aktsiis            | €/MWh    | 4,47             | 4,47                               | 4,47             |                  |
| Taastuenergia tasu | €/MWh    | 8,90             | 7,70                               | 8,70             |                  |
| Võrguteenus        | €/MWh    | 12,00            | 12,00                              | 12,00            |                  |
| Kokku              | €/MWh    | 70,09            | 68,89                              | 70,95            |                  |
| <b>Kogukulu</b>    | <b>€</b> | <b>1 273 516</b> | <b>1 216 021</b>                   | <b>1 208 773</b> | <b>1 232 770</b> |
|                    |          |                  | <b>Keskmine el. Koguhind €/MWh</b> |                  | <b>69,97</b>     |

Kuna Entek on käibemaksukohustuslane, siis ei ole arvutustes arvesse võetud käibemaksu komponenti ning kõik väärtused on arvestatud käibemaksuta. Sama loogikat on kasutatud ka töö edasistes etappides.

Allolev joonis 2.2 iseloomustab kuude ja aastate lõikes tööstuspargis tarbitud summaarseid elektrienergia koguseid. Seejuures on vaadeldud 2013.-2015. aasta tarbimisandmeid. Täiendavalt on leitud kolme aasta keskmine tarbimine, mida on simulatsioonide käigus hiljem kasutatud. Seejuures on keskmise tarbimise arvutustes kasutatud meetodikat, kus iga aasta sama kuupäeva ja kellaaja tarbimisest on võetud aritmeetiline keskmine ning seejärel on kuupõhiselt tarbimisandmed summeeritud.



**Joonis 2.2. 2013.-2015. aasta kuupõhine elektrienergia tarbimine ning kolme aasta keskmine tarbimine**

Jooniselt 2.2 on näha, et elektrienergia tarbimine kuude lõikes on üsna stabiilne, jäädes 1,21-1,61 GWh vahele kuus. Väikest langustrendi on küll suvekuudel märgata, kuid see on üsna marginaalne. Võib oletada, et stabiilne tarbimine on tingitud sellest, et elektrienergiat ei kasutata kütteks, vaid sellistes protsessides, mis ei sõltu otseselt ilmastikutingimustest ning mida kasutatakse aastaringelt ja stabiilselt ühte moodi. Väikesed erinevused võivad olla tingitud tööpäevade arvu erinevusest kuude lõikes ning tootmiskoormuse mõningatest erinevustest. Tarbimise märgatavat langust on näha juulikuus, mis on ilmselt põhjendatav puhkuseperioodiga ning ühtlasi on ka ettevõtetes tootmismahud mõnevõrra madalamad ning

sellest tingituna ka väiksem elektrienergia kulu. Samuti on elektrienergia tarbimine märgatavalt väiksem detsembris. Ilmselt on see põhjendatav kollektiivpuhkuste perioodi ja pühadega.

Kui võrrelda elektrienergia tarbimist kolmel erineval aastal, siis on näha, et valdavalt kõige madalam tarbimine oli 2013. aastal ning kõige kõrgem 2015. aastal. Kuude lõikes on küll teatavaid erinevuseid, kuid sumjmaarselt on igal aastal elektrienergia tarbimine suurenenud. Keskmise tarbimine nagu jooniselt avaldub, iseloomustab väga hästi vaadeldava kolme aasta tarbimist ning seega on parema üldistuse tegemiseks pikema perioodi vältel ka keskmist tarbimist töö edasistes etappides kasutatud. Kui kasutada 2013. aasta tarbimist, on tarbimine liiga väike, kuid 2015. aasta tarbimist aluseks võttes võib tarbimine liiga suureks osutada.

Võttes aluseks vaadeldud aastatel tarbitud keskmised elektrienergia kogused ja eespool leitud kaalutud keskmise elektrienergia hinna vahemikus 2013-2015, kulub elektrienergia ostmiseks aastas 1 232 770 € selleks, et varustada kogu tööstuspiirkond elektrienergiaga ning eeldusel, et Entek ostab elektrienergia kogu tööstuspiirkonnale.

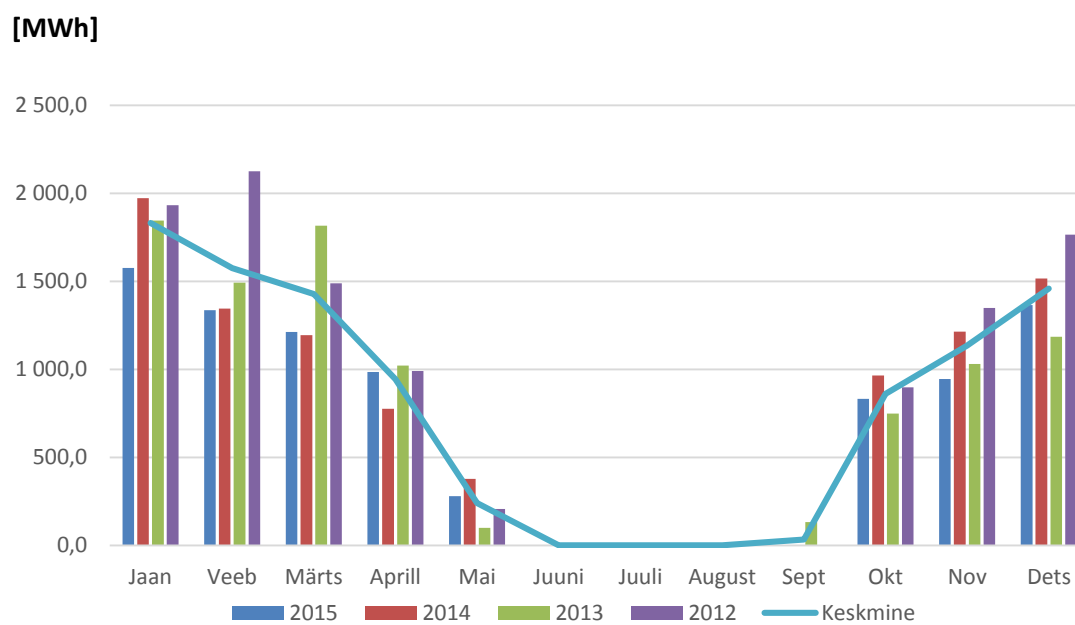
### **2.3 Kütteõli ja sellest toodetud soojusenergia aastane tarbimine ning kulu**

Nagu eespool mainitud, on Tööstuspargi territooriumi asuvas katlamajas kolm leektoru katelt nimivõimsustega 3 MW, 5 MW ja 8 MW ning mida kasutatakse kordamööda vastavalt soojusenergia vajadusele. Järgnevalt on analüüsitud tööstuspargi soojusenergia tarbimist ning lähtuvalt kasutatava kütuse kogusest ja selle hinnast leitud katlamaja muutuvkulud soojusenergia tootmiseks. Samuti on katlamaja kogukulude arvestamisel arvesse võetud hoolduskulud ning muud püsikulud leidmaks kogukulud vajaliku hulga soojusenergia tootmiseks.

Kogu katelde poolt toodetud soojusenergia kasutatakse ära Keila Tööstuspargis ning eraldi kaugküttevõrku seda ei suunata. Seega saab soojusenergia summaarse kuluna vaadelda katelde poolt tööstuspargi keskküttetrassi antavat soojusenergia toodangut, mis arvestab nii klientide poolt tarbitud soojust kui ka võrgukadudeks läinud soojust. Lähtandmetena on vaadeldud 2012.-2015. aasta kuupõhiseid soojusenergia toodangu ja klientidele müüdüd tarbimisandmeid. Kuna lähtandmetena on kasutatud nii klientidele müüdüd soojusenergia koguseid, mis on mõõdetud iga kliendi tarbimispunkti vahetus läheduses kui ka jaama poolt mõõda

peamagistraali väljunud soojusenergia koguseid, on lahutustehte abil võimalik leida kütetrassi võrgukaod ning seeläbi kogu ahela kasutegur kõikide tarbijate tarbitud soojusenergia koguse ja katlamaja kütusekulu suhtena.

Alloleval joonisel 2.3 on välja toodud toodetud ja võrku antud soojusenergia kogused kuude lõikes vaadeldud nelja aasta raames.

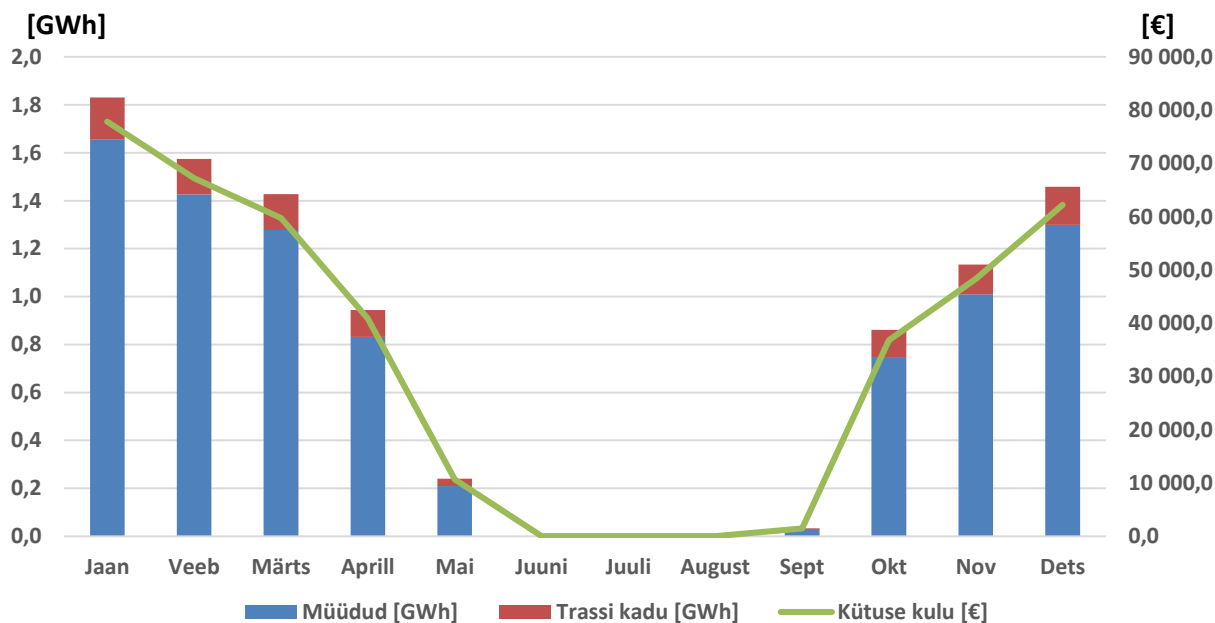


**Joonis 2.3. 2012-2015 kuupõhine soojusenergia toodang ja nelja aasta keskmine soojusenergia toodang.**

Jooniselt 2.3 avaldub, et soojusenergia tarbimine tööstuspargis on igal aastal vähenenud. 2012. aastal oli soojusenergia tarbimine kõige suurem ning kõige madalam oli see 2015. aastal. Samuti on täiendavalt juurde lisatud nelja aasta keskmine tarbimine, et võrrelda keskmist tarbimist iga aasta tarbimisega. Nagu jooniselt avaldub, iseloomustaks keskmine tarbimine väga hästi vaadeldud nelja aasta kuupõhist soojusenergia tarbimist ning see annab pikema perioodi analüüsimisel täpsema tulemuse soojusenergia vajaduse kohta ning sellest lähtuvalt ka koostootmisjaama dimensioneerimise ja käidu simuleerimise kohta.

Alloleval joonisel 2.4 on välja toodud keskmine kuupõhine soojusenergia toodang ja kütusele kuluv summa Keila Tööstuspargi katlamajas. Samuti on keskmise soojusenergia toodangu puhul välja toodud soojusenergia kadu. See on leitav toodetud ja tarbijatele müüdüd soojusenergia koguse vahena. Summaarselt annab katlamaja tööstuspargi kütetrassi 9,5 GWh soojusenergiat aastas, millest tarbijatele müüakse 8,5 GWh. Seega on trassi kaod aastas summaarselt 1 GWh, mis moodustab katlamaja netotoodangust 11,76%. Kui võtta arvesse, et

suhteline soojuskadu kaugküttetrassides üle Eesti oli 2013. aastal vahemikus 14,9- 8,9%, siis võib sellest järeldada, et tegemist on Eesti kontekstis üsna madala kaoprotsendiga. [14]



**Joonis 2.4. 2012-2015 keskmine kuupõhine soojusenergia tootang ja kütusekulu Keila Tööstuspargi katlamajas**

Nagu jooniselt 2.4 avaldub, siis neljal kuul aastas soojusenergia tootmist ja tarbimist ei toimu. Seega saab öelda, et katlamaja kütteperiood algab septembri lõpus (septembris on näha väikest hulka müüdavat soojusenergiat) ja lõpeb mai alguses. Seega saab järeldada, et tarbevett toodavad katlamaja kliendid lokaalselt kas elektrienergia või täiendava lokaalse kütteallika abil.

Kütusekulud on otseses sõltuvuses soojusenergia tootanguga. Katlamaja kasutab kütusena VKG rasket kütteõli C margiga, mille tarbimiskogused on saadud Enteki käest. Järgnevalt on lahti seletatud arvutusmetoodika katlamaja kütuse jaoks kulunud summa leidmiseks.

Katlamaja kütteõli tarbimiskogused on eelnevalt teada ja seda samuti 2012.-2015. aasta kohta kuupõhiselt. Lähtuvalt sellest kulub katlamajal aastas keskmiselt 965,6 tonni kütust. Raske kütteõli alumine kütteväärtus on ca 41 MJ/kg kohta, mis tähendab, et kasutades vastavaid teisendusvalemeid, on raske kütteõli kulu aastas 11 GWh. Viimase nelja aasta jooksul on kütteõli ostuhinnad Entekile olnud küll langustrendis jäädes 476 €/tonn ja 303,7 €/tonn vahele, kuid viimase nelja aasta kaalutud keskmine hind on olnud 419,51 €/tonn, mis on omakorda 36,8 €/MWh. Lähtuvalt sellest on kütusekulud aastas keskmiselt 405 065 €. [15]

Allolevas tabelis 2.2 on välja toodud Katlamaja hoolduskulud ja muud püsikulud viimase nelja aasta jooksul.

**Tabel 2.2. Katlamaja püsikulud vahemikus 2012-2015**

| Kululiik                     | 2012           | 2013           | 2014           | 2015           |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Katlamaja hoolduskulud [€]   | 5 867          | 8 317          | 8 919          | 8 588          |
| Muud katlamaja püsikulud [€] | 133 620        | 133 890        | 133 260        | 133 860        |
| <b>Püsikulud kokku [€]</b>   | <b>139 487</b> | <b>142 207</b> | <b>142 179</b> | <b>142 448</b> |

Tabeli 2.2 põhjal kujuneb nelja aasta keskmiseks katlamaja püsikuluks 141 580 €. Katlamaja hoolduskulud sisaldavad katelde ja muude soojusenergia tootmiseks vajalike seadmete hoolduskulu. Muud püsikulud moodustavad katlamaja elektrikulu, kütteeve pehmemdamise kulud, veepehmemendi hooldus ja korrapäraste veeproovide tegemised, aga ka personali tööjõukulud.

Summeerides kütuse ostuks kulunud summa ja katlamaja hoolduskulud, kujuneb summaarseks katlamaja kogukuluks aastas 546 645 €. Võttes aluseks, et jaam toodab aastas 9,5 GWh soojusenergiat, kujuneb toodetud soojusenergia omahinnaks 57,54 €/MWh.

Summeerides Enteki elektrienergia ostukulud ning kulud, mis hõlmavad endast katlamaja käitu, kulub Entekil aastas summaarselt 1 779 415 €, millest 69,3% moodustavad kulud elektrienergiale ning ülejäänud 30,7% kulud soojusenergiale.

Järgnevalt on töö edasistes etappides eesmärk hinnata, kas leitud energiale tehtavad kogukulud on suured või väikesed ning leida lahendus, kuidas Enteki poolt energiale tehtavaid kulutusi vähendada.

## **2.4 Soojus- ja elektrienergia müügitulud ja kasum**

Järgnevalt hinnatakse olemasoleva olukorra parema ülevaate saamiseks Enteki soojus- ja elektrienergia müügitulusid. Kui soojusenergia piirhinnad on kooskõlastatud Konkurentsiametiga, siis elektrienergia puhul on olukord veidi vabam. Sellgipoolest on ka elektrienergia puhul määratletud ära oma piirhinnad, millega elektrienergiat tarbijatele edasi kantakse.

### *Soojusenergia*

Nagu eespool kirjeldatud, siis tarbib tööstuspark aastas keskmiselt 8,5 GWh soojusenergiat. Soojusenergia müügihinnad on aasta-aastalt olnud erinevad, kuid trend on olnud pigem langev

ning igal aastal on kütust saadud osta parema hinnaga. See on ka põhjus müügihindade langustrendile. Allolevas tabelis 2.3 on välja toodud soojusenergia summaarne müügi kogus igal aastal ning soojusenergia müügi hinnad tarbijatele. Lähtuvalt andmetest, on leitud nelja aasta keskmine müügi kogus ja kaalutud keskmine soojusenergia müügi hind.

**Tabel 2.3. Soojusenergia müügi hinnad ja müügitulu vahemikus 2012-2015**

| Aasta           | Kogus [MWh]  | Soojusenergia müügitulu [€] | Soojusenergia müügi hind [€/MWh] |
|-----------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 2015            | 7 606        | 434 403                     | 57,11                            |
| 2014            | 8 384        | 559 181                     | 66,7                             |
| 2013            | 8 334        | 567 656                     | 68,11                            |
| 2012            | 9 606        | 641 933                     | 66,83                            |
| <b>Keskmine</b> | <b>8 483</b> | <b>550 793</b>              | <b>64,93</b>                     |

Nagu tabelist 2.3 selgub, on kaalutud keskmine müügi hind vaadeldud nelja aasta jooksul 64,93 €/MWh. Eespool oli leitud, et jaama summaarset toodangut arvesse võttes ja kütusehinda arvestades, kujuneb kaalutud keskmiseks soojusenergia omahinnaks 57,54 €/MWh. Müügi hindade sisse on aga arvestatud nii võrgukaod kui ka ettevõtte kasumimarginal. Kui eespool leiti, et soojusenergia ülekandmisest tarbijatele tekkivad võrgukaod on 11,76%, siis võime samasuguse marginali juurde lisada ka soojusenergia omahinnale, kuna soojusenergia müügi hind peab ära katma ka tekkivad võrgukaod, mille tootja kinni maksab. Sel juhul kujuneb omahinnaks 63,58 €/MWh. Kui nüüd võrrelda omahinda ja müügi hinda, kujuneb Enteki kaalutud keskmiseks kasumimarginaliks 2,12%.

### *Elektrienergia*

Elektrienergiat tarbib tööstuspark aastas summaarselt 17,62 GWh. Paraku ei osta kõik tarbijad elektrienergiat otse Enteki käest, vaid suur osa ostab elektrienergia ise. Vastavalt Entekist saadud indikatsioonile, ostetakse Enteki käest täna ca 6 GWh eest elektrienergiat aastas, mis moodustab laias laastus ühe kolmandiku kogu elektrienergia tarbimisest. Nagu ka eespool mainitud, siis käesolevas töös on tehtud eeldus, et kogu elektrienergia ostetakse Enteki käest Enteki poolt määratud hindadega. Vastavalt sellele kujuneb kaalutud keskmiseks elektrienergia lõpphinnaks 88,07 €/MWh, mis sisaldab Elektrienergia müügi hinda, võrguteenuse maksumust, elektriaktsiisi ja Taastuenergia tasu. [13]

Elektrienergia komponendi hind on 2013-2015 jäänud vahemikku 44,72-45,78 €/MWh. Seejuures fikseeriti 2013. aastal hind aastaseks perioodiks hinnaga 45,78 €/MWh ning 2014-2015 fikseeriti see kaheks aastaks hinnaga 44,72 €/MWh. Võttes arvesse ka elektrienergia



tarbimist viimase kolme aasta jooksul, on kaalutud keskmine elektrienergia müügihind 45,06 €/MWh. [13]

Võrguteenuse jaoks on Enteki võrgupiirkonnas määratud 1. aprill 2013 seisuga vastavad võrguteenuse hinnad. Ca 90% tarbijatest on täna ühendatud keskpingevõrku ning ostab elektrienergiat üle 3x100A liitumispunktist. Sellest lähtuvalt on põhitariifi suurus 3,01 €senti/kWh, mis teeb 30,1 €/MWh kohta. Kõik võrguteenuse hinnad on kooskõlastatud Konkurentsiametiga. [16]

Taastuenergia tasu on võetud 8,4 €/MWh, mis on samuti viimase kolme aasta kaalutud keskmine tasu Keila Tööstuspargis tarbitud elektrienergia koguste suhtes ning elektriaktsiis on 4,47 €/MWh kohta, mis ei ole viimase kolme aasta jooksul muutunud.

Nagu eespool mainitud, siis on töös tehtud eeldus, et kogu tarbimise katab Entek edastatud elektrienergiaga. Lähtuvalt sellest kujuneb elektrienergia müügituluks 17,62 GWh tarbimise juures 1 551 793 €. Kui võtta arvesse, et elektrienergia ostu jaoks kulub summaarselt 1 232 770 € nagu eespool leitud, on potentsiaalne kasum 319 023 €.

Järgnevalt on allolevas tabelis 2.4 kokku võetud Enteki soojus- ja elektrienergiade tehtavad tulud, kulud ja prognoositav kasum.

**Tabel 2.4. AS Enteki soojus- ja elektrienergia kulud, tulud ja kasum.**

|                | Kogukulud [€]    | Kogutulud [€]    | Kasum [€]      | Kasum [%]     |
|----------------|------------------|------------------|----------------|---------------|
| <b>Soojus</b>  | 546 645          | 550 793          | 4 148          | 0,75%         |
| <b>Elekter</b> | 1 232 770        | 1 551 793        | 319 023        | 20,56%        |
| <b>Kokku</b>   | <b>1 779 415</b> | <b>2 102 586</b> | <b>323 171</b> | <b>15,37%</b> |

Nagu tabelist 2.4 ilmneb, siis soojusenergia tootmisest suur kasu ei teenita. Soojusenergia tootmine ja müük katab ära soojusenergia tootmiseks vajaminevad kütusekulud, hoolduse ning muud püsikulud, kuid jaam ise erilist kasu ei tooda. Suurem säästa tekiks elektrienergia pealt, kui suudetakse ise kogu elektrienergia Tööstuspargi klientidele edasi müüa. Seega on kogu prognoositav kasumimarginal üsna optimistlik, kuid teisalt on see heaks pidepunktiks hindamaks töö edasistes etappides koostootmisjaamade majanduslikku saadavat kasu.

Kõik teostatud ja edaspidi teostatavad kalkulatsioonid on teostatud arvestamata käibemaksu. Kuna tegu on ettevõttega, kes on käibemaksukohustuslane, siis ei ole tarvis kalkulatsioonides käibemaksu arvesse võtta.

### 3. Soojus- ja elektrienergia koostootmise tehnoloogiad

Käesolevas peatükis analüüsitakse soojus- ja elektrienergia koostootmise tehnoloogiaid, mis sobivad alternatiiviks praeguste kütteõli katelde asendamiseks Keila Tööstuspargis ning seeläbi optimeerida tehtavaid kulutusi energiale Entekis. Välja on toodud kolmel eri tehnoloogial töötavat koostootmislahendust:

- Sise põlemismootoril põhinev koostootmistehnoloogia
- Auruturbiintehnoloogia
- Rankine`ringprotsessil põhinevat koostootmistehnoloogia

Iga tehnoloogia puhul tuuakse välja tema eelised ja puudused ning lähtuvalt nendest ja hilisematest simulatsioonitulemustest ning tasuvusarvutustest tehakse lõplik valik tehniliselt kõige sobivama ja majanduslikult tasuvaima koostootmisjaama rajamiseks vaadeldava tööstuspiirkonna kontekstis.

Eeldused, mille põhjal on nii tehnoloogiad kui ka iga tehnoloogia alla tootjad välja valitud, põhinevad järgmistel eeldustel:

- Ühest energiaühikust saadav elektrienergia ja soojusenergia ning nende omavaheline suhe - mida enam toodab jaam ühest energiaühikust elektrienergiat (kõrgem elektriline kasutegur), seda majanduslikult tasuvam on jaam, kuna elektrienergia müügi eest on võimalik saada suuremat tulu kui soojusenergia müügi eest. Näiteks Keila Tööstuspargi puhul on soojusenergia müügihinnaks 64,97 €/MWh, kui elektrienergia puhul on müügihinnaks 88,07 €/MWh.
- Jaamade automaatsus - eesmärk on välja valida võimalikult täisautomaatsed jaamad, mis ei nõua inimese füüsilist kohalolekut igapäevaselt, mis omakorda hoiab madalana jaama püsikulud.
- Töötunnid ja hooldusvälp - pikema hooldusvälba puhul on võimalik saavutada madalamad jaama käidu- ja hoolduskulud.

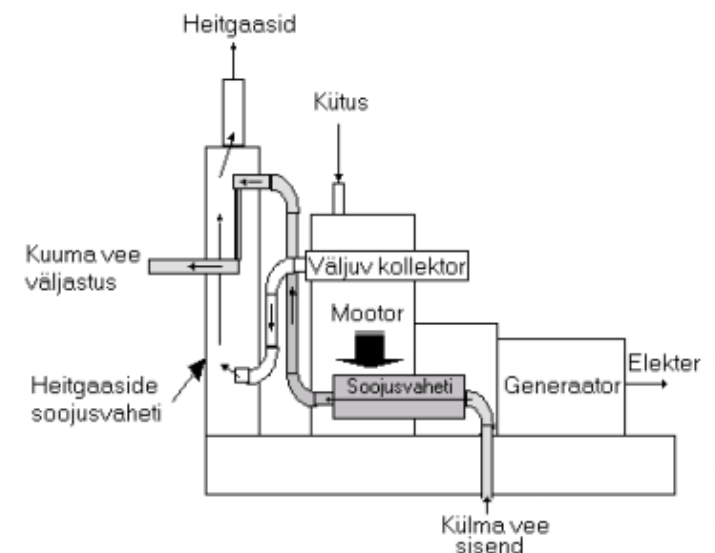
Neid aspekte arvesse võttes antakse esmalt ülevaade erinevate tehnoloogiatega koostootmisjaamade tootjatest ning seejärel analüüsitakse iga tehnoloogia ja tootja vastavaid

parameetreid. Vastavalt sellele tehakse valik tootja osas, mille seadmeid kasutatakse töö edasistes etappides.

Lisaks eespool seatud eeldustele on gaaskütust kasutavate koostootmislahenduste puhul oluline ka see, et tehnoloogia töötab lisaks maagaasile ka LPG peal. Põhjus, on selles, et täna puudub Keila Tööstuspargi läheduses ja üleüldse Keila linnas gaasitrass. Läbirääkimisi gaasitrassi rajamise osas on peetud juba pikka aega, kuid tänaseks ei ole veel jõutud otseselt tähtaegadeni, millal gaasitrass Keila linna rajatakse. Vastavalt Enteki käest saadud infole on Keila linnal eesmärk ehitada gaasitrass välja enne 2020 aastat, mis tähendab, et gaasitrass peaks välja ehitatama järgmise kolme aasta jooksul. Simulatsioonides ja tasuvusarvutuste teostamisel töö hilisemates etappides on arvestatud asjaoluga, et stsenaariumi korral, kus kütusena kasutatakse gaasi, kasutatakse LPG gaasi esimese kolme aasta jooksul ning pärast seda minnakse üle maagaasile. Täna on Eestis LPG gaasi pakkujaid, kes pakuvad ühtlasi ka gaasimahutite renti. Antud teenuse kasutamist rakendatakse ka siin. Gaasimahuti võib ka hiljem jääda jaama kõrvale täites reservkütuse funktsiooni.

### **3.1 Sisepõlemismootoril põhinev koostootmistehnoloogia**

Sisepõlemismootoriga jõuseade (joonis 3.1) põhineb kas Otto või Dieseli ringprotsessil, mis tähendab, et koostootmisjaam kasutab sarnast kolbide ning silindritega sisepõlemismootorit nagu autod või laevad. Kui transpordivahendites kasutatakse mootori poolt tekitatavat pöördliikumist edasiliikumiseks, siis koostootmisjaamades on mootori võlli külge ühendatud elektrit tootev generaator. Soojus saadakse seadmest väljuvatest põlemisgaasidest. Gaaskütus süüdatakse süüteküünlaga ja põletatakse sisepõlemismootoris väga lahja seguna. Lahja kütteseguga mootori eeliseks on madal põlemistemperatuur ja vähene NO<sub>x</sub> tekkimine. Sisepõlemismootoriga soojuse ja elektri tootmise kasutegur ulatub 89...92%-ni. Otto ringprotsessil töötavad seadmed kasutavad reeglina kütuseks maagaasi ning soojuse ja elektrilise võimsuse suhe on 1,2-1,7, mis tähendab, et ühele toodetud elektrienergia ühikule vastab 1,2-1,7 toodetud soojusenergia ühikut. [17]



*Joonis 3.1. Sisepõlemismootoriga koostootmiseseade*

Nagu automootor vajab sisepõlemismootoriga koostootmisjaam jahutamist ehk protsessis tekkiva jääsoojuse eemale juhtimist. Autodel on selleks otstarbeks radiaator, koostootmisjaamades juhitakse üleliigne soojus soojusvahetite abil soojusvõrgu kaudu tarbijani.

Sisepõlemismootoriga koostootmisjaamade eelisteks on kõrge elektriline kasutegur ning võime töötada madalal koormusel (kuni 50%) ilma elektrilises kasuteguris kaotamata. Kõrge kasutegur tähendab omakorda ka primaarenergia efektiivsemat kasutamist. Samuti on tegemist kiiresti reageerivate jaamadega, mis tähendab, et jaamade käivitamisel saavutavad nad loetud minutitega oma nimivõimsuse. [18]

Näiteks vastavalt Sokrathermist saadud infole käivituvad nende koostootmiseseadmed järgnevalt: [19]

- Käivitamisel saavutab mootor nominaalkiiruse 5 sekundiga.
- Generaator sünkroniseeritakse vastavalt võrgu sagedusele järgneva 5-15 sekundi jooksul
- Jaam töötab 50%-lisel koormusel 60 sekundit
- Jaam tõstab koormust järk-järgult 50%-lt 100%ni järgmise 60 sekundi jooksul

See tähendab, et sisepõlemismootoriga koostootmisjaam saavutab miinimumkoormuse alates käivitamise hetkest 10-20 sekundiga ning oma nominaalvõimsuse 130-140 sekundiga. [19]

Nõrkuseks on suhteliselt kõrged nõuded kasutatava kütuse kvaliteedile (sobivad näiteks maagaas ja vedelkütused). Seejuures tuleb kasutada ühte kindlat kütust. Kui tahetakse üle minna näiteks LPG gaasilt maagaasile või vastupidi, tuleb selleks seadmed ja kütuse etteandmine ümber häälestada. Samuti on sisepõlemismootoriga koostootmisjaamade hoolduskulud kõrgemad võrreldes näiteks auruturbiintehnoloogial töötavate koostootmisjaamadega, mille hoolduskulud on madalamad. [18] [20]

Järgnevalt on välja toodud mõned sisepõlemismootori tehnoloogial töötavate koostootmisjaamade tootjad.

### *2G Energietechnik GmbH*

2G energietechnik GmbH on Saksa ettevõtte, kes pakub nii maagaasil kui ka biogaasil töötavaid koostootmisjaamu elektrilise võimsusvahemikuga 20-2,000 kW. Seega pakub tootja väga laia tootevalikut, suutes pakkuda lahendust nii väiksematesse hoonetesse, kui ka suuremate piirkondade soojus- ja elektrienergiaga varustamiseks. Alates 400 kW elektrilise väljundvõimsusega jaamade kasutegur on 87 %, millest elektriline kasutegur on ca 40-43 % ja soojuslik kasutegur 44-47 %. Seadmete eluiga on 80 000 töötundi, pärast mida tuleb teostada suurem seadmete hooldus. [21]



***Joonis 3.2. 2G koostootmisjaam 55k kW elektrilise väljundvõimsusega [21]***

### *MWM*

MWM on Saksa ettevõtte, kes on turul tegutsenud juba üle 140 aasta. Algse ettevõtte rajaja oli Carl Benz. 2013 aastal ostis ettevõtte ära Caterpillar Inc, kuid ettevõtte on ise siiani jätkanud oma tegevust sama nime all. Ettevõtte pakub energiatootmislahendustena gaasimootoreid elektrilise väljundvõimsusega vahemikus 400-4,500 kW. Seadmed töötavad nii maagaasil kui ka biogaasil. Jaamade elektriline kasutegur on umbes 43 % ning soojuslik kasutegur ca 39 %.

Seega on jaama summaarne kasutegur 82 %. Seadmete eluiga on 80 000 töötundi, pärast mida tuleb teostada suurem seadmete hooldus. [22]



*Joonis 3.3. MWM Gaasimootor TCH 2032 elektrilise väljundvõimsusega 4,500 kW.*

#### *TEDOM*

TEDOM on Tšehhi ettevõtte, kes on spetsialiseerunud koostootmislahendustele, mille elektrilised väljundvõimsused jäävad vahemikku 7-10,400 kW. TEDOM on turul tegutsenud 25 aastat, püüdes pilku just oma laia tootevalikuga ning pakkudes seeläbi lahendusi praktiliselt kõikidele võimalikele olukordadele. Tootja pakutavad seadmed sobivad nii suurematesse kodumajapidamistesse kui ka tööstusparkide energiaga varustamiseks. Suuremate seadmete elektriline kasutegur jääb 42-44 % vahele ning soojuslik kasutegur 48-51 % vahele. [23]



*Joonis 3.4. TEDOMi koostootmisseedmed iseloomustamaks tootja laia tooteportfelli [24]*

## SOKRATHERM

SOKRATHERM on üks juhtivaid koostootmisjaamade tootjaid Saksamaal, kes pakuvad viie erineva võimsusklassiga koostootmisjaamasid, mis töötavad nii maagaasil kui ka biogaasil. Elektrilise võimsuse klassideks on 50, 100, 200, 400 ja 500 kW, kusjuures 400 kW koostootmisseeade on valitud kõige kompaksemaks koostootmisseeadmeks maailmas. Koostootmisjaamade kogukasutegur ulatub kuni 90,9 %-ni, seejuures on kõige võimsamal koostootmisseeadmel elektriline kasutegur 39,7 % ning soojuslik kasutegur 51,2 %. Seadmete eluiga on 80 000-100,000 töötundi, seejuures tuleb pärast 50,000 töötundi teostada suurem seadmete hooldus. [25]



*Joonis 3.5. Sokrathermi koostootmisjaam*

Järgnevalt on summeritud nelja vaadeldud sise põlemismootori tehnoloogial töötavat koostootmisjaama ning lähtuvalt vaadeldud paraneetritest on tehtud valik sobivaima koostootmisjaama valikuks, mida simulatsioonides käsitleda. Kokkuvõtvad andmed on esitatud allolevas tabelis 3.1.

**Tabel 3.1. Sise põlemismootori tehnoloogial koostootmisjaamade tehniliste parameetrite võrdlus**

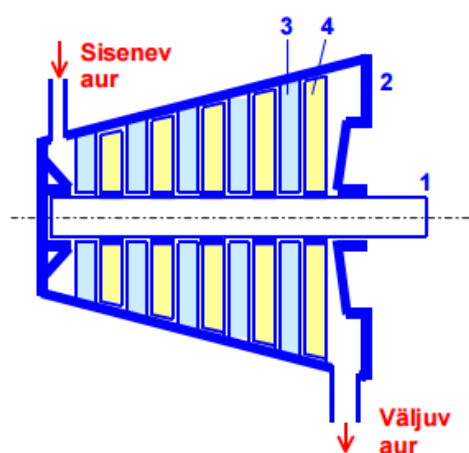
| Tootja     | Elektriline kasutegur [%] | Soojuslik kasutegur [%] | Summaarne kasutegur [%] | Kütus           | Eluiga [h] | Hooldusvälp [h] |
|------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| 2G         | 40-43                     | 44-47                   | 87                      | Maagaas;<br>LPG | 80 000     | 2000 h          |
| MWM        | 43                        | 39                      | 82                      | Maagaas;<br>LPG | 80 000     | 4000 h          |
| TEDOM      | 42-44                     | 48-51                   | 92                      | Maagaas         |            |                 |
| SOKRATHERM | 39,7                      | 51,2                    | 90,9                    | Maagaas;<br>LPG | 80 000     | 1000 h          |

Nagu tabelist 3.1 avaldub, on kõige paremate tehniliste näitajatega TEDOMi koostootmisjaamad. Nendel jaamadel on kõige kõrgemad kasutegurid, mis tähendab, et kütus kasutatakse kõige efektiivsemalt ära. Kuid suureks miinuseks on see, et TEDOMi suured koostootmisjaamad ei tööta LPG peal, mis tähendab, et antud kontekstis seda lahendust ei vaadelda. Samuti on küsitav Tšehhi seadmete kvaliteet võrrelduna Saksa tootjate seadmetega.

Kui võtta arvesse, et jaam peab töötama ka LPG peal, siis sellest lähtuvalt on parimaks lahenduseks 2G või Sokrathermi koostootmisseedmed. Nendel seadmetel on kõrged kasutegurid võrreldes näiteks MWM tootmisseedmetega, kuid teisalt on neil jällegi lühem hooldusvälp võrreldes MWMi tootmisseedmetega. Käesolevas töös on simulatsioonides kasutatud 2G koostootmisseedmeid.

### 3.2 Auruturbiintehnoloogia

Auruturbiini töö põhineb Rankine'i ringprotsessil, kuid soojuskandjana ei kasutata seal mitte termoõli vaid tehnoloogilist vett mis muundatakse auruks. Auruturbiinis suunatakse ülekuumutatud aur düüside või ringikujuliselt paigutatud juhtlabade abil turbiini võllil ringikujuliselt paiknevatele töölabadele. Aurukatlas genereeritud aur paisub elektrigeneraatoriga ühendatud turbiinis (näiteks vasturõhuturbiinis) soojustarbijatele vajaliku rõhuni. Töölabadele toimiv jõud paneb turbiini töörotta pöörlema, kusjuures pöörlemissagedus on enamasti mõni tuhat pööret minutis. Turbiini levinuim ehituspõhimõte on lihtsustatult kujutatud joonisel 3.6. [26]



*Joonis 3.6. Auruturbiini ehituspõhimõte. 1 rootori võll, 2 turbiini kere, 3 juhtlabad, 4 töölabad [26]*



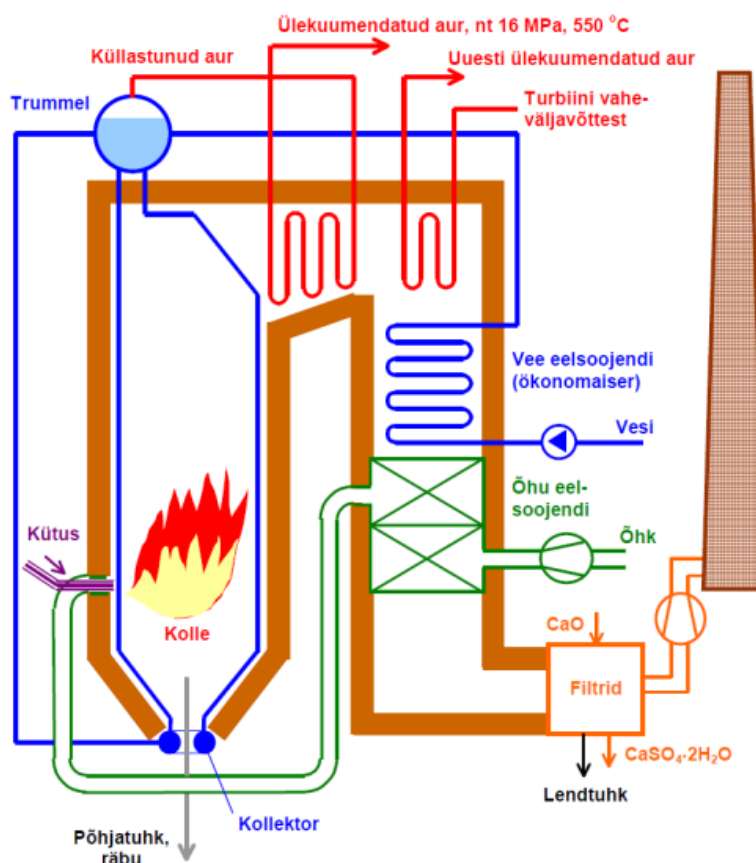
Nii juht- kui ka töölabasid on labaderingi ümbermõõdul harilikult vähemalt mõnikümmend, järjestikuseid labaderinge (astmeid) võib olla mõnest kuni paarikümneni. Kuna aur energiat ära andes paisub, on turbiini kere (mida nimetatakse ka silindriks) laieneva koonuse kujuline.

Mida kõrgemad on auru parameetrid (rõhk ja temperatuur) ja mida suurem on turbiini nimipöörlemiskiirus, seda väiksemad on ühelsamal võimsusel turbiini mõõtmed ja mass. Seetõttu püütakse valida valida auru parameetrid nii kõrged nagu seda lubab turbiini labade materjal, milleks enamasti on kuumuskindel eriteras. Pöörlemiskiirus on määratud käitatava masina nõutava kiirusega. [27]

Seejuures on võimalik eristada kahte erinevat turbiinitüüpi, mille kasutus sõltub sellest, mida elektritootmisel tekkiva auruga teha soovitakse: kas seda soovitatakse kasutada tehnoloogilise auruna tootmisprotsessis või soojusena suunamiseks küttrassi ning seeläbi varustada soojusenergia tarbijaid soojusega hoonete kütmiseks ja tarbevee soojendamiseks.

- Vasturõhuturbiinid- nendest turbiinidest väljub kogu aur rõhul, mis on vastavuses soojustarbija poolt vajatava auru rõhuga (0,2-0,5 MPa). Seega puudub vasturõhu turbiinil madalrõhuosa koos kondensaatoriga ja aur suundub turbiinist soojustarbijaile, milleks võivad olla kaugkütte soojatarbija või tehnoloogiline aurutarbija. Nimetatud turbiinid on oma töös vähepaindlikud, kuna soojustarbija auruvajadus määrab üheselt turbiini läbiva aurukoguse ja seega ka turbiini võimsuse. [28]
- Kondensatsiooniturbiinid- Kondensatsiooniturbiini puhul suunatakse kogu aur läbi turbiini labade ning jääksoojus suunatakse kondensaatorisse või soojusvahetisse, kust saadakse kätte kütteks sobilike parameetritega soojus, mida edastada soojatarbijatele.

Tavaliselt kuulub auruturbiini juurde veel ka aurukatel või boiler, millest väljuv aur suunataksegi turbiini labadele (joonis 3.7).



*Joonis 3.7. Loomuliku tsirkulatsiooniga trummel-aurukatla põhimõtteskeem*

Nii muudetakse katla koldes kütuse siseenergia esmalt soojuseks, mis juhitakse katlas olevasse vette- vee siseenergia suureneb, vesi hakkab keema ja muutub küllastunud auruks. Ülekuumendatud aur suunatakse düüsisesse, kus auru siseenergia muundatakse auru kineetiliseks energiaks ning juhtides auru rootori labadele, muutub selle kineetiline energia lõpuks pöörleva rootori mehaaniliseks energiaks. [29]

Sellise süsteemi eelisteks loetakse võimalust kasutada erinevaid kütuseid, suhteliselt pikka kasutusiga, suhteliselt madalaid tootmiskulusid ning võimalust rakendada suurte võimsustel.

Järgnevalt on toodud aurujõuseadmete eelised ja puudused: [27]

Eelised:

- Töökindel ja kaua kasutusel;
- Lai võimsuste valik;
- Levinum tehnoloogia koostootmisjaamades;
- Sobib hästi ühtlastel koormustel.
- Võimalus kasutada erinevaid kütuseid

Puudused:

- Ei talu väikeseid koormusi;
- Suhteliselt kõrged hoolduskulud ja spetsialistide vajadus;
- Eeldab hea toitevee ettevalmistust;
- Väikestel alla 1 MW võimsusega seadmetel on väike elektriline kasutegur tingituna auru madalatest parameetritest;
- Suur erimaksumus

Auruturbiinide tootjaid on maailmas palju. Järgnevalt on välja toodud mõningad auruturbiinide tootjad, kelle lahendusi on võimalik kasutada soojus- ja elektrienergia koostootmisel Keila Tööstuspargi tingimustes.

### *Siemens*

Siemens on üks maailma suurimaid energeetikaettevõtteid, kes tegutseb energeetika, tööstuse, tervishoiu ja infrastruktuuri sektorites. Muuhulgas toodab Siemens ka auru- ja gaasiturbiine, mis jäävad elektrilise võimsuse vahemikku alates 75 kilovatist kuni 1 900 megavatini. Käesolevas töös on vaadeldud SST seeria eeldisainitud auruturbiine, mis on Siemensi standardlahendused ning mille võimsuslagi on 12 MW.



***Joonis 3.8. Siemensi SST tüüpi koostootmisseade***

### *Elliot Group*

Elliot`puhul on tegemist USA ettevõttega, kes on spetsialiseerunud gaasi- ja auruturbiinide arendusele ja tootmisele. Ettevõtte tegutseb ülemaailmselt. Ellioti turbiinid on tuntud oma töökindluse ja paindlikkuse poolest. Ettevõtte pakub auruturbiine, mille elektriline väljundvõimsus jääb vahemikku 15 kW- 100 MW.



***Joonis 3.9. Ellioti 80 kW auruturbiin ja generaator [30]***

### *General Electric*

General Electric on maailma üks juhtivatest auruturbiinide tootjatest. Kokku on ettevõtte tootnud 1,2 TW tootmisvõimekusega turbiine olles sellega installeerinud 41% kõikidest maailma auruturbiinidest. Ettevõtte tegeleb nii turbiinide arenduse kui ka tootmisega pakkudes auruturbiine elektrilise nimivõimsuse vahemikus 80-700 MW.



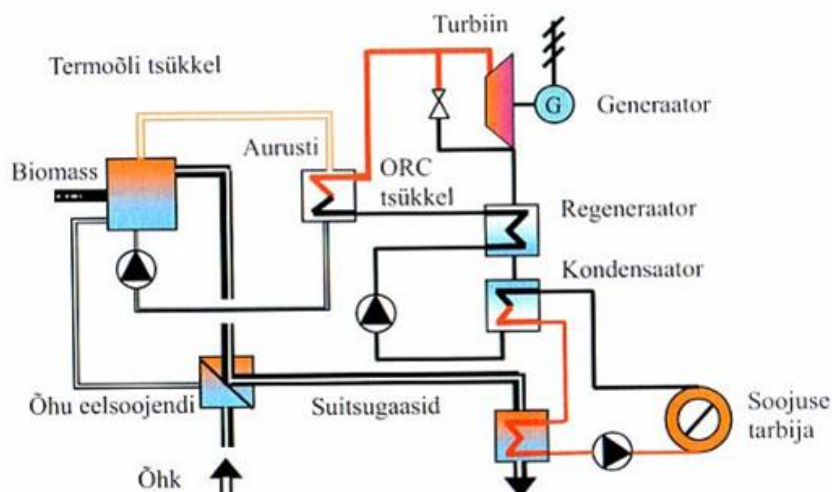
*Joonis 3.10. General Electricu auruturbiini läiblõige*

Antud töös on Keila Tööstuspargi näitel kasutatud just Siemensi auruturbiini SST-040.

### **3.3 Rankine` ringprotsessil põhinev koostootmistehnoloogia**

Uuemaid elektritootmise tehnoloogiaid on ORC - Organic Rankine Cycle ehk termaalõli soojuskandja vahendusel energia üle kandmine elektri tootmiseks. Soojust muundatakse mehhaaniliseks energiaks siin Rankine`i tsükli abil, kuid nn termodünaamiliseks kehaks on orgaanilised vedelikud. See on turuvalmis tehnoloogia, mis arendati välja geotermiliste- ja päikeseelektrijaamade tarbeks. [31]

ORC tööprintsip on järgmine: Katlas (katla kütuseks võib olla mistahes kütus, kuid levinum on nn puitpõhiste ehk biokütuste kasutamine) kuumutatakse termoõli kuni 300C-ni ning soojus kantakse üle silikoonõlile soojusvahetis. Orgaaniline soojuskandja aurustub ja paisub turbiinis. ORC seadme skemaatiline tööprintsip on välja toodud alloleval joonisel 3.11.



*Joonis 3.11. Orgaanilise Rankine'i ringprotsessiga tehnoloogia skeem [31]*

ORC seadmete eelised on:

- Töötav termooili on madala rõhuga, seade on vaba aurule omastest piiranguist
- ORC mooduli lisamine olemasolevale katlale, näiteks puidukatlale on suhteliselt lihtne
- Seade on kõrgelt automatiseeritav, praktiliselt mehitamata, hoolduskulud palju madalamad kui aurukatla puhul
- Töötav keskkond pole korrodeeriv, see ei kuluta turbiini labasid ega vanane
- Keemilist vee ettevalmistust pole vaja
- Töötab suhteliselt vaikselt
- Kõrge ringprotsessi kasutegur ka madalatel koormustel, väga kõrge turbiini kasutehur (üle 90 %) [32]
- Omab väga laia koormusdiapasooni
- Üsna hooldusvaba tehnoloogia, millest on tingitud ka madalad hoolduskulud [33]
- Kõrge töökindlus
- Puudub korrosioon ja turbiini labad ei kulu, sest puudub niiskus auru düüsidest

ORC seadmete puudused on:

- Silikoonõli on kergesti süttiv, lekkimist vältivad süsteemid on vajalikud
- Suhteliselt kõrged investeeringud, tootjaid veel vähe, konkurents madal [32]

- Kütuse iseloomust tulenevad puudused. Üldjuhul kasutatakse kütusena biomassi, millel on madalam kütteväärtus ning mis ei ole nii puhas kütus. Sellest tingituna tekivad ka jääkproduktid nagu tuhk. [34]

### GMK

GMK on üks juhtivaid ORC tehnoloogia arendajaid ja tootjaid Euroopas. GMK pakub täislahendust alates seadmete projekteerimisest, kuni tootmise, paigalduse ja hoolduseni. Ettevõtte põhikompetents peitubki just antud seadmete arendamises samal ajal kui tootmine toimub ettevõttes kõrvaltegevusena. Ettevõtte asub Bargeshagenis, Põhja- Saksamaal, kus töötab ligikaudu 25 inseneri, teadlast ja muu tehniline personal. Ettevõtte poolt pakutavate jaamade võimsused jäävad 0,5-2 MW elektrilise võimsuse ning 3-8 MW soojusliku nimivõimsuse vahemikku. Antud lahendused kasutavad kütusena biomassi.



*Joonis 3.12. GMK koostootmisjaam*

### *Turboden*

Turboden on samuti üks antud valdkonna juhtivaid ettevõtteid, kes asub Itaalias ning pakub samuti Orgaanilisel Rankine`ringprotsessil töötavaid koostootmisjaamu. Pakutavate jaamade võimsusvahemik on väga lai jäädes 200 kW ja 15 MW elektrilise väljundvõimsuse vahemikku.



***Joonis 3.13. Turboden ORC tehnoloogial koostootmisjaam***

Käesolevas töös on vaadeldud ORC tehnoloogiana GMK poolt pakutavaid seadmeid. Nende põhjal on simuleeritud ORC tehnoloogial koostootmisjaama tööd ning teostatud ka tasuvusarvutused.

Simulatsioonide teostamiseks on sisepõlemismootori tehnoloogia korral kasutatud 2G koostootmisagregaate, auruturbiintehnoloogia puhul Siemensi koostootmisagregaate ning ORC tsükli puhul GMK koostootmisseedmeid. Detailsem tehnoloogiate analüüs on välja toodud neljandas peatükis, kus vaadeldakse simulatsioonides kasutatavaid energiatootmisseedmeid ja nende parameetreid.



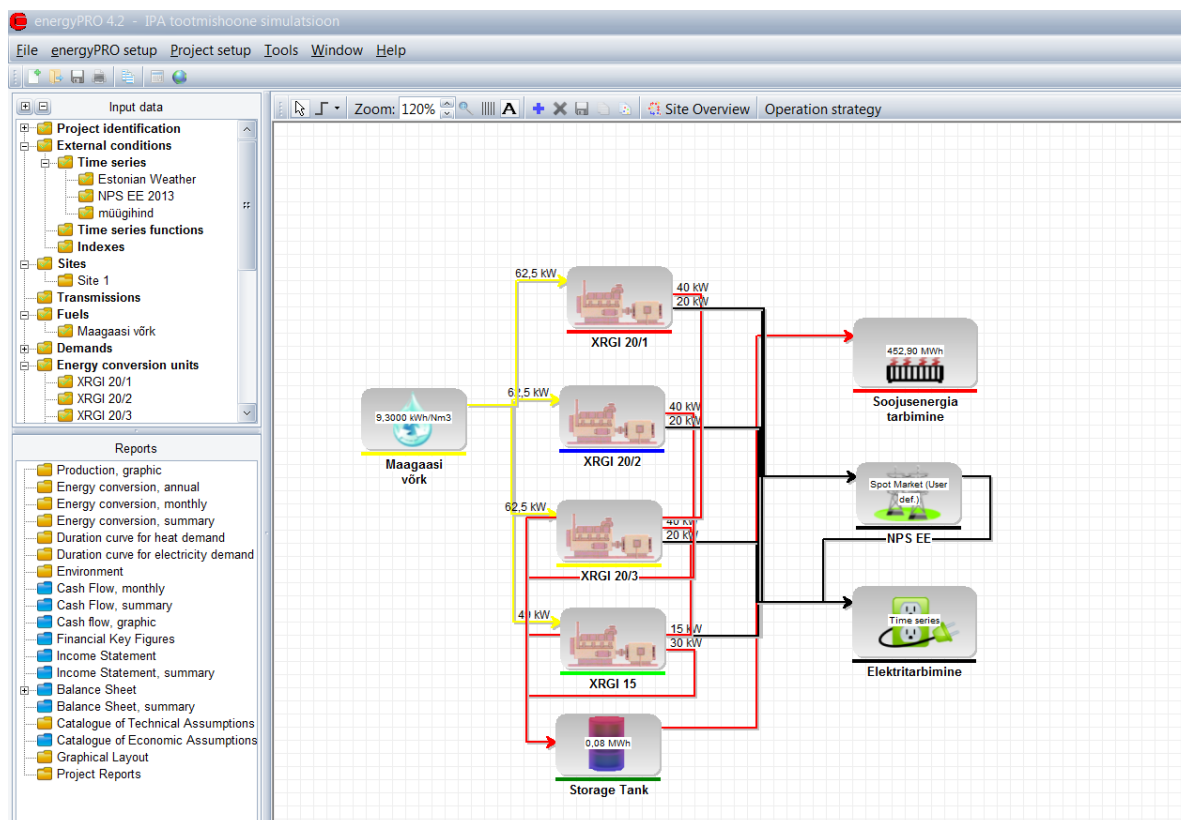
## **4. EnergyPRO tööpõhimõte ja selle sisendparameetrite kirjeldus**

Käesolevas peatükis on kirjeldatud energyPRO simuleerimistarkvara tööpõhimõtet, tema rakendamise võimalusi ning välja toodud simulatsioonides kasutatavad sisendparameetreid, mida koostootmisjaamade käidu ja seeläbi sobiliku võimsuse valikuks simulatsioonides kasutatakse.

### **4.1. Simuleerimistarkvara energyPRO tööpõhimõte**

Keila tööstuspargi tarbimisandmete analüüsi teostamiseks ning sobiva koostootmisjaama võimsuse valikuks on kasutatud energyPRO tarkvara. EnergyPRO puhul on tegemist Taani ettevõtte EMD International A/S poolt väljatöötatud programmiga, mille alusel on võimalik simuleerida erinevat tüüpi elektri- ja soojusjõujaamade tööd, analüüsida jaamade aasta, kuu- ja tunnipõhist toodangut, jaama omatarvet ning leida jaamade optimaalne võimsus lähtuvalt tarbijate elektri- ja soojusenergia vajadusest. Samuti on võimalik arvutada üsna põhjalikke majanduslikke parameetreid. Käesolevas uurimistöös on keskendutud koostootmisjaama soojus- ja elektrienergia toodangu väljaselgitamisele ning majanduslike tasuvusarvutuste teostamisele antud tarkvara abil.

Alloleval joonisel 4.1 on välja toodud vaade energyPRO töölauast, millelt saab ülevaate, milliseid sisendparameetreid saab simulatsiooni sisestada ning milliseid simuleerimisandmeid mudel tulemustena esitab.



*Joonis 4.1. Simuleerimistarkvara energyPRO töölaud*

Sisendina saab tarkvarasse sisestada järgmised andmed:

- Kasutatavad kütused, nende kütteväärtused ja hinnad
- Välisõhu temperatuuriandmed
- Elektri- ja soojusenergia tarbimine
- Vaadeldav energiatootmisüksus koos tehniliste näitajatega
- Erinevat tüüpi soojus- ja elektrienergia salvestid
- Elektrienergia turuhinnad
- Jaamade käidustrateegia
- Heitgaaside emissioonid ja nende maksud
- Maksud ning käidu- ja hooldekulud, investeringu maksumused
- Sõltuvalt vaadeldavast jaamas päikese radiatsiooni väärtused või tuule kiiruse andmed

Väljundina on võimalik saada järgmiseid andmeid/raporteid:

- Tunnipõhised tootmis- ja tarbimisgraafikud
- Tarbimise ja toodangu koormuskestvusgraafikud
- Energiatoodangu kuupõhised ja aastased kogused

- Soojus- ja elektrienergia tarbimise koormusgraafikud
- Heitmete kogused
- Aastased ja kuupõhised rahavood
- Projekti kokkuvõte

Käesolevas uurimustöös on eesmärgiks sisestada energyPRO tarkvarasse teadaolevad tööstuspargi soojus- ja elektrienergia tarbimisandmed ning välisõhu temperatuurandmed ja nende andmete põhjal simuleerida koostootmisjaama käitu. Lisaks leitakse, millise võimsusega peavad olema koostootmisagregaadid juhul, kus jaamad töötavad soojusliku koormusgraafiku järgi ning toodavad sealjuures võimalikult palju elektrienergiat, mis võrku müüakse. Kokku on simuleeritud 3 erinevat stsenaariumi, millest iga stsenaariumi korral analüüsitakse erinevat koostootmistehnoloogiat.. Järgnevalt on kirjeldatud üksikasjalikumalt sisendparameetreid, mida simulatsioonide käigus kasutatakse.

## 4.2. Sisendparameetrite kirjeldamine

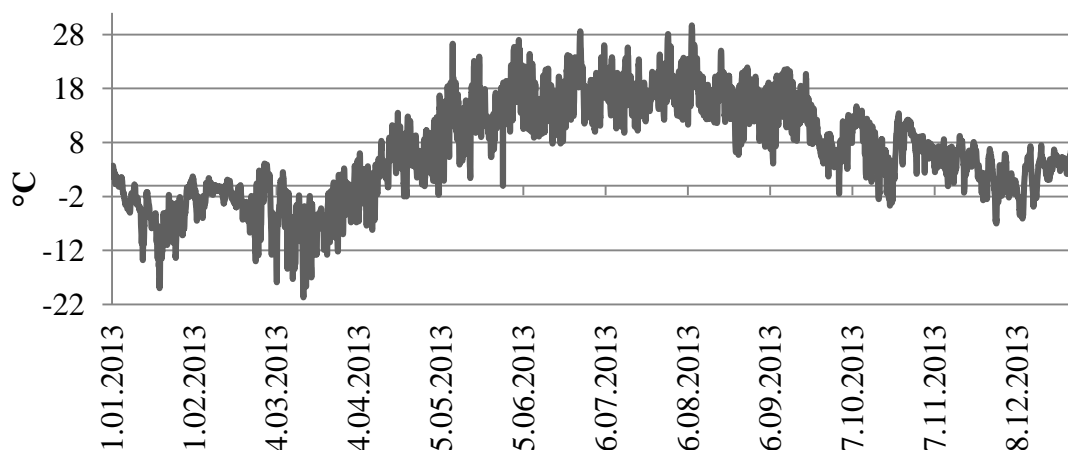
### *Välisõhu temperatuur Eestis*

Välisõhu temperatuuri vajalikkus tuleneb sellest, et sisendinfona puuduvad tunnipõhised soojusenergia tarbimisandmed. Teada on vaid soojusenergia kuupõhised toodangu ja müügi andmed, mille kaudu saab leida ka tööstuspargi soojusenergia vajaduse. Kuna soojusenergia müügi andmed on mõõdetud iga tarbija vahetus läheduses soojussõlme juures ning teada on ka tööstuspargi peatrassidesse antud soojusenergia kogused, on võimalik leida ka trassi kaod, mis olid kirjeldatud ka eespool. Seega kasutatakse simulatsioonis tarbimisena praeguse katlamaja netovõimsust ehk tööstuspargi brutotarbimist, millest ei ole võrgukadusid maha arvatud. Seega on töö edasistes etappides tööstuspargi brutotarbimist käsitletud tööstuspiirkonna soojusenergia tarbimisena.

Teades soojusenergia kuupõhiseid tarbimisandmeid, pannakse need simulatsioonis sõltuma välisõhu temperatuurist, mille kohta on tunnipõhised andmed teada. See võimaldab anda soojusenergia tarbimisandmete tunnipõhised väärtused, mis on igal juhul täpsemad võrreldes eeldusega, et terve kuu soojusenergia vajadus on konstantne.

Keskmine õhutemperatuur Eestis oli aastatel 1971-2000 5,6 °C ning vahemikus 2008-2013 6,25 °C. Käesolevas uurimustöös on võetud arvesse 2013. aasta keskmised tunnipõhised välisõhu temperatuurid, mis on mõõdetud Harku Meteoroloogiajaamas ning mille andmed olid

juba eelnevalt küsitud Keskkonnaagentuuri käest. Vastavate andmete põhjal on koostatud tunnipõhiste temperatuurikõikumiste ülevaate saamiseks graafik, mis on välja toodud joonisel 4.2. Antud andmete põhjal kujunes aasta keskmiseks temperatuuriks 6,71°C. [35]



*Joonis 4.2. Harku välistemperatuuri tunniandmed aastal 2013 [35]*

Aastal 2012 oli keskmine välisõhu temperatuur 5,32 °C, aastal 2011 7,03 °C, aastal 2010 4,95°C, aastal 2009 6,1°C ning aastal 2008 oli 7,31 °C, mis näitab, et 2013 aasta temperatuuriandmete kõrvalekalle ajaloolistest andmetest ei ole nii suur ning neid võib simulatsioonides kasutada. [36]

#### *Keila Tööstuspargi soojusenergia tarbimine*

Soojusenergia tarbimisandmete vajalikkus simulatsioonis kasutamiseks tuleneb sellest, et koostootmisjaam võtab arvesse soojusenergia vajadust tööstuspiirkonnas ning lähtuvalt sellest reguleerib enda talitlust. See tähendab, et koostootmisjaam pannakse tööle soojuskoormuse järgi. Koostootmisjaama poolt toodetud soojusenergia kasutatakse täielikult ära tööstuspargis ning võimalikku tekkivad ülejääki täiendavalt kaugküttevõrku ei suunata.

Kuna teada on vaid soojusenergia kuupõhised tarbimisandmed, siis on tarvis simulatsioonide võimalikult täpseks teostamiseks seada mõningad eeldused:

- Simulatsiooni on sisestatud eespool vaadeldud nelja aasta keskmised kuupõhised soojusenergia tarbimisandmed, kuna see iseloomustab soojusenergia tarbimist pikema perioodi peale paremini võrreldes vaid ühe konkreetse aasta tarbimisandmeid aluseks võttes. Kui näiteks ühel aastal on tarbimine liiga madal, dimensioneeritakse

koostootmisjaam liiga madala võimsusega, suure tarbimisega aasta korral aga dimensioneeritakse jaam liiga väikse võimsusega.

- Soojusenergia tarbimisandmed on pandud sõltuma 2013 aasta välisõhu tunnipõhistest temperatuuridest
- Kütteperiood on määratletud septembri lõpust mai alguseni. Suvel jaamad seisavad ja soojuse tootmist ei toimu.
- Kui välisõhu temperatuur ületab 17 °C, siis lülitatakse hoones küttesüsteem välja
- Kogu tarbimine sõltub välisõhu temperatuurist, seega tarbeveeks vajaminevat soojust ei arvestata. See toodetakse lokaalselt iga klienti hoones.
- EnergyPRO poolt arvatud tunnipõhiste soojusenergia tarbimisandmete usaldatavuse kontrolliks on võrreldud energyPRO arvatud kuupõhiseid soojusenergia tarbimisandmeid tegelike tarbimisandmetega.

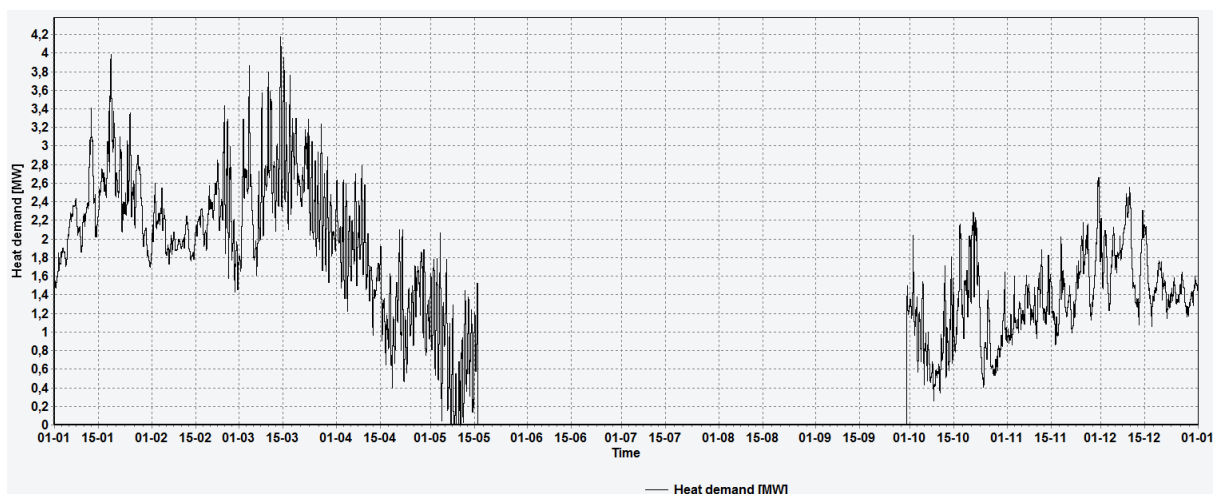
Simulatsioonide käigus on soojusenergia tarbimisandmete aluseks võetud 2012-2015 aastatel tarbitud soojusenergia kuutarbimised, ning leitud nende kaalutud keskmised väärtused. Põhjus, miks on kasutatud just vaadeldud nelja aasta keskmist soojusenergia tarbimist, seisneb selles, et ainult ühe aasta tarbimist arvesse võttes ei oleks arvutustulemused niivõrd täpsed, kui need on nelja aasta keskmise tarbimise arvestamisel. Soojusenergia tarbimise erinevused aastate lõikes olid esitatud eespool oleval joonisel 2.3, millelt avaldub, et nelja aasta keskmine tarbimine iseloomustab väga hästi tööstuspiirkonna tarbimist. Jooniselt on näha, et aasta-aastalt on kuupõhiselt tarbimine külmematel kuudel olnud langustrendis, mis on ilmselt põhjendatav sellega, et viimastel aastatel on Eestis olnud üsna soojad talved ning seeläbi ka majadam soojusenergia vajadus. Kütteperiood on alanud igal aastal kas septembri viimastel päevadel/oktoobri alguses, väljaarvatud 2012 aastal, kui kütteperiood algas mõned päevad varem (graafikul on selgelt tarbimist näha).

Parema selguse huvides ja tuues iga aasta summaarse soojusenergia tarbimise kõrvalekalde keskmisest tarbimisest paremini välja, on allolevas tabelis 4.1 välja toodud iga aasta summaarne soojusenergia tarbimine ja selle erinevus võrreldes keskmise tarbimisega.

**Tabel 4.1. Soojusenergia aastane summaarne tarbimine ja selle kõrvale kalle 4 aasta keskmisest tarbimisest.**

| Aasta                    | Soojusenergia tarbimine [GWh] | Erinevus keskmisega [%] |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 2012                     | 8,5                           | 11,42%                  |
| 2013                     | 9,4                           | 1,55%                   |
| 2014                     | 9,4                           | 1,42%                   |
| 2015                     | 10,8                          | -11,63%                 |
| <b>Kaalutud keskmine</b> | <b>9,5</b>                    |                         |

Nagu tabelist 4.1 avaldub, on kõrvalekalded keskmisest kõige suuremad 2012. ja 2015. aastal, kus erinevus on umbes 11,5 %. Seega, kui võrrelda omavahel 2012. ja 2015. aastat, siis on nende kahe aasta erinevus ca 25 %, mis on väga suur. See on ilmselt tingitud meteoroloogilistest tingimustest: 2012. aasta oli märgatavalt külmem võrreldes 2015. aastaaga, kuna kui vaadata klientide nimekirja lähteandmetest, kellele soojust müüdi, siis selle ajaga uusi tarbimispunkte või klienti juurde ei ole tekkinud. 2013. ja 2014. aastaga võrreldes on keskmine summaarne soojuse tarbimine praktiliselt identne. Erinevus on vaid umbes 1,5 %. Järgnevalt on nelja aasta keskmine kuupõhine soojusenergia tarbimine pandud sõltuma 2013. aasta välisõhu temperatuurist ning sellest lähtuvalt on saadud tunnipõhine soojusenergia koormusgraafik, mis on esitatud alloleval joonisel 4.4. 2013. aasta on ka selles osas hea, kuna 2013. aasta soojusenergia summaarne tarbimine on praktiliselt identne vaadeldava nelja aasta keskmise tarbimisega. Antud sõltuvus on teostatud simuleerimistarkvara EnergyPRO abil. Tarbimine pannakse küll sõltuma välisõhu temperatuurist, mille tulemusena joonistub tunnipõhine soojusenergia tarbimise graafik, kuid aastane summaarne tarbimine jääb samaks.



**Joonis 4.3. Soojusenergia tarbimise koormusgraafik sõltuvalt tunnipõhisest välisõhu temperatuurist (MWh)**

Jooniselt 4.4 on näha, et kogu piirkonnas tarbitav soojusenergia tarbitakse oktoobrist mai keskpaigani. Jooniselt on hästi näha järske soojusenergia tarbimise kasvusid, mis on seotud väga külmade talveöödega, kus õhutemperatuur langeb alla  $-20^{\circ}\text{C}$ . Maksimaalne soojuskoormus, mis aasta jooksul tekib, on 4,2 MW. Suvel tarbimine puudub täielikult, kuna katlamaja sooja eraldi tarbevee jaoks ei tooda.

Selleks, et hinnata, kas energyPRO programm simuleerib välisõhu temperatuuri ning kuupõhise soojusenergia tarbimise alusel adekvaatsed tunnipõhised tarbimised on tabelis 4.2 võrreldud 2013. aasta tegelikke ning simuleeritud soojusenergia tarbimisi.

**Tabel 4.2. Keila Tööstuspargi simuleeritud ja tegeliku soojusenergia tarbimise võrdlus**

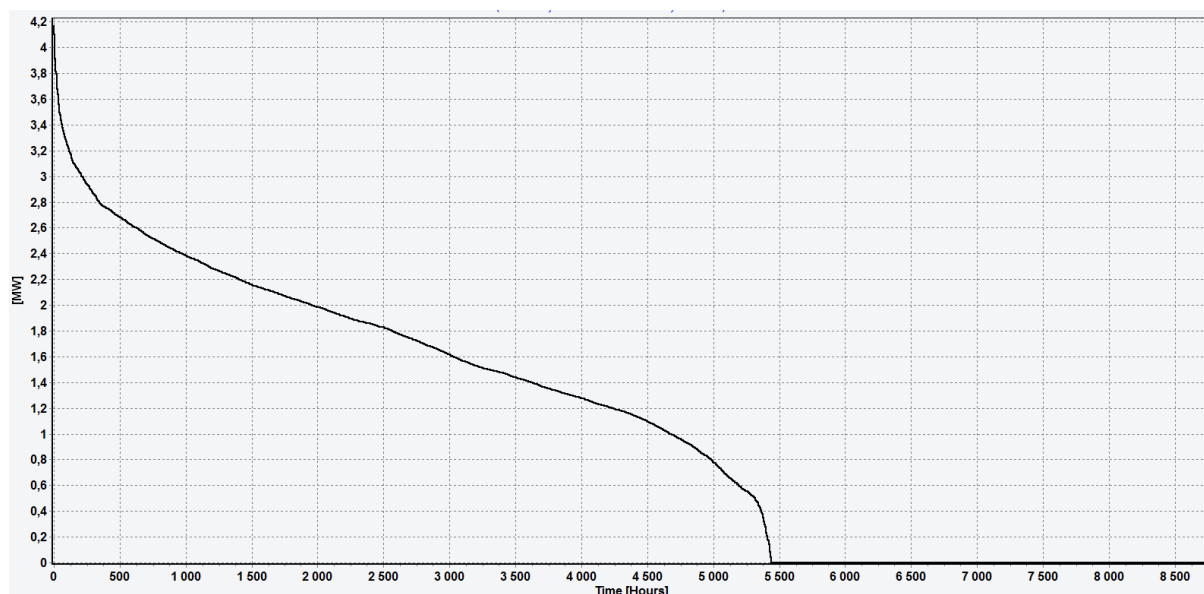
| Soojusenergia tarbimine          | Jaan  | veeb  | mär   | apr   | mai  | juun | juul | aug | sept | okt | nov   | dets  | Kokku |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|------|-----|-------|-------|-------|
| Keila tööstuspiirkonna tarbimine | 1 831 | 1 574 | 1 428 | 943   | 241  | 0    | 0    | 0   | 33   | 861 | 1 134 | 1 458 | 9 504 |
| EnergyPRO simulatsioon           | 1 765 | 1 441 | 1 890 | 1 102 | 280  | 0    | 0    | 0   | 31   | 786 | 1 003 | 1 205 | 9 504 |
| Erinevus MWh                     | 66    | 133   | -462  | -159  | -39  | 0    | 0    | 0   | 2    | 75  | 131   | 253   | 0     |
| Erinevus %                       | 4%    | 8%    | -32%  | -17%  | -16% | 0%   | 0%   | 0%  | 7%   | 9%  | 12%   | 17%   | 0%    |

Nagu tabelist ilmneb, siis summaarne soojusenergia tarbimine on aasta peale simulatsioonil sama nagu ka tegelik arvestatud keskmine tarbimine viimase nelja aasta jooksul. Kui võrrelda kuid, siis suurim erinevus on märtsis, mil simulatsioon genereeris tarbimiseks 32% suurema soojusenergia koguse. Aprillis, mais, novembris ja detsembris oli erinevus 12-15% ning ülejäänud kuudel jäi erinevus alla 10%.

Antud erinevused ei oma väga suurt tähtsust, finantsilisest aspektist vaadatuna toodetakse soojusenergiat kütustest, mille hinnad on kogu vaadeldava perioodi vältel fikseeritud. Seega ei avalda erinevus mõju ka rahavoogude arvutamisel. Mõningad erinevused võivad sisse tulla küll elektrienergia toodangus, ja seeläbi ka müüdavates elektrienergia kogustes, kuid see on samuti pigem marginaalne erinevus ning ei mõjuta tulemusi märgatavalt.

Seega võib öelda, et simuleerimistarkvara energyPRO suudab luua üsna adekvaatsed tunnipõhised soojusenergia tarbimisgraafikud ning sellest lähtuvalt võib sellist lahendust, kus võetakse nelja aasta keskmised kuupõhised soojusenergia tarbimised ning need pannakse sõltuma välisõhu temperatuurist, kasutada soojusenergia tarbimise sisendparameetritena simulatsioonide teostamisel.

Järgnevalt on alloleval joonisel 4.5 välja toodud Keila Tööstuspargi soojusenergia koormuskestvusgraafik hindamaks piirkonna baas-, pooltipu- ja tipukoormust.



**Joonis 4.4. Keila Tööstuspargi soojusenergia koormuskestvusgraafik (MWh)**

Nagu nii eespool esitatud andmetest kui ka antud graafikult ilmneb, siis vajab tööstuspiirkond katlamaja poolt toodetud soojusenergiat vaid umbes 5 400 tunnil aastas. Seega saab sellest järeldada, et tarbevett katlamaja tööstuspiirkonnale ei tooda. Seda tehakse lokaalselt iga tarbimispunkti juures ning ilmselt elektri abil.

Kuna tööstuspiirkonnas ei ole katlamaja poolt toodetud soojusenergiat aastaringselt vaja, siis lähtuvalt sellest on keeruline hinnata ka baaskoormust. Võib öelda, et see antud piirkonnal puudub. Seega saab hinnata vaid pooltipu- ja tiputarbimist. Pooltipukoormuseks on kuni 2 MW ning tipukoormus on kuni 4,2 MW.

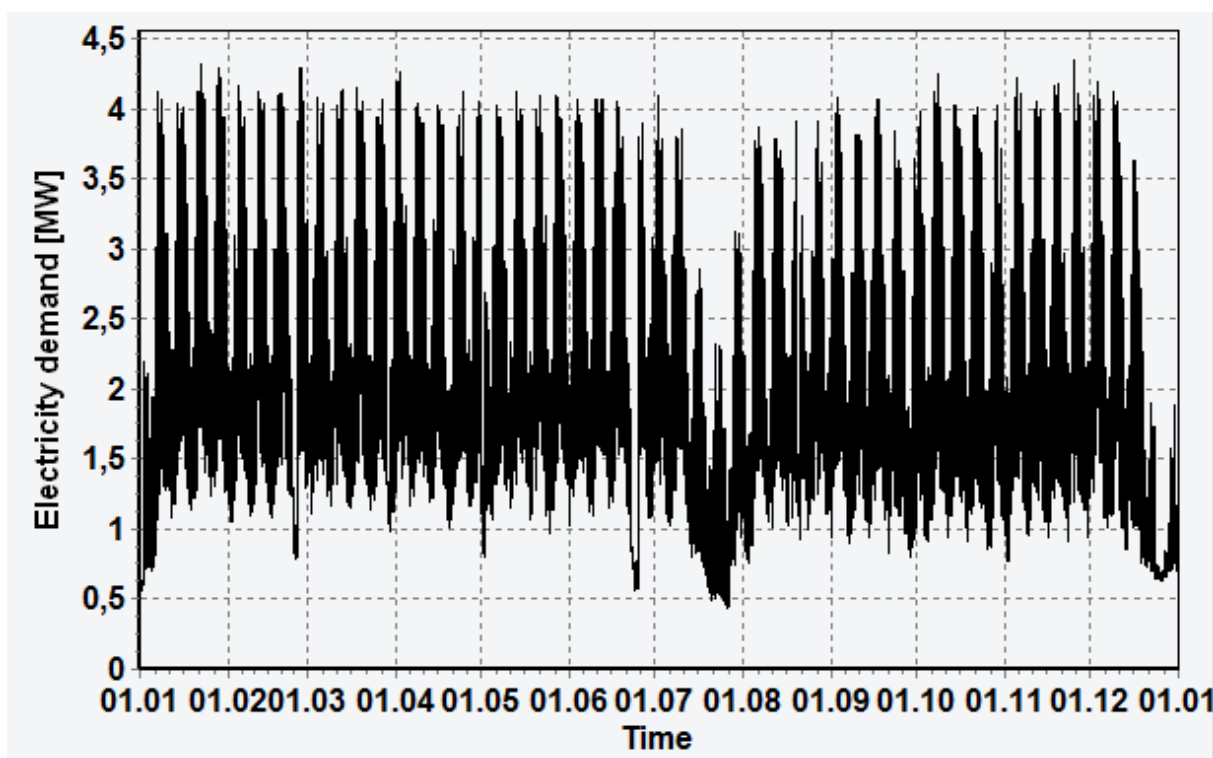
#### *Keila Tööstuspargi elektrienergia tarbimine*

Elektrienergia tarbimisandmete analüüsi vajalikkus tuleneb sellest, et võrrelda tarbimisandmeid koostootmisjaama poolt toodetud elektrienergia kogustega. Täna ostab Entek Elektrienergiat võrgust ning müüb selle edasi mõningatele tööstuspargis olevatele klientidele, kuid mitte kõigile. Mahu poolest müüakse otse klientidele laias laastus 6 GWh elektrienergiat. Ülejäänud osa kogu tööstuspargi tarbimisest ostavad tarbijad ise, mitte otse Enteki käest. See on aga ühelt poolt ka Enteki jaoks saamatajäänud kasu. Kui Entek suudab toota elektrienergiat konkurentsivõimelisema hinnaga, on kindlasti võimalik enam kliente tööstuspargile juurde saada ning seeläbi nii ettevõtte käivet kui ka kasumit kasvatada. Nagu eespool mainitud, on Enteki elektrienergia ostuhind viimase kolme aasta jooksul jäänud vahemikku 44,7-



45,8 €/MWh. Ehk toodetav elektrienergia müügihind klientidele peaks olema odavam ostetavast hinnast. Kahjuks ei ole teada, mis hinnaga kliendid ise hetkel elektrit ostavad, seega on keeruline võtta arvesse piirhinda, millega kliendid oleksid valmis elektrienergiat ostma.

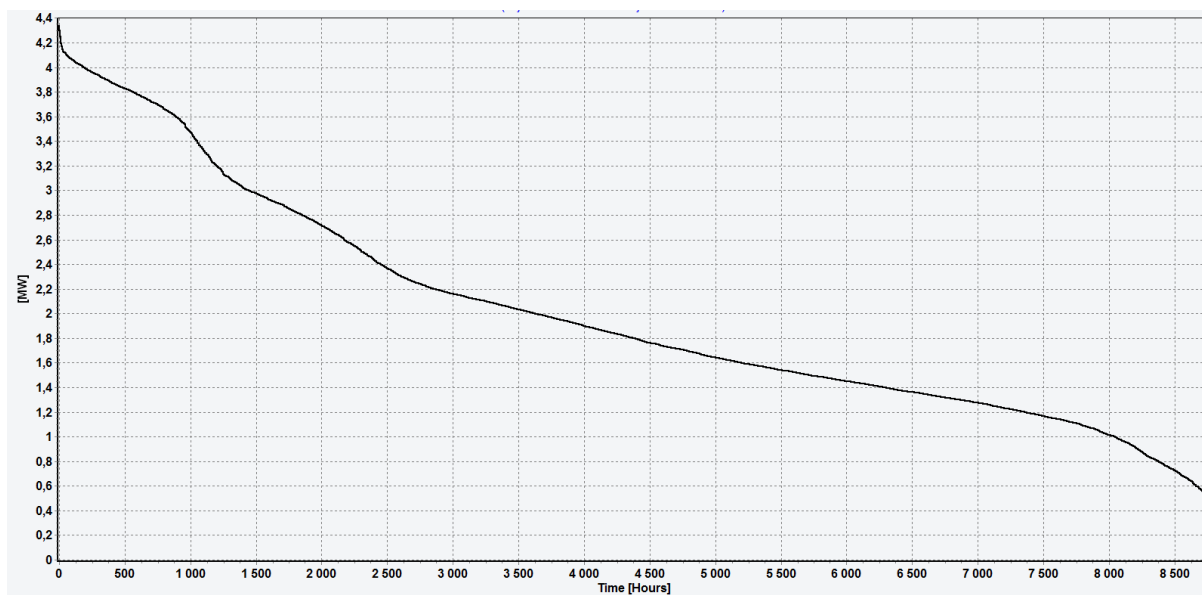
Käesolevas töös on elektrienergia tunnipõhisteks tarbimisandmeteks võetud 2015. aasta tunnipõhised elektrienergia tarbimisandmed. Nagu eespool leitud, tarbiti tööstuspargis summaarselt kokku 17,62 GWh elektrienergiat.



*Joonis 4.5. Elektrienergia tarbimise koormusgraafik 2015 aastal*

Jooniselt 4.6 ilmneb kaks iseärasust. Esiteks on märgata väga väikest tarbimist detsembri lõpus ja jaanuari alguses ning teist tarbimise langusperioodi augustis. Antud langused on ilmselt põhjendatavad puhkusteperioodidega nendel aegadel. Nagu näha, siis varustuskindlusega oli olukord 2015. aastal hästi ning ühtegi pikemat elektrienergia katkestust ei olnud.

Joonisel 4.7 on tootmishoone elektrienergia tarbimise parema ülevaate saamiseks välja toodud 2015. aasta tööstuspargi elektrienergia tarbimise koormuskestvusgraafik, mille saab hõlpsasti kätte energyPRO tarkvara abil, kui sinna sisestada elektrienergia tunnipõhised tarbimisandmed.



**Joonis 4.6. Keila tööstuspargi elektrienergia tarbimise koormuskestvusgraafik (MW)**

Koormuskestvusgraafikult on näha, et tööstuspargi baaskoormuseks on 0,45 MW, mis moodustab tipukoormusest umbes 10,5%. Pooltipukoormuseks on 2,7 MW ning tipuvõimsuseks 4,3 MW.

Kui võrrelda omavahel elektrienergia tarbimist soojusenergia tarbimisega, mille korral baaskoormusekt ei olnud üheselt võimalik määratleda, pooltipukoormuseks 2 MW ning tipukoormuseks 4,2 MW, siis on kohe näha, et elektrienergia puhul on baaskoormus üsna suur. Pooltiputarbimine on samuti elektrienergia puhul suurem nagu ka tiputarbimine.

#### *Energiatootmisagregaatide lähteandmed*

Koostootmisjaamade dimensioneerimine toimub soojusenergia tarbimis alusel, kuna sel juhul toimub energia kõige efektiivsem kasutamine ning energiat ei tule asjatult tuulde lasta. Taoline võimalus võib tekkida näiteks juhul, kui jaam dimensioneeritakse elektrienergia tarbimise järgi. Sel juhul tekiks probleem, mida teha ülejääva soojusenergiaga. Kui elektrienergia üle jääb, siis see on alati võimalik kas maha müüa või ise ära tarbida. Soojuse puhul sõltub selle müümise võimalus tarbimise vajalikkusest.

Energiatootmisagregaatidena on kasutatud kolme erinevat tehnoloogiat nagu eespool mainitud: sispõlemismootori tehnoloogial koostootmisjaama, auruturbiintehnoloogial põhinev koostootmisjaama ja orgaanilisel Rankine` ringprotsessil põhinevat koostootmistehnoloogiat.

Kuna koostootmisjaama ei ole mõistlik dimensioneerida kogu soojusenergia tarbimise diapasoni ulatuses, vaid katmaks antud juhul vaid osa pooltiputarbimisest (jaama töötunnid peaksid jääma 5 000-6 000 töötunni vahele, et ta oleks tasuv), siis on koostootmisjaamadele täiendavalt juurde lisatud ka katlad, mis toodavad pooltipukoormuseks ja tiputarbimise katteks vajalikku soojusenergiat. Eespool väljatoodud soojusenergia koormuskestvusgraafikult avaldub, et selleks, et jaam saaks töötada vähemalt 5 000 töötundi aastas, peaks tema soojuslik installeeritud võimsus olema 1,2 MW. Selle eelduse alusel on välja valitud koostootmisjaamade võimsused tehnoloogiate lõikes.

Järgnevalt on allolevas tabelis 4.3 välja toodud simulatsioonides kasutatavate koostootmisjaamade (KTJ) tehnilised parameetrid, mis sisestatakse EnergyPRO simulatsiooni.

**Tabel 4.3. Simulatsioonides kasutatavate koostootmisjaamade tehnilised parameetrid**

| Parameeter                           | Ühik    | Sisepõlemismootoriga<br>KTJ süsteem | Auruturbiiniga<br>KTJ süsteem | Org.<br>Rankine` KTJ<br>süsteem |
|--------------------------------------|---------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Elektriline nimivõimsus              | kW      | 1 200                               | 94                            | 600                             |
| Elektriline miinimumvõimsus          | kW      | 600                                 | 47                            | 60                              |
| Soojuslik nimivõimsus                | kW      | 1 195                               | 1200                          | 2900                            |
| Soojuslik miinimumvõimsus            | kW      | 598                                 | 600                           | 290                             |
| Kütusekulu nimivõimsusel             | kW      | 2 747                               | 1630                          | 4375                            |
| Kütusekulu<br>miinimumvõimsusel      | kW      | 1 369                               | 811,8                         | 475                             |
| Summaarne kasutegur<br>nimivõimsusel | %       | 87,1                                | 79,4                          | 80                              |
| Käivitusae                           | minutit | 3                                   | 3                             | 3                               |
| Kasutatav kütus                      |         | maagaas ja LPG                      | Maagaas ja LPG                | Puiduhake                       |

Tabelist 4.3 avaldub, et kõige suurema elektrilise nimivõimsusega jaam on sispõlemismootoriga koostootmisjaam neist kõigeväiksema elektrilise nimivõimsusega aga auruturbiiniga koostootmisjaam. Üldjuhul jääb auruturbiinide elektriline kasutegur 15-27 % vahele, kuid antud juhul on see veelgi väiksem põhjusel, et koostootmisjaama auruturbiin on seadistatud selliselt, et soojatarbijad saaksid vajalike temperatuuri ja rõhu parameetritega sooja. Vastavalt Entekist saadud infole peab võrku antava soojuskandja temperatuur olema vahemiku 90-100 kraadi ning rõhul 0,3-0,5 MPa, mis aga auruturbiinide kontekstis on väga madalad parameetrid. Üldjuhul töötavad näiteks Siemensi auruturbiinid umbes 600 kraadi juures ja tunduvalt kõrgemal rõhul. [37]

Kui võrrelda aga miinimumvõimsuseid tehnoloogiate lõikes, siis Orgaanilise Rankine`ringprotsessi puhul on jaama miinimumkoormus 10 % tema nimivõimsusest. Teiste

tehnoloogiate puhul on see 50 % nimivõimsusest. Seega tähendab ühtlasi, et antud jaam on oma töös tunduvalt paindlikum ning ilmselt töötab ta ka kõige enam töötunde aastas. Seda isegi vaatamata asjaolule, et tema soojuslik nimivõimsus on kõige suurem, üle kahe korra suurem kui on seda gaasimootoriga ja auruturbiiniga CHP-de puhul.

Kõige suurema summaarse kasuteguriga koostootmisjaam on sispõlemismootoriga koostootmisjaam, olles tunduvalt efektiivsem võrreldes teiste tehnoloogiatega. Auruturbiini ja ORC tehnoloogial põhinevate koostootmisjaamade kasutegurid on samad.

Käivitusaeg on vastavalt tootjate poolt saadud infole 2-3 minutit, mis tähendab, et tegu on väga kiiresti reageerivate jaamadega. Näiteks auruturbiini puhul võib käibitusaeg olla veelgi kiirem, kui aurukatel hoitakse kuumas reservis. Sel juhul on tarvis turbiin vaid käivitada algselt generaatori abil mootorina ning kui turbiin on jõudnud nimipöörlemissagedusele, avatakse turbiini otsas olevad auruklapid ja katla poolt toodetav aur suunatakse turbiini labadele. Sel hetkel läheb turbiin üle mootori talitlusest generaatori talitluse.

Nagu tabelist 4.3 avaldub, siis kahe tehnoloogia puhul on kasutatud gaaskütust ning ORC tehnoloogia puhul puiduhaket.

Parameetreid vaadeldes võib eeldada, et simulatsioonide käigus toodab kõige enam elektrienergiat sispõlemismootoriga koostootmisjaam ning kõige vähem auruturbiiniga koostootmisjaam. Ilmselt hakkab see vaatamata investeeringukulule mõjutama oluliselt ka tehnoloogiate ja erinevate lahenduste majanduslikku tasuvust ning sellest lähtuvalt ka investeeringu mõttekust.

Lisaks koostootmisjaamadele lisatakse igasse simulatsiooni ka tavaline soojusenergiat tootev maagaasil, LPG gaasil või puiduhakkelt töötav katel, mis katab soojusenergia osa pooltipukoormustest ja tiputarbimise. Kasutatavate katelde parameetrid on välja toodud allolevas tabelis 4.4, millelt ilmneb, et simulatsioonides on kasutatud kahte eri tüüpi katelt.

**Tabel 4.4. Simulatsioonides kasutatavate katelde tehnilised parameetrid [38] [39]**

| Parameeter                   | Ühik    | Gaasikatel<br>Vitomax 100-LW | Puiduhakke katel<br>Kalvis K-500M1 |
|------------------------------|---------|------------------------------|------------------------------------|
| Soojuslik nimivõimsus        | kW      | 3 500                        | 950                                |
| Soojuslik miinimumvõimsus    | kW      | 1000                         | 285                                |
| Kütusekulu nimivõimsusel     | kW      | 3 900                        | 1175                               |
| Kütusekulu miinimumvõimsusel | kW      | 1200                         | 380                                |
| Kasutegur                    | %       | 89,7                         | 81                                 |
| Käivitusaeg                  | minutit | 2                            | 2                                  |
| Kasutatav kütus              |         | maagaas ja LPG               | Puiduhake                          |

Gaasikatlana on kasutatud Viessmanni Vitomax 100- LW katelt, mille nimivõimsuseks on 3,5 MW. Antud katelt on kasutatud sise põlemismootoriga CHP ja auruturbiiniga CHP simulatsioonides. Puiduhakke katelt nimivõimsusega 950 kW on aga kasutatud ORC tehnoloogial töötava koostootmisjaama puhul. Antud juhul on välja valitud Kalvis K-500M1 puiduhakkekatel, mille simulatsioonideks vajalikud parameetrid on tabelis välja toodud. Aurukatelt tabelis eraldi ei vaadelda, kuna see kuulub auruturbiini juurde ning on selle vajalik osa.

#### *Kasutatavad kütused*

Simulatsioonides kasutatakse kokku kolme eri kütust: maagaasi, LPG-d ja pelletikütust. Vastavate kütuste kütteväärtused, mis simulatsiooni sisestatakse selleks, et saada teada vajalik kütuse kogus soojus- ja elektrienergia tootmiseks, on esitatud allolevas tabelis 4.5.

**Tabel 4.5. Simulatsioonides kasutatavad kütused ja nende kütteväärtused [40] [41] [42]**

| Kütused   | Kütteväärtus             |
|-----------|--------------------------|
| Maagaas   | 10,55 kWh/m <sup>3</sup> |
| LPG       | 12,8 kWh/kg              |
| Puiduhake | 2,3 kWh/kg               |

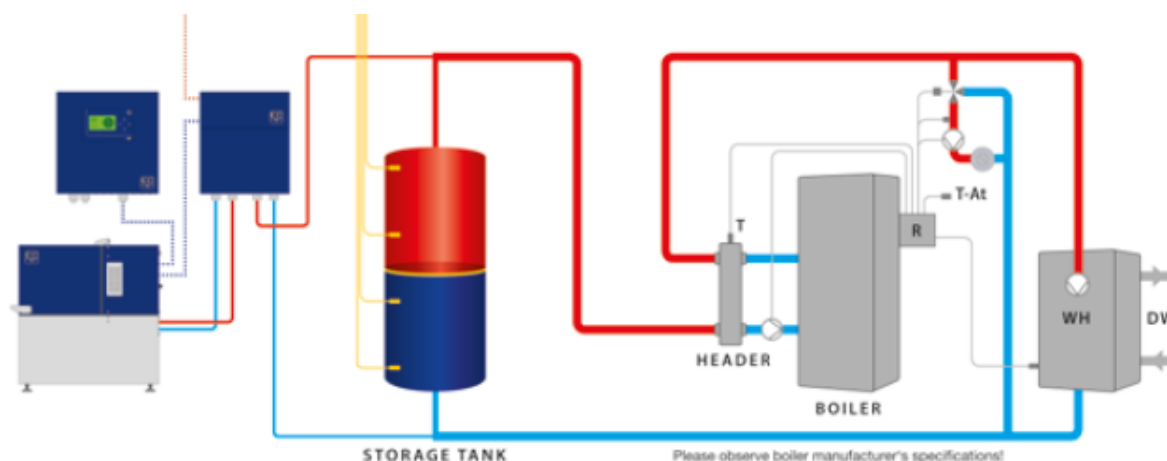
## 5. Erinevate koostootmistehnoloogiate käidu simulatsioonid

Järgnevalt simuleeritakse energyPRO abil eespool vaadeldud erinevate koostootmistehnoloogiate tööd vastavalt kirjeldatud sisendparameetrite põhjal. Kokku on simulatsioonid teostatud kolme erineva stsenaariumi korral:

- Simulatsioon 1- Sisepõlemismootoriga koostootmisjaam
- Simulatsioon 2- auruturbiitehnoloogial koostootmisjaam
- Simulatsioon 3- orgaanilisel Rankine`ringprotsessil põhinev koostootmisjaam

Seejuures võetakse iga simulatsiooni eelduseks asjaolu, et koostootmisjaamad katavad soojusenergia baaskoormuse ja osa pooltiputarbimisest ning tiputarbimine jäetakse vastavalt simulatsioonis kasutatavale kütusele kas gaasikatla või hakkepuidul töötava katla katta. Ehk eesmärk on koostootmisjaama süsteemiga ära katta kogu soojusenergia vajadus ning paralleelselt sellega toota võimalikult suur osa elektrienergiat, mida on võimalik kas Tööstuspargis olevatele klientidele või kolmandatele osapooltele edasi müüa.

Alloleval joonisel 5.1 on välja toodud skeem, kuidas tagatakse alati koostootmisjaama töö prioriteetsus gaasikatla ees.



**Joonis 5.1. Koostootmisjaama süsteemi põhimõtteskeem tagamaks CHP prioriteetsus gaasikatla ees.**

Koostootmisjaama töö prioriteetsus gaasikatla töö ees tagatakse hüdraulilise ühenduse abil, ehk koostootmisjaam ühendatakse skeemi enne gaasikatelt ning töö iseloomu poolest tõstab

koostootmisjaam küttesüsteemist tagasituleva vee temperatuuri (sinine joon joonisel 6.1) enne, kui küttevesi katlasse siseneb. Kui näiteks gaasikatla pealevool küttesüsteemi on seadistatud 90 kraadi peale, kuid CHP suudab oma tööga tõsta soojuskandja temperatuuri vaid 70 kraadi peale, rakendub gaasikatel tööle ning ta annab soojuskandjale lisa soojushulga selleks, et tagada 90-kraadine küttevee pealevoolu temperatuur. Kui CHP suudab juba ise vastava temperatuuri tagada (näiteks kevadel ja sügisel), siis katel ei rakendu ning küttevesi jookseb lihtsalt katlast läbi. Soojussalvesti on koostootmisjaama suhtes skeemi ühendatud paralleelselt.

Koostootmisseadmete tehnilised parameetrid seavad tihtipeale piirangud nende paindlikumaks tööks. Näiteks on nii sise põlemismootoritel kui ka auruturbiintehnoloogial põhinevatel koostootmisjaamadel miinimumkoormuseks 50% nimivõimsusest. See aga tähendab seda, et kui soojusenergia tarbimine on olemas, kuid ta on madalam, kui ühe koostootmisagregaadi miinimumkoormus, siis ei ole teda võimalik tööle panna. See tähendab, et koostootmisjaam seisab ning töötab hoopis katel, mis majanduslikust aspektist vaadatuna ei ole mõistlik, kuna jääb saamata kasu võimaliku elektrienergia müügi pealt. Taolise olukorra ärahoidmiseks on simulatsioonidesse lisatud ka soojussalvestid, mis võimaldavad edukalt koostootmisjaamade tööd paindlikumaks muuta ja ka väiksema soojusenergia vajadustega perioodidel tööd teha.

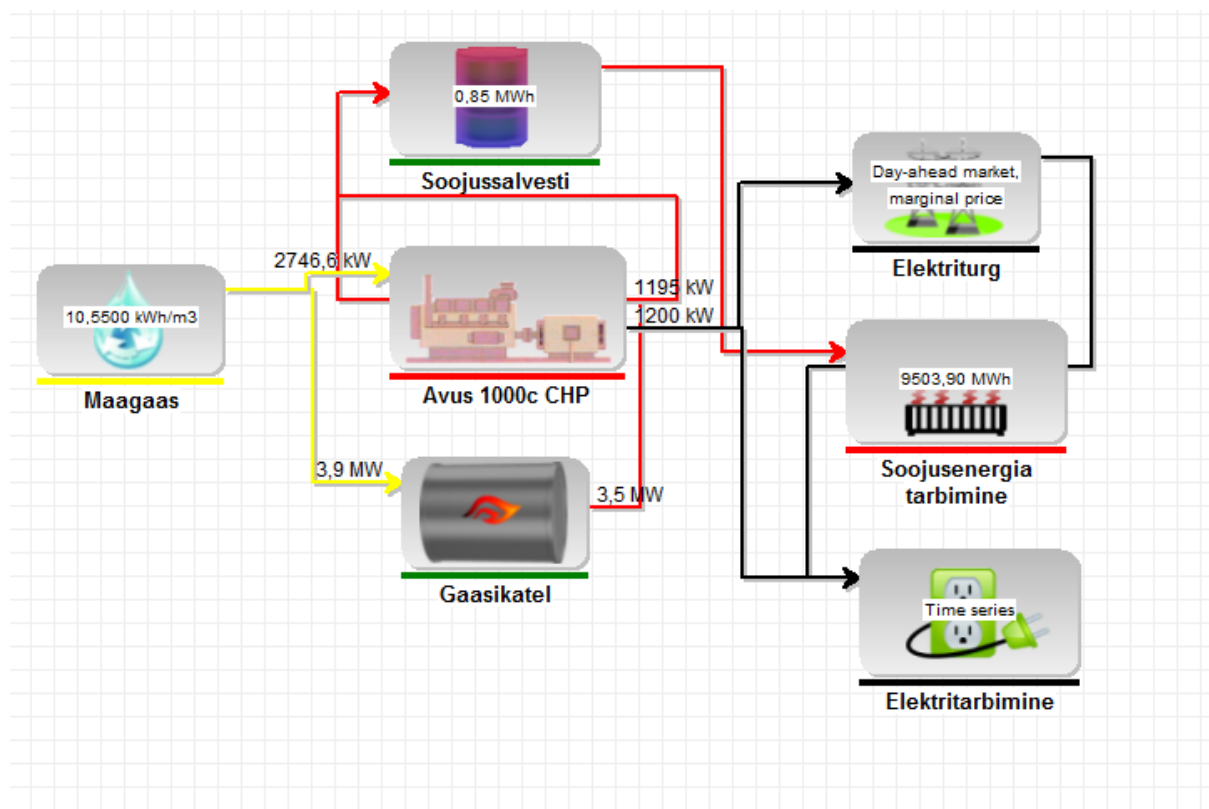
Igasuguste energiat tootvate jaamade jaoks on väga oluline seadmete käivitusae ning jaama reageerimise kiirus vastavalt tarbimise muutustele. Käesolevas töös on arvesse võetud ka iga tehnoloogia iseärasustest tulenevat käivitusae ning see sisestatakse samuti simulatsiooni. See võimaldab täpsemalt analüüsida, milline on mõju soojuskoormuse katmisele. Elektrienergia puhul ei ole see niivõrd oluline antud juhul, kuna tarbimise katmist on toetamas elektrivõrk, mis suudab kiirete tarbimise muutuste ja jaama käivitamisest tekkinud ajaliste viidete vahele tekkinud elektrienergia defitsiidi katta.

## **5.1 Simulatsioon 1- Sise põlemismootoriga koostootmisjaam**

Sise põlemisootoriga koostootmisjaama puhul kasutatakse simulatsioonis 2G toodetavat 1 195 kW soojusliku nimivõimsuse ja 1 200 kW elektrilise nimivõimsusega koostootmisagregaati Avus 1000c. Lisaks koostootmisagregaatidele on täiendavalt paigaldatud 3 500 kW nimivõimsusega Viessmanni gaasikatel ning lisaks ka 18 000 liitrise mahuga soojussalvesti, mis peaks olema piisav selleks, et katta ära vahemikud, mis tekivad tarbimise ja gaasikatla või koostootmisjaama miinimumkoormuse vahele ning seeläbi ära hoida eespool kirjeldatud olukorda, kus agregaatide liiga suure miinimumkoormuse tõttu ei saa nad töötada. Ehk soojussalvesti on alati täis laetud ning kui tekib olukord, kus tehniliselt ei saa gaasikatel või

koostootmisjaam tööle rakenduda, siis katab vajaduse soojussalvesti. Teine lahendus on see, et üks agregaatidest töötab, kuid ülejääk salvestatakse soojussalvestisse ning kui see on täis laetud, lülitab tootmisagregaat end välja. Soojussalvesti suurus on valitud põhimõttel, et läbi soojussalvesti töö tagatakse koostootmisjaama ja tipukatla töö paindlikkus vaatamata nende miinimumkoormustele ning võrku antav soojuse hulk on võrdne tarbitava soojuse hulga. Ehk eesmärk on, et kogu süsteem suudab soojusenergia tarbimise vajaduse katta aastaringselt. Sellist protsessi ja süsteemi juhitakse vastava automaatika abil, mis mõõdab temperatuurianduritega soojussalvesti laetust.

Kütusena kasutatakse antud simulatsioonis nii maagaasi kui ka LPG-d. Alloleval joonisel 5.2 on välja toodud koostootmisjaama süsteemi põhimõtteline skeem, kus kütuseks on märgitud maagaas. Analoogne skeem kehtib ka LPG ühenduse puhul, kuid sel juhul on tarvis korrigeerida vaid kütuse kütteväärtust, et simulatsioonidest õiged kütusekogused kätte saada.

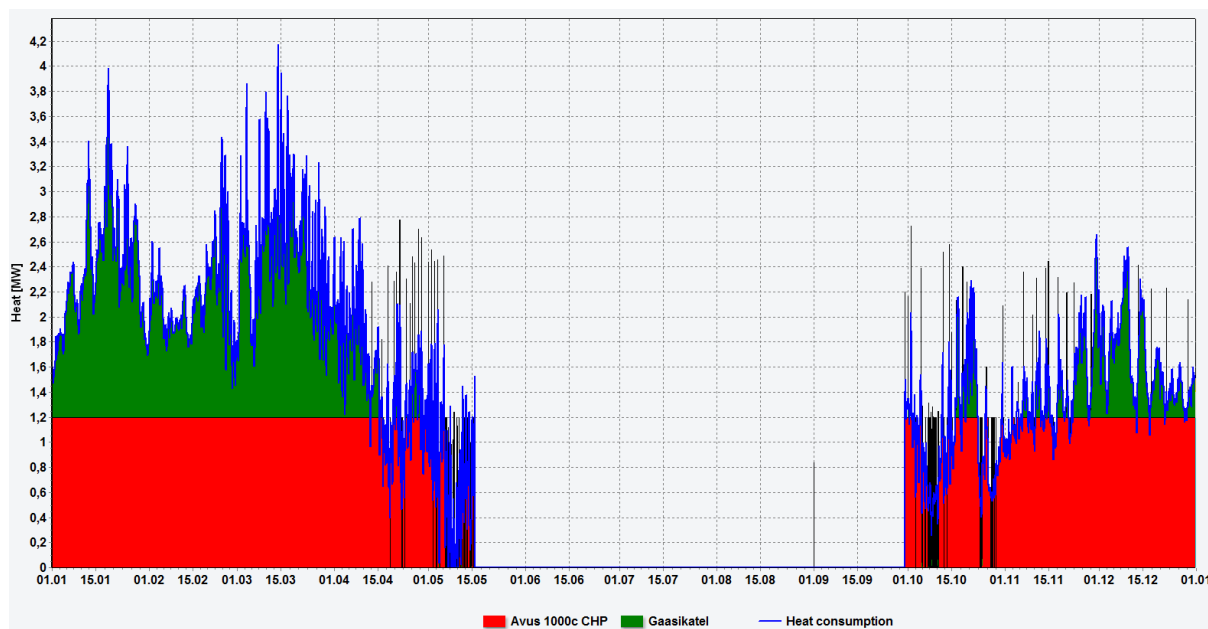


*Joonis 5.2. Simulatsioon 1- sisepõlemismootoriga koostootmisjaama skeem*

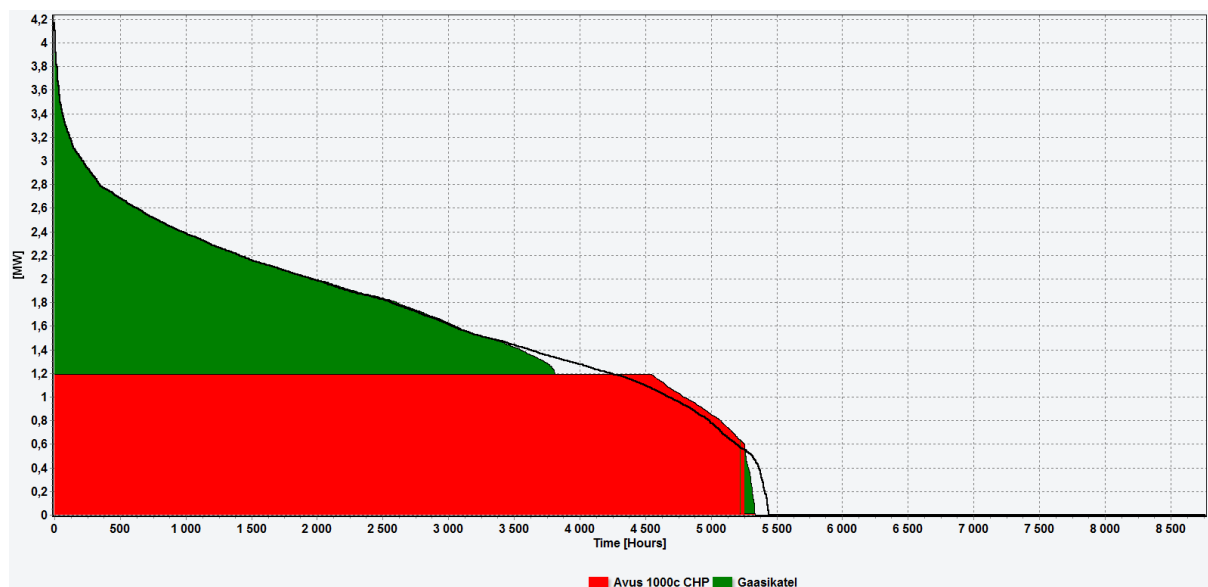
Antud simulatsiooni puhul on koostootmisjaama summaarseks soojuslikuks nimivõimsuseks 4,7 MW ning elektriliseks nimivõimsuseks 1,2 MW. Nagu eespool mainitud, siis soojusenergia tiputarbimine on tarbimist simuleerides 4,2 MW. Seega on antud süsteemi simuleerimisel arvestatud ka ca 12 %-lise varuga, kui peaks tekkima veelgi suurem soojusenergia vajadus.



Alloleval joonisel 5.3 on välja toodud soojustarbimise graafik ning vastavalt tarbimisele koostootmisjaama ja katla toodangud vastavalt tarbimiskõverale. Samuti on joonisel 5.4 välja toodud koormuskestvusgraafik selleks, et näha, kuidas jaamasid aasta lõikes koormatakse ning millist osa tarbimisest kumbki energiatootmisagregaat katab.



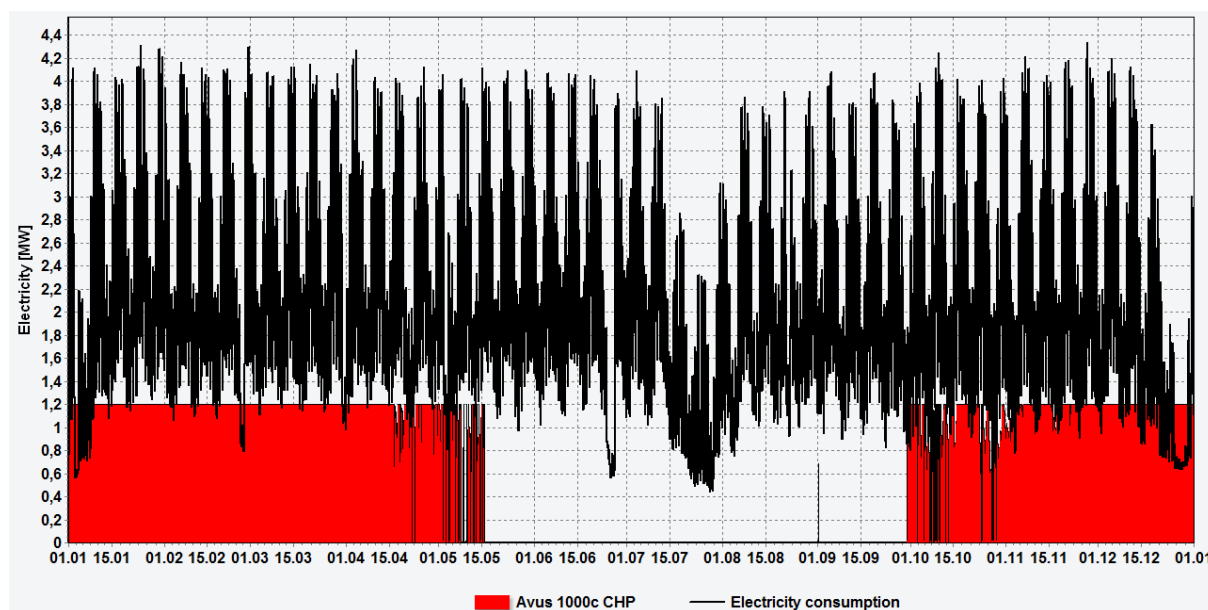
*Joonis 5.3. Koostootmisjaama ja katla soojusenergia toodangud (MW) esimese alternatiivi korral*



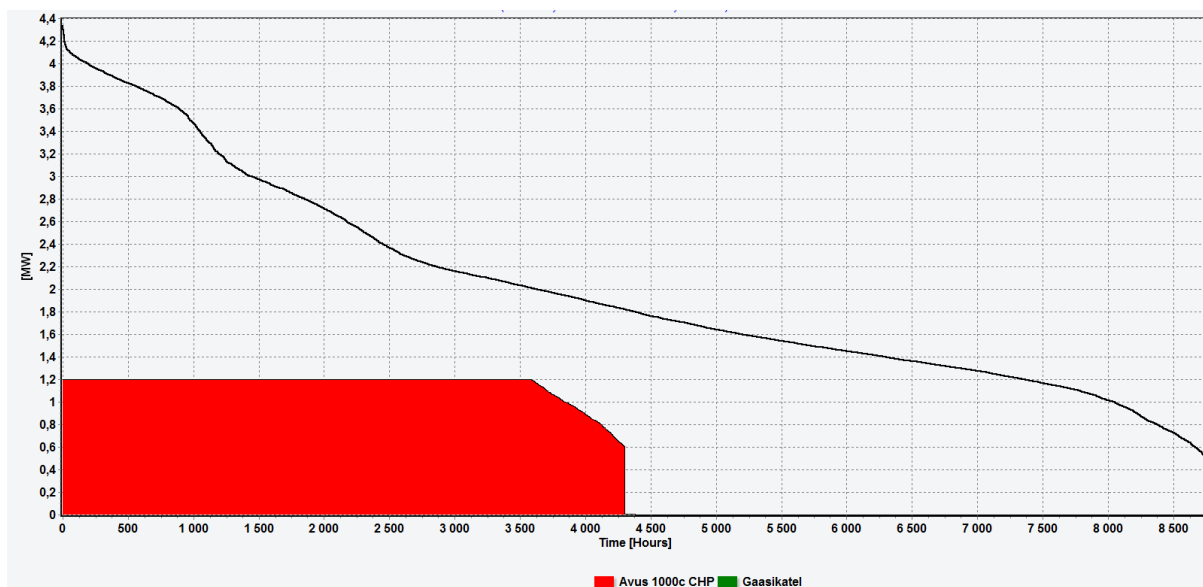
*Joonis 5.4. Soojusenergia koormuskestvuskõver ning jaamade toodangud illustreerimaks vajaliku soojuskoormuse katmist.*

Nagu jooniselt 5.3 ja 5.4 avaldub, suudavad jaamad kogu soojusenergia tarbimise ära katta. Sellest suurema osa (baas- ja osa pooltipukoormusest) katab ära koostootmisjaam täpselt nii nagu eespool eelduseks seati ning teise osa tiputarbimisest ning tipukoormuse katab 3,5 MW gaasikatel. Samuti võib öelda, et jaamade võimsused on väga hästi dimensioneeritud, kuna koostootmisjaam saab aastas töötada enam kui 5,000 töötundi, mis peaks eeldatavalt tagama ka tema hea majandusliku tasuvuse, mis omakorda selgub töö edasistes etappides. Tühimikud, mis on soojusenergia koormuskestvusgraafikul välja toodud, tasandab oma tööga soojussalvesti. Need on tühimikud, mis tekivad tootmisagregaatide tehnilistest piirangutest.

Alloleval joonisel 5.5 on analoogne graafik välja toodud ka elektrienergia tarbimise ja toodangu kohta, millelt on näha koostootmisjaama elektrienergia toodangu infot.



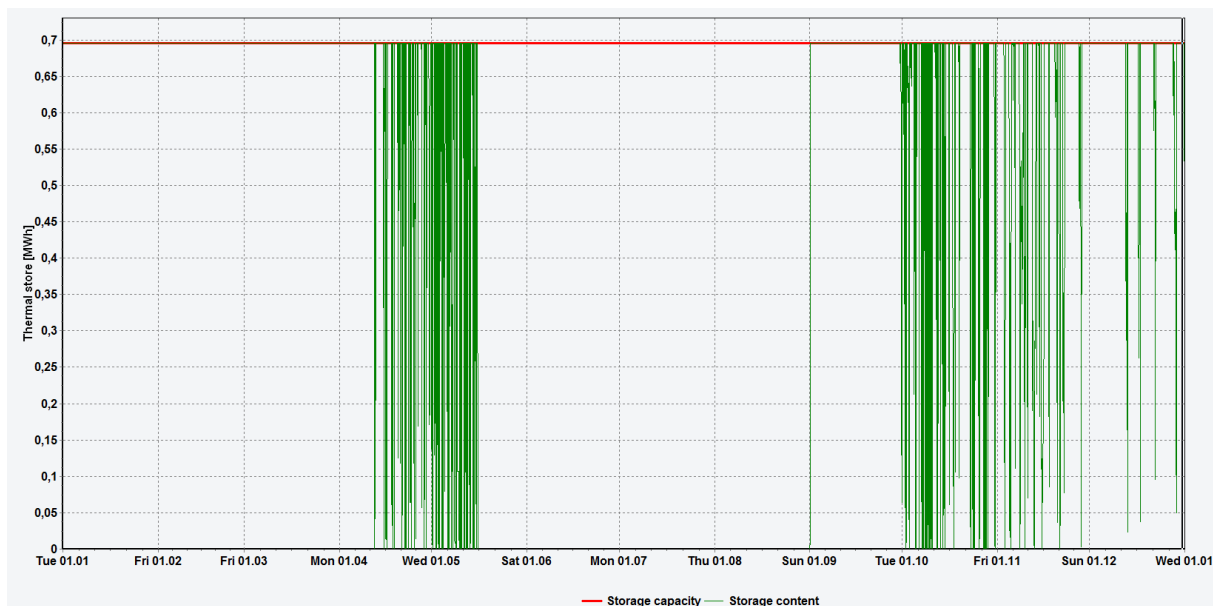
*Joonis 5.5. Koostootmisjaama elektrienergia toodang (MW) esimese alternatiivi korral*



**Joonis 5.6. Elektrienergia koormuskestvusköver ning koostootmisjaama elektrienergia toodang illustreerimaks vajaliku elektrienergia tarbimise katmist.**

Kuigi eespool selgus, et elektrienergia baaskoormus on 0,45 MW, koostootmisjaama elektriline nimivõimsus aga 1,2 MW ning miinimumkoormus 0,6 MW, ehk et isegi miinimumkoormus jääb baastarbimisele alla, siis jooniselt 6.4 ja 6.5 on näha, et sisuliselt suudaks Tööstuspark kogu katlamajas toodetud elektrienergia ise kohapeal ära tarbida, kuna koostootmisjaama elektrienergia toodang on märkimisväärselt väiksem võrreldes piirkonna tarbimisega. See tuleneb asjaolust, et baastarbimise väärtus saadakse just suvekuudel oleva madalama elektrienergia vajaduse tõttu. Küll aga on näha, et detsembri lõpus, kui tarbimine samuti alaneb, kuid külmade ilmade tõttu jaam sooja ning paralleelselt sellega ka elektrienergiat toodab, siis tekib vajadus elektrienergiat täiendavalt ka tööstuspargist välja müüa.

Antud simulatsiooni oli juurde lisatud ka soojussalvesti selleks, et tasandada koostootmisjaama tööd ning muuta ühtlasi seda ka paindlikumaks. Soojussalvesti eesmärk on salvestada koostootmisjaama töö ajal toodetud soojusenergia ülejääk ning edastada see soojavõrku tarbijatele, kui salvesti on täis saanud või kui tarbimine on nii madal, et koostootmisjaam ei suuda tehnilise piirangu tõttu töötada (jaama miinimumkoormus).



*Joonis 5.7. Soojussalvesti täis- ja tühjakslaadimiste protsess esimese korral.*

Jooniselt 5.7 avaldub, et soojussalvesti saab kõige enam koormatud aprilli keskpaigast kuni kütteperioodi lõpuni ning sügiselt kütteperioodi algusest kuni detsembri alguseni. See on tingitud asjaolust, et kevadel ja sügisel on soojusenergia vajadus väiksem ning mõnevõrra hüppelisem. Detsembrist märtsini on ilmad jahedad ning seeläbi ka soojusenergia tarbimine suurem. Seega tarbitakse kogu koostootmisjaama poolt toodetud soojusenergia koheselt ka ära ehk kogu toodetud soojus antakse otse trassi. Kevadel ja sügisel tekib enam ülejääki ning ilmastikuoludest tingituna peavad jaamad oma töös olema paindlikud. Kui võrrelda omavahel joonist 5.3 ja 5.7, siis on joonistelt näha paralleele. Näiteks on näha, et sel hetkel, kui soojussalvesti end täis laeb, on soojusenergia toodang suurem suurem tarbimisest. Seega kogu ülejääk salvestatakse soojussalvestisse, kust see hiljem ära tarbitakse.

Selleks, et simulatsioonitulemusi ühe aasta lõikes detailsemalt vaadelda, on simulatsioonitulemused esitatud allolevas tabelis 5.1.

*Tabel 5.1. Simulatsiooni 1 tulemused*

|                                  | Töötunnid [h] | Elektrienergia [MWh] | Soojusenergia [MWh] | Maagaas [m <sup>3</sup> ] | LPG [kg]  | Sisselülitamised [korda] |
|----------------------------------|---------------|----------------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------------|
| <b>Avus 1000c</b>                | 5 337         | 6 111                | 6 086               | 1 325 764                 | 1 092 720 | 80                       |
| <b>Gaasikatel</b>                | 3 954         |                      | 3 407               | 359 813                   | 296 564   | 122                      |
| <b>Kogutoodang/-kulu</b>         |               | 6 111                | 9 492               | 1 685 577                 | 1 389 284 |                          |
| <b>Müük Tööstuspargist välja</b> |               | 178                  |                     |                           |           |                          |
| <b>Tsükli kasutegur</b>          | 87,7%         |                      |                     |                           |           |                          |

Nagu tabelist 5.1 on näha, toodab koostootmisjaam antud simulatsiooni puhul summaarselt 6 111 MWh elektrienergiat aastas, millest enamus ka tööstuspark ära suudaks tarbida. Tööstuspargist välja tuleks müüa vaid 178 MWh elektrienergiat aastas, mis on protsentuaalselt kogutoodangust ca 3%. Seega väheneks müük elektrivõrgust 34,7% arvestades, et tööstuspargi aastane summaarne elektrienergia vajadus on 17,62 GWh.

Antud stsenaariumi korral katsid koostootmisjaamad kogu aasta soojusenergia vajadusest 64 %, ning gaasikatel kattis koguvajadusest 36 %, kusjuures peamiselt oli katla ülesanne katta külmadest ilmadest tingitud soojusenergia tarbimise tipukoormusi ning osa pooltiputarbimisest.

Maagaasi tarbiti antud stsenaariumi korral summaarselt 1 692 878 m<sup>3</sup> ning LPG gaasi puhul 1 389 284 kg, mis teeb 17,78 GWh, kusjuures koostootmisjaam tarbis sellest 78,3 % ning gaasikatel 21,7 %.

Võttes arvesse kogu tsükli tarbitud maagaasi koguse ning soojus- ja elektrienergia toodangut, kujuneb antud tsükli soojuslikuks kasuteguriks 53,3 % ja elektriliseks kasuteguriks 34,4 %, mis teeb kogu tsükli kasuteguriks 87,7 %.

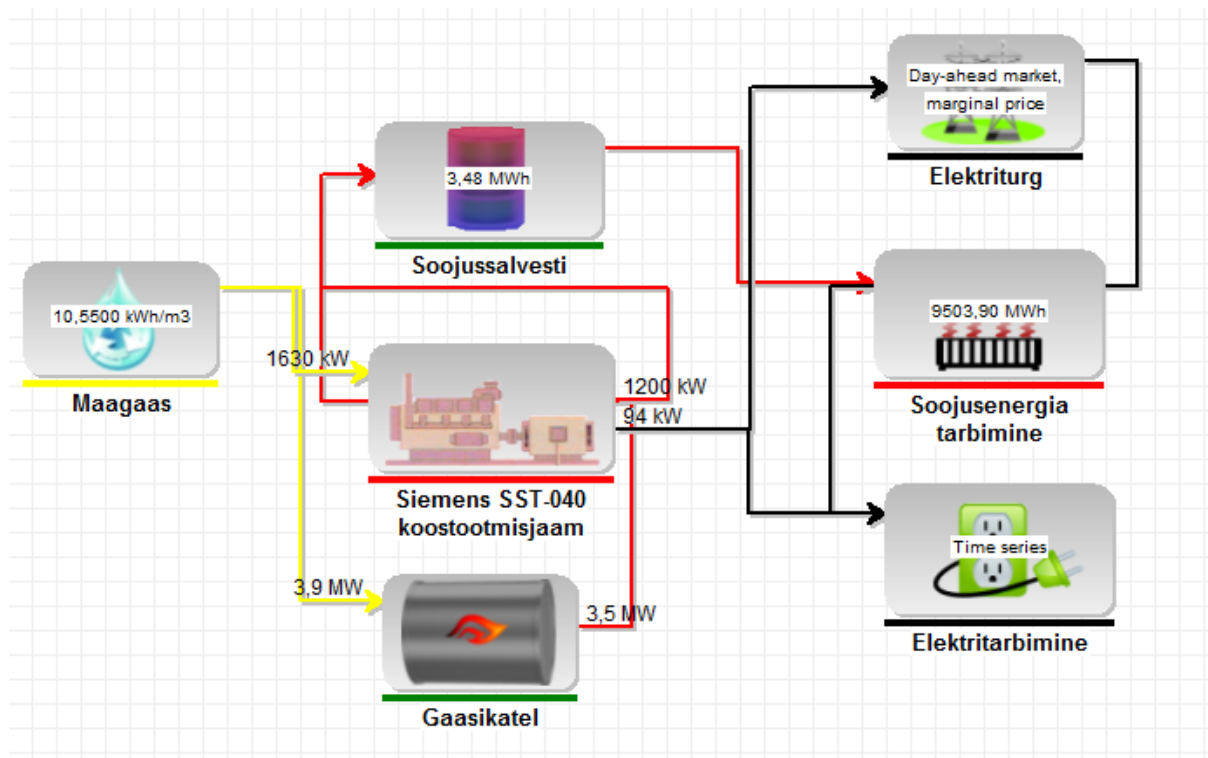
Koostootmisjaam töötas aastas summaarselt 5 337 tundi, mis on väga hea tulemus. Gaasikatel töötas nagu eeldatud lähtuvalt oma tööfunktsioonist, mõnevõrra vähem, summaarselt 3,886 tundi. Seejuures pidi koostootmisjaam end aastas sisse lülitama 80 korda, mida on üsna vähe. Soojussalvesti täis- ja tühjakslaadimiste graafikust lähtudes võib eeldada, et põhiliselt toimusid sisse- ja väljalülitamised kevadel ja suvel, mil koostootmisjaam pidi paindlikumalt töötama. Talvel sai jaam stabiilselt töötada ning suvel ta seisis.

Seega saab antud simulatsiooni kokkuvõtteks öelda, et koostootmisjaam on õigesti dimensioneeritud ning Keila Tööstuspargi soojusenergia tarbimine on rahuldatud.

## **5.2 Simulatsioon 2- auruturbiintehnoloogial koostootmisjaam**

Sisepõlemisootoriga koostootmisjaama puhul kasutatakse simulatsioonis Siemensi toodetavat 1 200 kW soojusliku nimivõimsuse ja 94 kW elektrilise nimivõimsusega koostootmisagregaati SST-040. Lisaks koostootmisagregaatidele on täiendavalt paigaldatud ka antud simulatsiooni 3 500 kW nimivõimsusega Viessmanni gaasikatel ning täiendavalt veel ka 15 000 liitrise mahuga soojussalvesti, et katta ära vahemikud, mis tekivad tarbimise ja gaasikatla või koostootmisjaama miinimumkoormuse vahele.

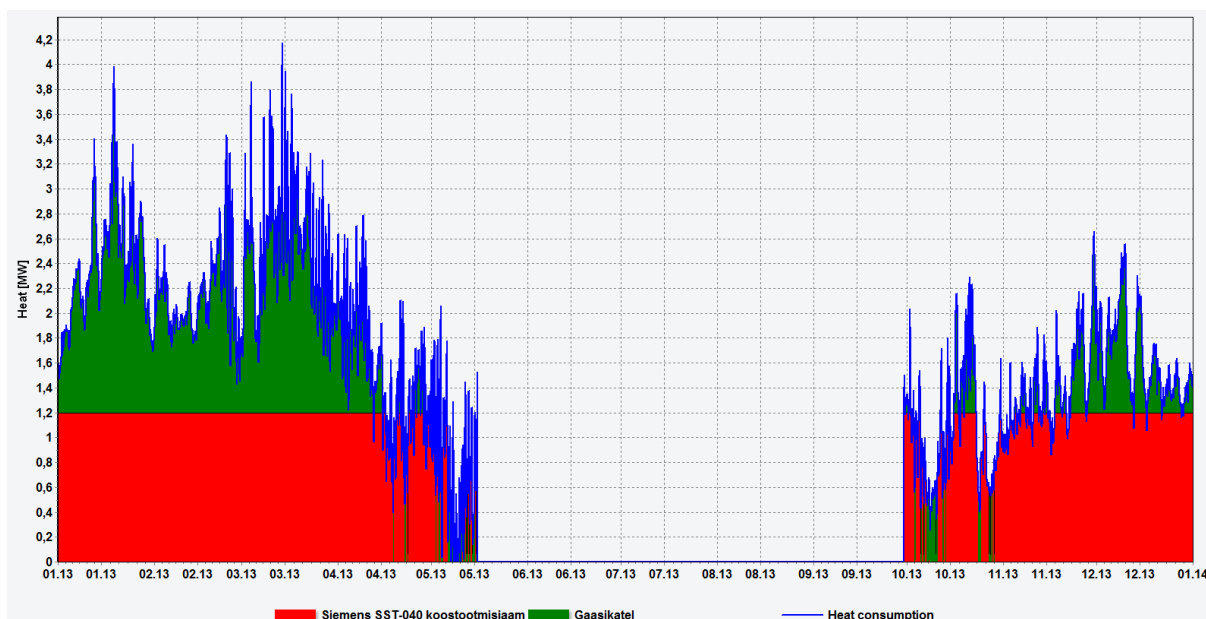
Kütusena kasutatakse antud simulatsioonis samuti nii maagaasi kui ka LPG-d. Alloleval joonisel 5.8 on välja toodud koostootmisjaama süsteemi põhimõtteline skeem, kus kütuseks on märgitud maagaas.



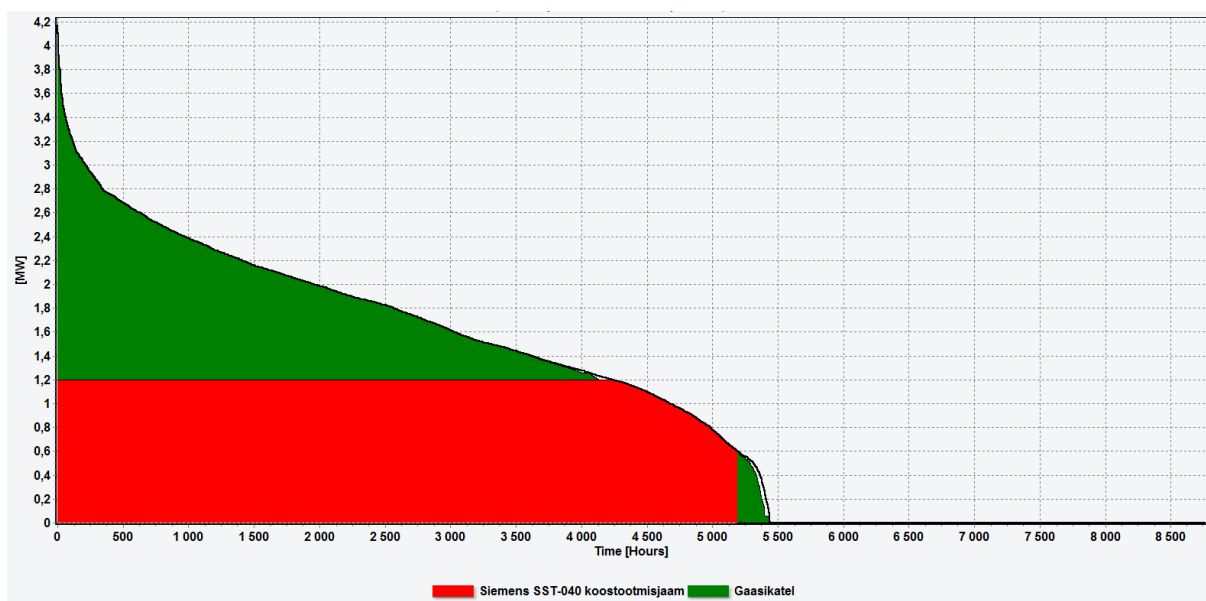
*Joonis 5.8. Simulatsioon 2- auruturbiiniga koostootmisjaama skeem*

Antud simulatsiooni puhul on koostootmisjaama summaarseks soojuslikuks nimivõimsuseks 4,7 MW ning elektriliseks nimivõimsuseks vaid 0,094 MW. Nagu mainitud, siis soojusenergia tiputarbimine on tarbimist simuleerides 4,2 MW. Seega on antud süsteemi simuleerimisel arvestatud ka ca 12 %-lise varuga, kui peaks tekkima veelgi suurem soojusenergia vajadus.

Alloleval joonisel 5.9 on välja toodud soojustarbimise graafik ning vastavalt tarbimisele koostootmisjaama ja katla toodangud vastavalt tarbimiskõverale. Samuti on joonisel 5.10 välja toodud koormuskestvusgraafik selleks, et näha, kuidas jaamasid aasta lõikes koormatakse ning millist osa tarbimisest kumbki energiatootmisagregaat katab.



*Joonis 5.9. Koostootmisjaama ja katla soojusenergia toodangud (MW) teise alternatiivi korral*



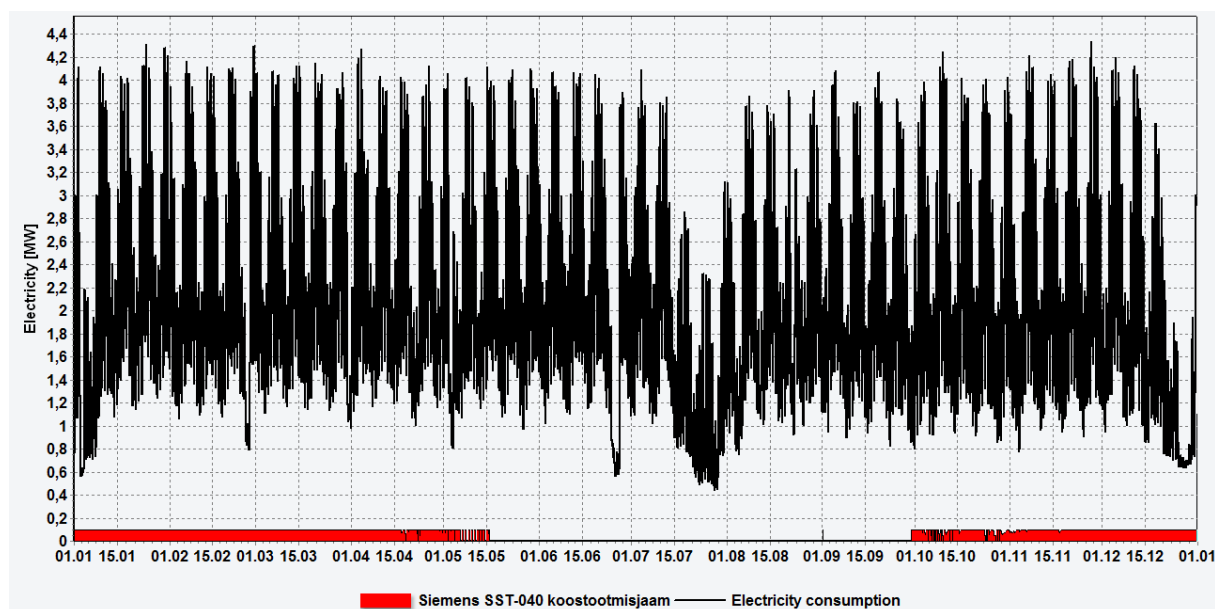
*Joonis 5.10. Soojusenergia koormuskestvuskõver ning jaamade toodangud illustreerimaks vajaliku soojuskoormuse katmist.*

Nagu jooniselt 5.9 ja 5.10 avaldub, suudavad jaamad ilusti kogu soojusenergia tarbimise ära katta. Sellest suurema osa (baas- ja osa pooltipukoormusest) katab ära koostootmisjaam täpselt nii nagu eespool eelduseks seati ning teise osa tiputarbimisest ning tipukoormuse katab 3,5 MW

gaasikatel. Samuti võib öelda, et ka antud juhul on jaamade võimsused väga hästi dimensioneeritud, kuna koostootmisjaam saab aastas töötada enam kui 5,000 töötundi.

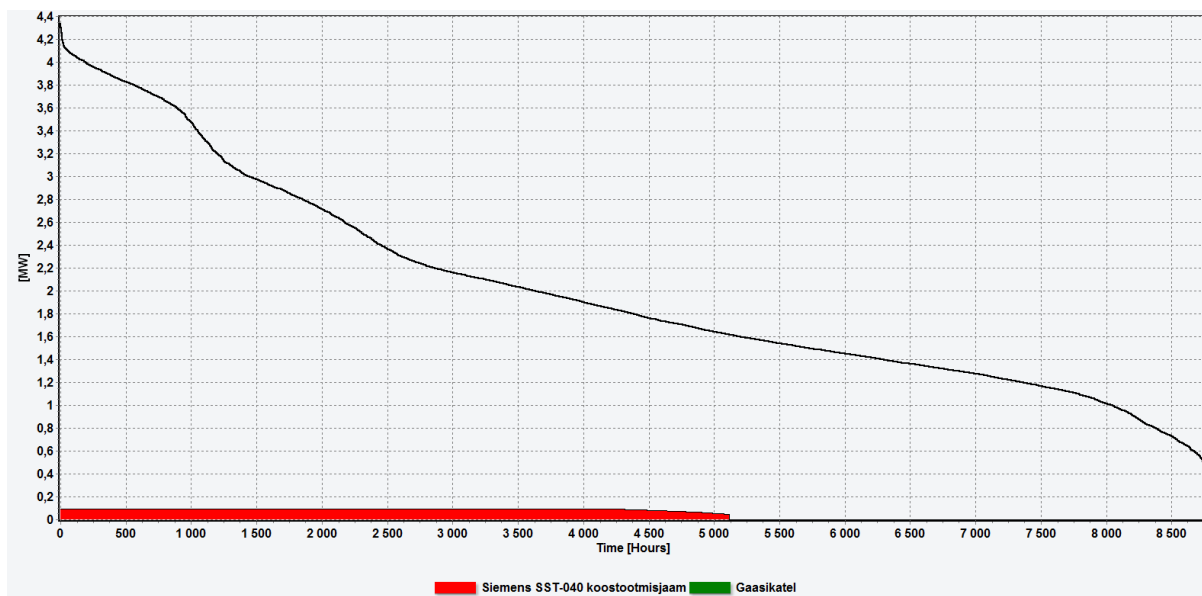
Tühimikud, mis on soojusenergia koormuskestvusgraafikul välja toodud, tasandab oma tööga soojussalvesti. Need on tühimikud, mis tekivad tootmisagregaatide tehnilistest piirangutest (seadmete miinimumkoormused). Antud stsenaariumi korral on skeemi lisatud samuti 15 000 liitrise mahuga soojussalvesti, mis tasandab ka antud tühimikud ära.

Allolevatel joonistel 5.11 ja 5.12 on analoogselt soojusenergia toodangute graafikutele välja toodud ka elektrienergia tarbimise ja toodangu kohta, millelt on näha koostootmisjaama elektrienergia toodangu infot.



*Joonis 5.11. Koostootmisjaama elektrienergia toodang (MW) teise alternatiivi korral*

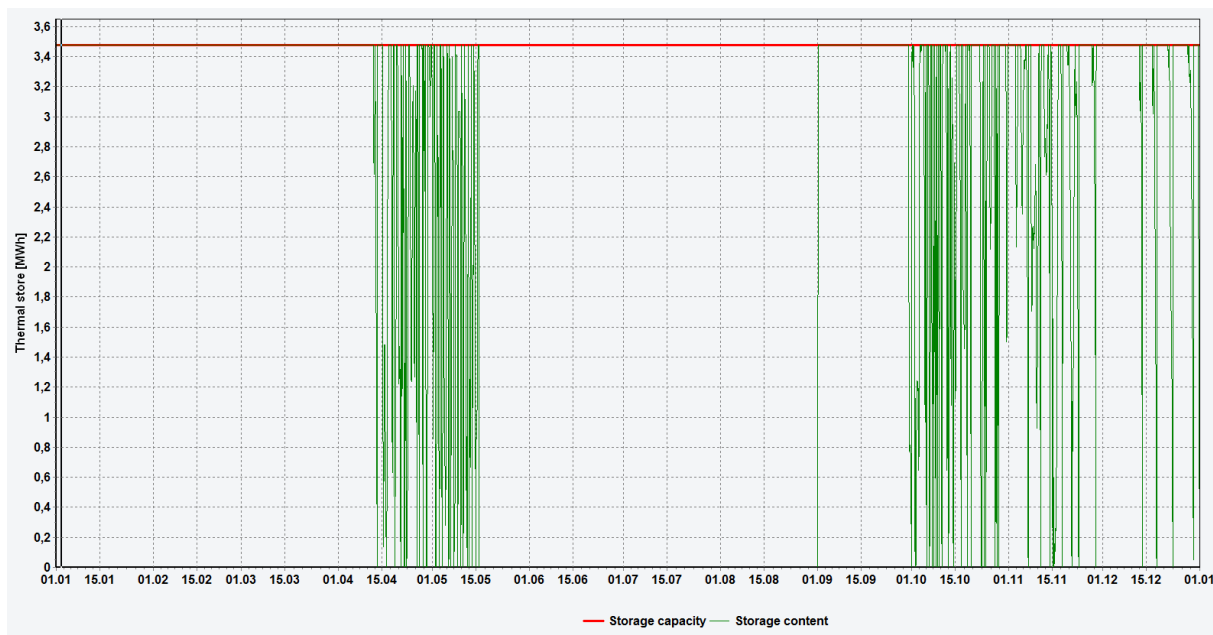




**Joonis 5.12. Elektrienergia koormuskestvuskõver ning koostootmisjaama elektrienergia toodang illustreerimaks vajaliku elektrienergia tarbimise katmist.**

Antud simulatsiooni korral on näha, et koostootmisjaam katab tööstuspargi elektrienergia vajadusest ära vaid marginaalse osa. Põhjus on selles, et valitud turbiini elektriline kasutegur on väga väike vaatamata koostootmisjaama peaaegu 80-protsendilisele summaarsele kasutegurile. Seega võib öelda, et suuremas osas töötab jaam siiski soojusenergiat ning elektrienergia toodang on väga väikse. Sellest lähtuvalt võib eeldada, et jaama majanduslik tasuvus ei ole nii hea. See aga selgub täpsemalt töö edasistes etappides.

Antud simulatsiooni oli juurde lisatud ka soojussalvesti selleks, et tasandada koostootmisjaama tööd ning muuta ühtlasi seda ka paindlikumaks. Soojussalvesti täis- ja tühjakslaadimiste tsüklid on kujutatud alloleval joonisel 5.13.



*Joonis 5.13. Soojussalvesti täis- ja tühjaksaadimiste protsess simulatsiooni 2 korral.*

Jooniselt 5.13 avaldub, et soojussalvesti saab ka antud stsenaariumi puhul kõige enam koormatud aprilli keskpaigast kuni kütteperioodi lõpuni ning sügiselt kütteperioodi algusest kuni detsembri alguseni kuigi kui võrrelda antud joonist esimese simulatsiooni vastava joonisega, on näha, et teise stsenaariumi korral rakendub soojusenergia salvesti tunduvalt tihedamini tööle. See on tingitud asjaolust, et kevadel ja sügisel on soojusenergia vajadus väiksem ning mõnevõrra hüppelisem. Detsembrist märtsini on ilmad jahedad ning seeläbi ka soojusenergia tarbimine suurem. Seega tarbitakse kogu koostootmisjaama poolt toodetud soojusenergia koheselt ka ära ehk kogu toodetud soojus antakse otse trassi. Kevadel ja sügisel tekib enam ülejääki ning ilmastikuoludest tingituna peavad jaamad oma töös olema paindlikud. Selleks, et simulatsioonitulemusi ühe aasta lõikes detailsemalt vaadelda, on simulatsioonitulemused esitatud allolevas tabelis 5.2.

*Tabel 5.2. Simulatsiooni 2 tulemused*

|                             | Töötunnid [h] | Elektrienergia [MWh] | Soojusenergia [MWh] | Puiduhake [kg] | Sisselülitamised [korda] |
|-----------------------------|---------------|----------------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| <b>Siemens SST-040</b>      | 5 263         | 484                  | 6 177               | 3 647 965      | 31                       |
| <b>Gaasikatel</b>           | 3 564         |                      | 3 327               | 1 611 572      | 48                       |
| <b>Kogutoodang/-kulu</b>    |               | 484                  | 9 504               | 5 259 537      |                          |
| <b>Müük</b>                 |               |                      |                     |                |                          |
| <b>Tööstuspargist välja</b> |               | 178                  |                     |                |                          |
| <b>Tsükli kasutegur</b>     |               |                      | 82,6%               |                |                          |

Nagu tabelist 5.2 avaldub, toodab koostootmisjaam antud simulatsiooni puhul summaarselt vaid 484 MWh elektrienergiat aastas, mille ka tööstuspark täielikult ära tarbib. Seega antud juhul väheneks müük elektrivõrgust 2,7 % arvestades, et tööstuspargi aastane summaarne elektrienergia vajadus on 17,62 GWh.

Antud stsenaariumi korral katsid koostootmisjaamad kogu aasta soojusenergia vajadusest 65 %, ning gaasikatel kattis koguvajadusest 35 %, kusjuures peamiselt oli katla ülesanne katta külmadest ilmadest tingitud soojusenergia tarbimise tipukoormusi ning osa pooltiputarbimisest. Võrreldes esimese stsenaariumiga kattis koostootmisjaam ühe protsendi võrra enam soojusenergia tarbimisest.

Puiduhaket tarbiti antud stsenaariumi korral summaarselt 5 260 tonni. Võttes arvesse kogu tsükli tarbitud puiduhakke kogust ning soojus- ja elektrienergia toodangut, kujuneb antud tsükli soojuslikuks kasuteguriks 78,6 % ja elektriliseks kasuteguriks 4 %, mis teeb kogu tsükli kasuteguriks 82,6 %.

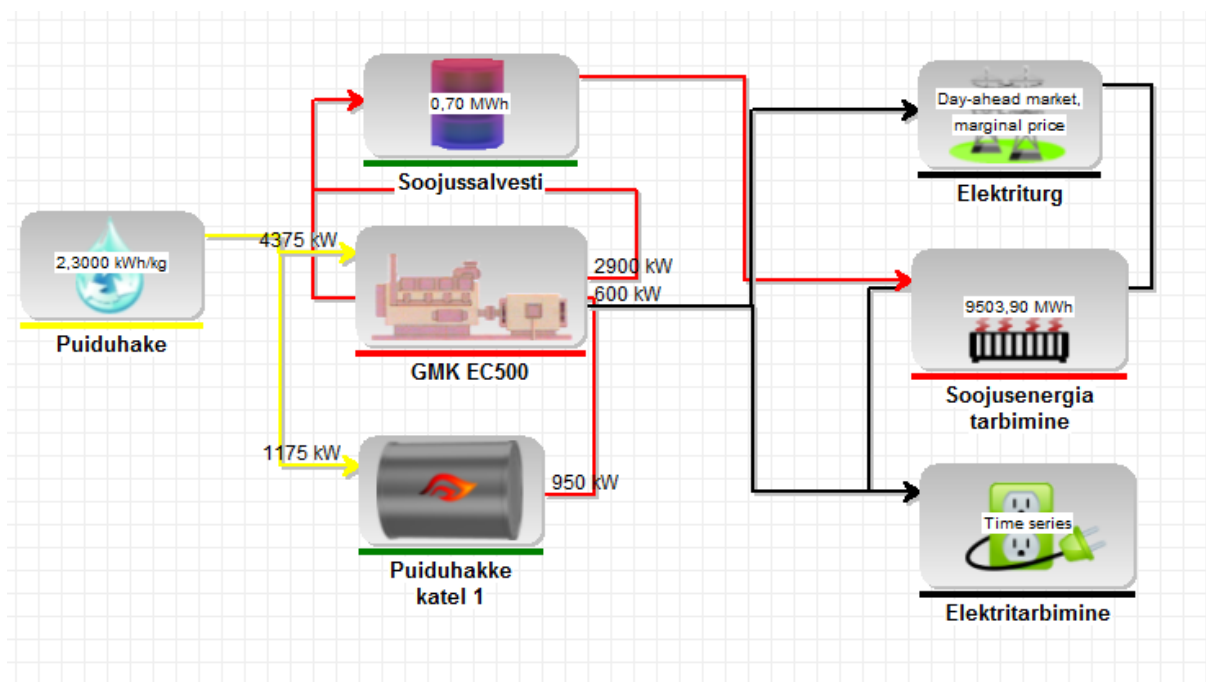
Koostootmisjaam töötas aastas summaarselt 5,263 tundi, mis on väga hea tulemus. Gaasikatel töötas nagu eeldatud lähtuvalt oma tööfunktsioonist, mõnevõrra vähem, summaarselt 3,564 tundi. Seejuures pidi koostootmisjaam end aastas sisse lülitama 48 korda, mida on veel vähem kui esimese stsenaariumi korral. Soojussalvesti täis- ja tühjakslaadimiste graafikust lähtudes võib eeldada, et põhiliselt toimusid sisse- ja väljalülitamised kevadel ja suvel, mil koostootmisjaam pidi paindlikumalt töötama. Talvel sai jaam stabiilselt töötada ning suvel ta seisis.

Seega saab antud simulatsiooni kokkuvõtteks öelda, et ka antud stsenaariumi korral on koostootmisjaam õigesti dimensioneeritud ning Keila Tööstuspargi soojusenergia tarbimine on rahuldatud.

### **5.3 Simulatsioon 3- orgaanilisel Rankine` ringprotsessil põhinev koostootmisjaam**

Orgaanilise Rankine ringprotsessiga koostootmisjaama puhul kasutatakse koostootmisjaamana GMK EC 500 koostootmisjaama, mille soojuslik nimivõimsus on 2 900 kW ja elektriline nimivõimsus 600 kW. Antud simulatsiooni soojuskoormus on kaetud koostootmisjaama, ühe tipukatla ning täiendava soojussalvesti süsteemiga, mis tagab selle, et soojusenergia tarbimine

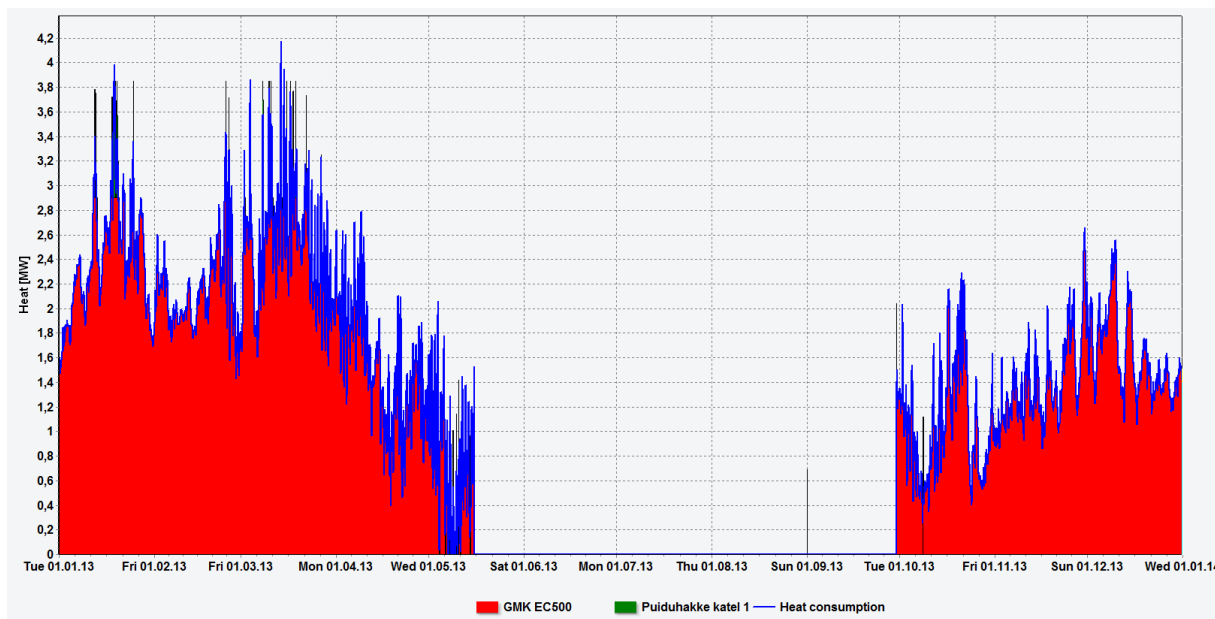
täielikult ka rahuldatakse. Seega on täiendavalt juurde lisatud üks 950 kW puiduhakkel töötav katel. Kuigi ORC tehnoloogia puhul on suureks eeliseks süsteemi töö paindlikkus (koormusdiapasoon varieerub 10-100 % vahel), siis on sellegipoolest täiendavalt soojussalvesti skeemi lisatud, et üksikuid soojusenergiaga vajaduse tühimikke tasandada. Kütusena kasutakse antud simulatsiooni korral puiduhaket. Alloleval joonisel 5.14 on välja toodud koostootmisjaama süsteemi põhimõtteline skeem.



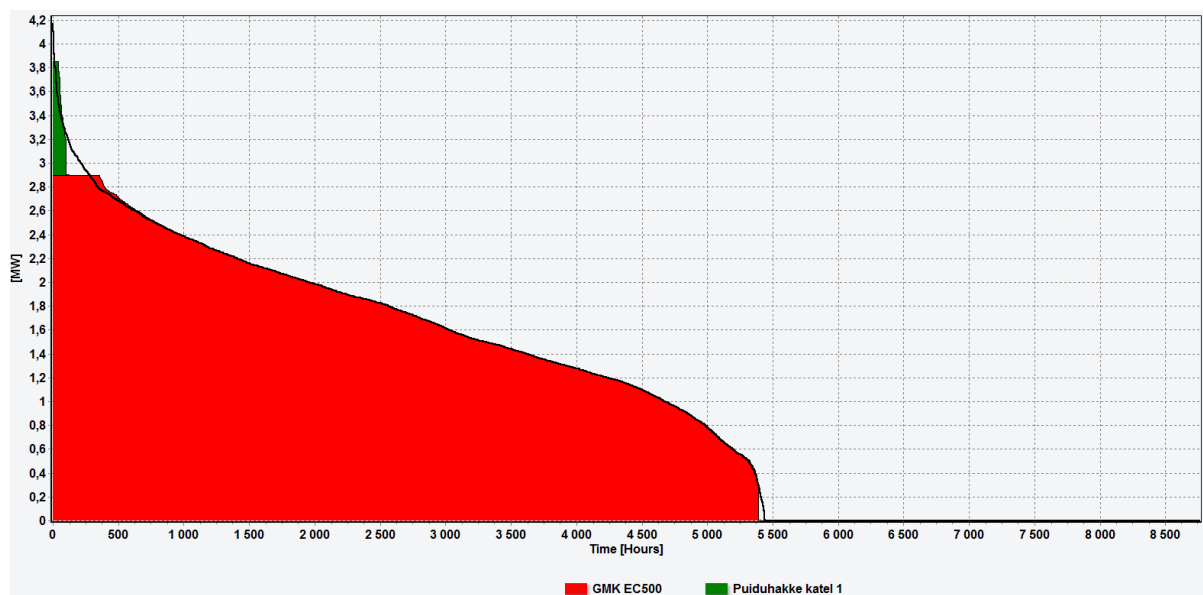
*Joonis 5.14. Simulatsioon 3- ORC tsükliga koostootmisjaama skeem*

Antud simulatsiooni puhul on koostootmisjaama summaarseks soojuslikuks nimivõimsuseks 3,85 MW ning elektriliseks nimivõimsuseks 0,6 MW. Nagu eespool mainitud, siis soojusenergia tiputarbimine on tarbimist simuleerides 4,2 MW, mis tähendab, et installeeritud võimsus on justkui tarbimist arvestades liiga vähe. Kuid üksikutel tundidel tekkivad tarbimise tipud aitab ära tasandada 15 000 liitrise mahuga soojussalvesti.

Alloleval joonisel 5.15 on välja toodud soojustarbimise graafik ning vastavalt tarbimisele koostootmisjaama ja katla toodangud vastavalt tarbimiskõverale. Samuti on joonisel 5.11 välja toodud koormuskestvusgraafik selleks, et näha, kuidas jaamasid aasta lõikes koormatakse ning millist osa tarbimisest kumbki energiatootmisagregaat katab.



*Joonis 5.15. Koostootmisjaama ja katla soojusenergia toodangud (MW) kolmanda alternatiivi korral*

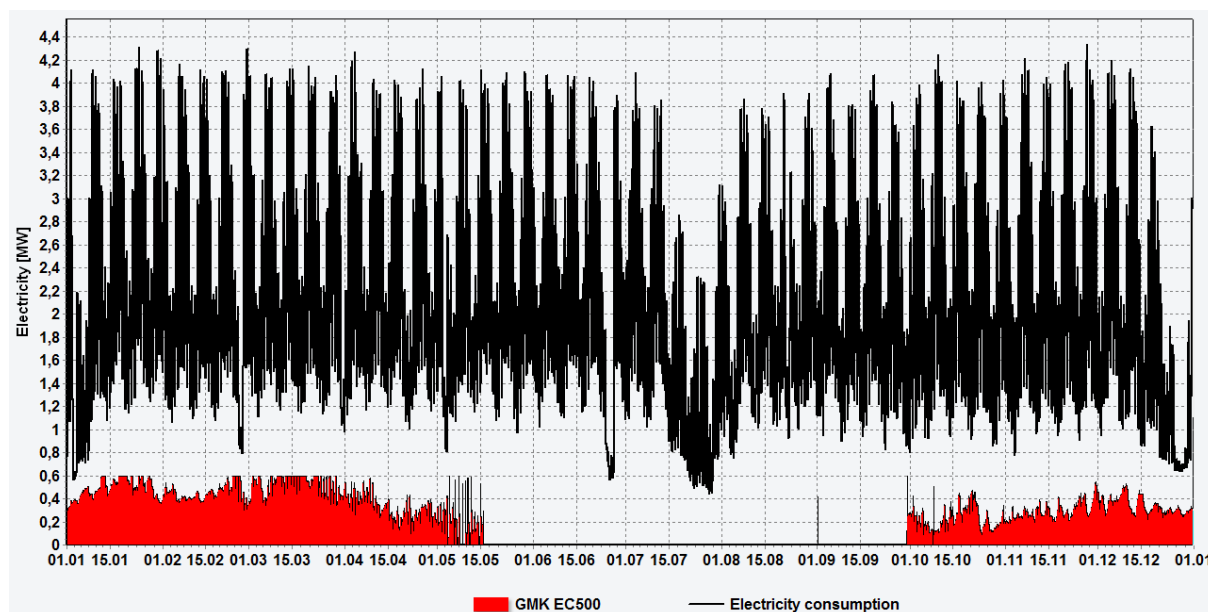


*Joonis 5.16. Soojusenergia koormuskestvuskõver ning jaamade toodangud illustreerimaks vajaliku soojuskoormuse katmist.*

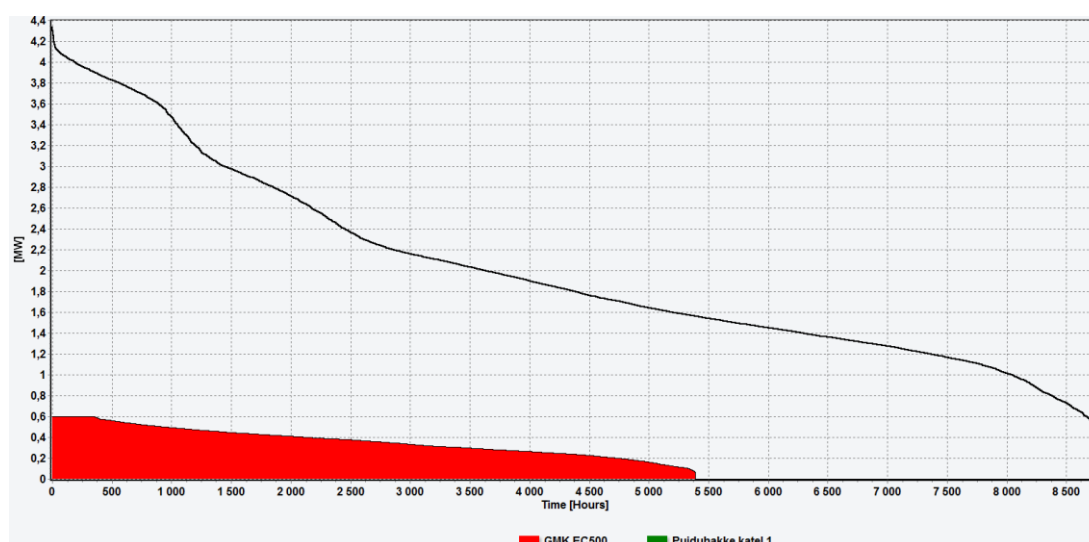
Nagu jooniselt 5.15 ja 5.16 avaldub, suudavad jaamad ilusti kogu soojusenergia tarbimise ära katta. Joonistelt tuleb välja ka ORC tehnoloogia suur eelis võrreldes teiste tehnoloogiatega. Nimelt suudab ta tänu oma suurele koormusdiapasoonile ära katta suurema osa koormusgraafikust. Sama tulemus avaldub ka koormuskestvusgraafikult, millelt on näha, et puiduhakkekatlad töötavad vaid marginaalse osa aastast.

Samuti võib öelda, et jaamade võimsused on väga hästi dimensioneeritud, kuna koostootmisjaam saab aastas töötada umbes 5 400 tundi. Töö edasistes etappides on analüüsitud, kas see tagab ka tema majandusliku efektiivsuse.

Alloleval joonisel 5.11 on analoogne graafik välja toodud ka elektrienergia tarbimise ja toodangu kohta, millelt on näha elektrienergia toodangu infot.



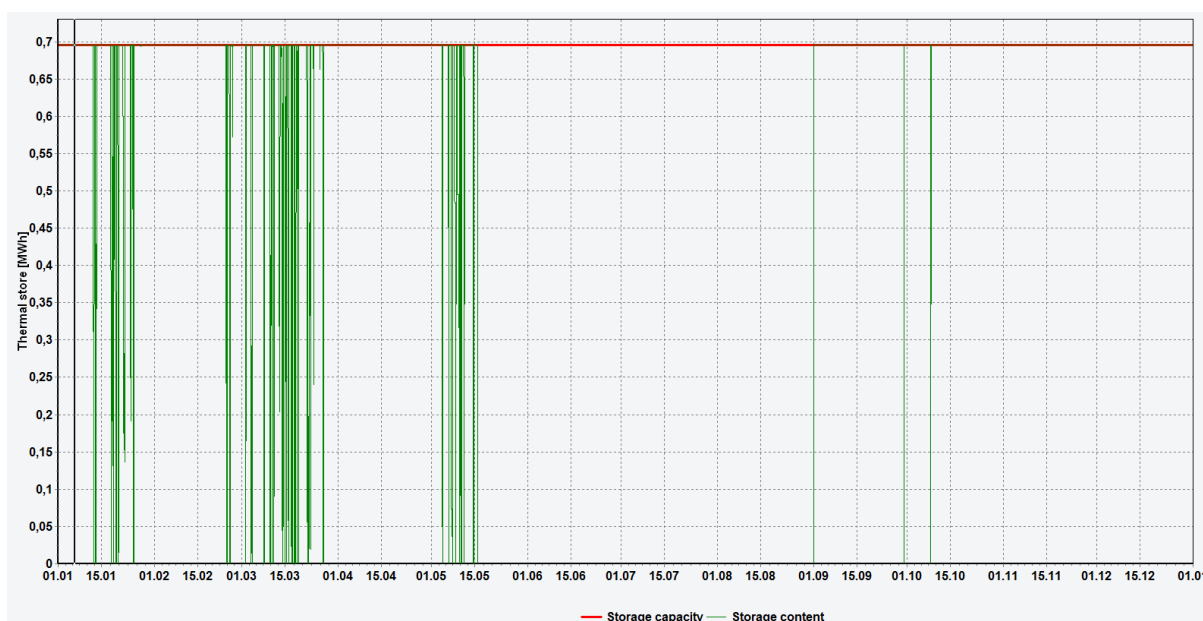
*Joonis 5.17. Koostootmisjaama elektrienergia toodang (MW) kolmanda alternatiivi korral*



*Joonis 5.18. Elektrienergia koormuskestvuskõver ning koostootmisjaama elektrienergia toodang illustreerimaks vajaliku elektrienergia tarbimise katmist.*

Kuigi ORC tehnoloogial koostootmisjaam on oma töös tunduvalt paindlikum, siis vaatamata sellele on jaama elektrienergia toodang märkimisväärselt väiksem võrreldes näiteks sisepöelmismootoriga CHP elektrienergia toodanguga. Nagu joonistelt 5.17 ja 5.18 avaldub, siis jääb jaama toodang tugevalt alla tööstuspargi miinimumkoormusele.

Antud simulatsiooni oli juurde lisatud ka soojussalvesti selleks, et tasandada koostootmisjaama tööd ning muuta ühtlasi seda ka paindlikumaks. Soojussalvesti täis- ja tühjakslaadimiste tsüklid on kujutatud alloleval joonisel 5.19.



***Joonis 5.19. Soojussalvesti täis- ja tühjakslaadimiste protsess kolmanda alternatiivi korral.***

Jooniselt 5.19 on näha, et antud stsenaariumi korral töötab soojussalvesti valdavalt vaid aasta esimeses pooles, kui on suur soojusenergia tarbimine ning kui tekivad üksikud tarbimise tipud, kus jaamad üksi ei suuda soojusenergia tarbimist ära katta. Samuti on soojussalvesti rakendatud tööle mai esimeses pooles, kui soojusenergia tarbimine on väike ning tootmisagregaatide tehniliste piirangute tõttu ei saa ainult jaamad töötada. Sel juhul salvestatakse ülejääk salvestisse ning kui see on täis saanud, tarbib tööstuspark sooja salvestist.

Selleks, et simulatsioonitulemusi detailsemalt ja ühe aasta lõikes vaadelda, on simulatsioonitulemused esitatud allolevas tabelis 5.3.

**Tabel 5.3. Simulatsiooni 3 tulemused**

|                                      | <b>Töötunnid<br/>[h]</b> | <b>Elektrienergia<br/>[MWh]</b> | <b>Soojusenergia<br/>[MWh]</b> | <b>Puiduhake<br/>[kg]</b> | <b>Sisselülitamised<br/>[korda]</b> |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>AvGMK EC500</b>                   | 5 403                    | 1 946                           | 9 404                          | 6 207 415                 | 13                                  |
| <b>Puiduhakke katel 1</b>            | 144                      |                                 | 69                             | 38 067                    | 21                                  |
| <b>Kogutoodang/-kulu</b>             |                          | 1 946                           | 9 473                          | 6 245 835                 |                                     |
| <b>Müük<br/>Tööstuspargist välja</b> |                          | 178                             |                                |                           |                                     |
| <b>Tsükli kasutegur</b>              | 79,5%                    |                                 |                                |                           |                                     |

Nagu tabelist 5.3 on näha, toodab koostootmisjaam antud simulatsiooni puhul summaarselt 1 946 MWh elektrienergiat aastas, mille tööstuspark ka täies ulatuses ära tarbiks.

Antud stsenaariumi korral kattis koostootmisjaam kogu aasta soojusenergia vajadusest 99 %, mis tähendab, et gaasikatlad katavad tõepoolest vaid koormuse tiputarbimist.

Puiduhakte tarbiti antud stsenaariumi korral summaarselt 6 246 tonni. Kui võtta arvesse puiduhakke kütteväärtust, mis on 2,3 MWh/t, kujuneb tsükli summaarseks kasuteguriks 79,5 %. Seejuures elektriline kasutegur on 13,5 % ning soojuslik kasutegur 66 %.

Koostootmisjaam töötas aastas summaarselt 5 403 tundi, mis on väga hea tulemus. Puiduhakke katlad töötasid seejuures summaarselt vaid 147 tundi, mis on väga marginaalne osa. Kuid kuna neid on tarvis selleks, et katta ära soojusenergia tiputarbimine, on katlad siiski skeemi lisatud. Teisalt jäävad antud katlad katma reservfunktsiooni.

Seega saab antud simulatsiooni kokkuvõtteks öelda, et koostootmisjaam on õigesti dimensioneeritud ning Keila Tööstuspargi soojusenergia tarbimine on rahuldatud. Täiendavalt võiks kaaluda muid tehnoloogilisi lahendusi puiduhakkekatelde asemele, kuna nende koormus on üsna marginaalne.



## **6. Koostootmisjaama kapitali- käidu- ja hoolduskulud**

Käesolevas peatükis on analüüsitud kõigi kolme vaadeldava koostootmisjaama või koostootmisjaamade kaskaadi kapitalikulud ning nende käidu ja hoolduskulud. Seejures on kulud vaadeldud kõigi kolme stsenaariumi korral, et anda hinnang, milline kolmest vaadeldavast tehnoloogiast on kõige tasuvam investeering. Samuti analüüsitakse tehnoloogiaid eluajal tehtavate jooksvate kulude poolest, mis kuluvad jaama käitamiseks ja hooldamiseks.

### **6.1 Sisepõlemismootoriga koostootmisjaama kulud.**

Allolevas tabelis 6.1 on välja toodud sisepõlemismootoriga koostootmisjaama kapitalikulud, kuhu on sisse arvestatud kõikide vajaminevate seadmete maksumused nagu koostootmisjaam koos vajalike lisaseadmete ja juhtautomaatikaga, gaasikatel koos põleti ja tsirkulatsioonipumpadega ning soojussalvesti. Koostootmisjaama ehituslike tööde hulka on arvestatud kõik tööd, mis kuluvad koostootmisjaama rajamiseks ja paigaldamiseks, samuti sisaldab see kõiki vajalikke torutöid ühendamiseks koostootmisjaam ja gaasikatel katlamaja soojussõlmega, kust edasi soojus tööstuspargi trassi läheb. Samuti sisaldavad ehituslikud tööd jaama korstna materjale ja ehitust, aga ka koostootmisjaama integreerimist Elektrilevi võrguga. Samuti on arvestatud projektijuhtimisega kaasnevate kulude ja lubade ja kooskõlastuste hankimiseks seotud kuludega. Tabeli allosas on kõik kululiigid summeeritud ning leitud koostootmisjaama summaarne kulu, mis ühtlasi ongi jaama investeeringu maksumuseks. Tabeli viimasest veerust leiab ka, kui suure osa iga kululiik moodustab koguinvesteeringutest protsentuaalselt.

**Tabel 6.1. Sisepõlemismootoriga CHP kapitalikulud [43] [44] [45]**

| <b>Nr</b> | <b>Kululiik</b>   | <b>Kogus</b> | <b>tüki hind<br/>[€]</b> | <b>Maksumus<br/>[€]</b> | <b>%<br/>kogumaksumusest</b> |
|-----------|---|--------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| <b>1</b>  | 2G Avus 1000c<br>koostootmisjaam koos<br>vajalike<br>lisaseadmetega | 1            | 1 228 000                | 1 228 000               | 67,5%                        |
| <b>2</b>  | 3,5 MW gaasikatel   | 1            | 70 000                   | 70 000                  | 9,7%                         |
| <b>3</b>  | Soojussalvesti 15 000<br>liitrise mahuga                            | 1            | 25 000                   | 25 000                  | 1,4%                         |
| <b>4</b>  | Lubade ja<br>koosõlastuste<br>hankimine                             | 1            | 7 000                    | 7 000                   | 0,4%                         |
| <b>5</b>  | Koostootmisjaama<br>ehituslikud tööd                                | 1            | 275 000                  | 275 000                 | 17,9%                        |
| <b>6</b>  | Projektijuhtimine   | 1            | 55 000                   | 55 000                  | 3,1%                         |
|           |   |              | <b>Summa</b>             | <b>1 760 000</b>        | <b>100,0%</b>                |

Koostootmisjaama hinnapakkumine on küsitud 2G ametliku edasimüüja käest Eestis, kes vastavaid seadmeid pakub, gaasikatla maksumus koos vajalike lisaseadmetega on saadud Napal Service OÜ, käest, kes tegeleb gaasikatelde paigaldusega Eestis. Ehituslikud kulud on küsitud samuti Napal Service OÜ ja Energiaproff OÜ käest. Ehituslike tööde maksumus on arvestatud varuga selleks, et arvestada sisse ka võimalikud ettenägematud tööd, mis võivad kaasneda koostootmisjaamade paigaldusega.

Nagu tabelist 6.1 järeldeb, kujuneb koostootmisjaama summaarseks maksumuseks 1 760 000€, millest suurema osa moodustab koostootmisjaama ja vajalike lisaseadmete maksumus 67,5 % -iga. Kulu poolest on järgmine suurem kulu koostootmisjaama paigaldustööd, mis moodustavad 17,9 % kogu projekti maksumusest. Gaasikatel 9,7 %-lise kuluga kogu projekti maksumusest on samuti üsna märkimisväärse kuluga. Projektijuhtimine, soojussalvesti ja lubad ning koosõlastuste hankimise kulud moodustavad summaarselt 5 % projekti kogukuludest.

Hoolduskuludeks on sisepõlemismootoriga koostootmisjaamade tootja märkinud 7,5 €/iga töötundi kohta aastas. See hõlmab endas seadmete korrapärast hooldust, parandust, remondi ja ülevaatlust. Antud juhul on tegemist indikatiivse hoolduskuluga. Seega, kui võtta aluseks, et koostootmisjaam töötab aastas 5 337 töötundi, kujuneb hoolduskuluks 40 028 €/aastas. Kuna tegu on indikatiivse pakkumisega ning sellesse ei ole sisse arvestatud gaasikatla hoolduskulu, siis lisatakse antud töös sellele summale 20 %. See peaks tagama, et kaetud on ka gaasikatla hoolduskulud ning muud võimalikud ettenägematud kulud. Seega kujuneb käidu- ja hooldusmaksumuseks 48 033 €/aastas. Lisaks sellele tuleb juurde lisada täiendavad LPG

mahuti rendi- ja hoolduskulu, mille maksumus on 1200 €/kuus. See teeb aastas 14,400 €, millest lähtuvalt on sise põlemismootoriga koostootmisjaama lahenduse, mis kasutab esimesel kolmel aastal LPG-d ning alates neljandast aastast maagaasi, aastasteks hoolduskuludeks esimese kolme aasta jooksul 62 433 €. Alates neljandast aastast on see 48 033 €.

## 6.2 Auruturbiiniga CHP kulud

Järgnevalt on allolevas tabelis 6.2 välja toodud auruturbiiniga koostootmisjaama kapitalikulud, kuhu on samuti sisse arvestatud kõikide vajaminevate seadmete maksumused sama loogika alusel nagu ka gaasimootoriga CHP puhul. Koostootmisjaama ehituslike tööde hulka on arvestatud kõik tööd, mis kuuluvad koostootmisjaama ehituseks ja paigaldamiseks, samuti sisaldab see kõiki vajalikke torutöid ühendamiseks koostootmisjaam ja puiduhakkekattel katlamaja soojussõlmega, kust edasi soojus tööstuspargi trassi läheb. Samuti sisaldavad ehituslikud tööd jaama korstna materjale ja ehitust, aga ka koostootmisjaama integreerimist Elektrilevi võrguga. Samuti on arvestatud projektijuhtimisega kaasnevate kulude ja lubade ja kooskõlastuste hankimiseks seotud kuludega, masinate seadistamise ja häälestusega ning vajalike kasutajakoolituste teostamist kliendile. Tabeli allosas on kõik kululiigid summeeritud ning leitud koostootmisjaama summaarne kulu, mis ühtlasi ongi jaama investeeringu maksumuseks. Tabeli viimasest veerust leiab ka, kui suure osa iga kululiik moodustab koguinvesteeringutest protsentuaalselt.

**Tabel 6.2. Auruturbiiniga koostootmisjaama kapitalikulud [44] [45] [46]**

| Nr           | Kululiik                              | Kogus | tüki hind [€] | Maksumus [€]     | % kogumaksumusest |
|--------------|---------------------------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
| 1            | Siemens SST-040 koostootmisjaam       | 1     | 450 000       | 450 000          | 42,6%             |
| 2            | 3,5 MW gaasikatel                     | 1     | 170 000       | 170 000          | 16,1%             |
| 3            | Soojussalvesti 15 000 liitrise mahuga | 1     | 25 000        | 25 000           | 2,4%              |
| 4            | Lubade ja kooskõlastuste hankimine    | 1     | 7 000         | 7 000            | 0,7%              |
| 5            | Koostootmisjaama ehituslikud tööd     | 1     | 350 000       | 350 000          | 33,1%             |
| 6            | Projektijuhtimine                     | 1     | 55 000        | 55 000           | 5,2%              |
| <b>Summa</b> |                                       |       |               | <b>1 057 000</b> | <b>100,0%</b>     |

Hinnapakkumine auruturbiiniga koostootmisjaamale on küsitud otse Siemensilt, kes pakkus koostootmisjaama turbiiniosa ning aurukatla auru tootlikkusega 1,800 kg/h rõhul 10 bar, selleks, et tagada turbiini vajalik väljundvõimsus. Gaasikatla maksumus koos vajalike lisaseadmetega on saadud Napal Service OÜ, käest, kes tegeleb gaasikatelde paigaldusega Eestis. Ehituslikud kulud on küsitud ka antud juhul Napal Service OÜ ja Energiaproff OÜ käest. Ehituslike tööde maksumus on ka antud juhul arvestatud varuga selleks, et arvestada sisse ka võimalikud ettenägematud tööd, mis võivad kaasneda koostootmisjaamade paigaldusega. Võrreldes gaasimootoriga koostootmisjaamaga on antud juhul jaama ehituslikud tööd kallimad, kuna jaam tuleb kohapeal ise kokku monteerida ning tagada, et see saab korrektselt monteeritud ning seadistatud.

Nagu tabelist 6.1 järeldeb, kujuneb koostootmisjaama summaarseks maksumuseks 1 057 000€, millest suurema osa moodustab koostootmisjaama ja vajalike lisaseadmete maksumus 42,6 % -iga. Kulu poolest on järgmine suurem kulu koostootmisjaama paigaldustööd, mis moodustavad umbes kolmandiku kogu projekti maksumusest. Gaasikatel 16,1 %-lise kuluga kogu projekti maksumusest on samuti üsna märkimisväärse kuluga, kuid kulu rahaliselt on sama suur kui esimese stsenaariumi korralgi. Soojussalvesti kulu on arvestatud eeldusega, et 1kWh soojusliku mahutavuse saavutamiseks tuleb investeerida keskmiselt 32 €. Seega 2,32 MWh soojusliku mahutavuse saavutamiseks on kulu ligikaudu 75 000 €. Projektijuhtimine, ja lubade ning koosõlastuste hankimise kulud moodustavad summaarselt 5,9 % projekti kogukuludest. [47]

Auruturbiiniga koostootmisjaama eeliseks on see, et antud tehnoloogia on üsna hooldusvaba. Aeg-ajalt tuleb hooldada vaid katelt ning visuaalne kontroll vähemalt kord aastas tuleb teostada ka turbiinile. Laias laastus on tootja seadmete aastaseks hoolduskuludeks öelnud 10,000 €. Kuna töö edasistes etappides selgub, et majanduslikult ei ole otstarbekas panna auruturbiiniga koostootmisjaama LPG gaasil tööle, siis ei lisandu antud hoolduskulule täiendavalt juurde ka LPG mahuti aastaseid rendi- ja hoolduskulusid.

### **6.3 Orgaanilise Rankine`CHP kulud**

Järgnevalt on allolevas tabelis 6.3 välja toodud ORC tehnoloogial töötava koostootmisjaama kapitalikulud, kuhu on sisse arvestatud kõikide vajaminevate seadmete maksumused nagu koostootmisjaam koos vajalike lisaseadmete ja juhtautomaatikaga ning täiendavalt kaks puiduhakke katelt koos põleti ja tsirkulatsioonipumpadega. Kõik muud kulud on arvestatud sama loogika alusel nagu ka eelmistes simulatsioonides.

**Tabel 6.3. Orgaanilise Rankine`tsükliga CHP kapitalikulud [44] [45] [48]**

| <b>Nr</b>    | <b>Kululiik</b>   | <b>Kogus</b> | <b>tüki hind<br/>[€]</b> | <b>Maksumus<br/>[€]</b> | <b>%<br/>kogumaksumusest</b> |
|--------------|---|--------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| <b>1</b>     | GMK EC500<br>koostootmisagregaat<br>koos vajalike<br>lisaseadmetega | 1            | 4 375 000                | 4 375 000               | 84,2%                        |
| <b>2</b>     | Puiduhakkekattel 950<br>kW koos vajalike<br>lisaseadmetega          | 1            | 85 000                   | 85 000                  | 1,6%                         |
| <b>3</b>     | Soojussalvesti 15 000<br>liitrise mahuga                            | 1            | 25 000                   | 25 000                  | 0,5%                         |
| <b>4</b>     | Lubade ja<br>kooskõlastuste<br>hankimine                            | 1            | 7 000                    | 7 000                   | 0,1%                         |
| <b>5</b>     | Koostootmisjaama<br>ehituslikud tööd                                | 1            | 650 000                  | 650 000                 | 12,5%                        |
| <b>6</b>     | Projektijuhtimine   | 1            | 55 000                   | 55 000                  | 1,1%                         |
| <b>Summa</b> |   |              |                          | <b>5 197 000</b>        | <b>100,0%</b>                |

Hinnapakkumine Orgaanilisel Rankine`ringprotsessil töötavale koostootmisjaamale on küsitud otse tootjalt, kes pakkus koostootmisjaama terviklahenduse, mis sisaldab puitkütuse põletisüsteemi, kütteõli katelt, kütteõli torustikku ja vajalikke pumpasid turbiini koos vajalike osadega, generaatorit elektrienergia tootmiseks, korstnasüsteemi ning heitgaaside puhastussüsteemi. Lisaks on kaasas vajalik jõukilp koos juhtautomaatikaga jaama töö seadistamiseks ja juhtimiseks. Ehituslikud kulud on ka antud tehnoloogia puhul küsitud Nepal Service ja Energiaprofi käest. Ehituslike tööde maksumus on samuti võetud varuga selleks, et arvestada sisse ka võimalikud ettenägematud tööd, mis võivad kaasneda koostootmisjaamade paigaldusega. Võrreldes kahe eelmise koostootmisjaama stsenaariumiga on antud juhul jaama ehituslikud tööd kõige kallimad, kuna ehitustööde mahud on antud juhul kõige suuremad.

Nagu tabelist 6.1 järeldub, kujuneb koostootmisjaama summaarseks maksumuseks 5 197 000 €, mis tähendab, et antud tehnoloogiaga koostootmisjaam on kordades kallim võrreldes kahe eelmise olukorraga. Antud kulust suurema osa moodustab koostootmisjaama ja vajalike seadmete maksumus 84,2%-iga. Kulu poolest on järgmine suurem kulu koostootmisjaama paigaldustööd, mis moodustavad 12,5% kogu projekti maksumusest. Puiduhakkekattel 1,6%-lise kuluga kogu projekti maksumusest on üsna marginaalne kulu. Soojussalvesti maksumus on võetud samade põhimõtete alusel nagu ka eelmistes simulatsioonides ning moodustab protsentuaalselt 0,5 % kogu projekti maksumusest. Samuti

on projektijuhtimine ning lubade ja kooskõlastuste hankimine väga marginaalne kulu, vaid 1,2 %.

Orgaanisel Rankine'i ringprotsessil töötava koostootmisjaama eeliseks on samuti see, et antud tehnoloogial on väga madalad hoolduskulud. Laias laastus on ka antud juhul tootja seadmete aastaseks hoolduskuluks öelnud umbes 10,000 €.

## 6.4 Kulude analüüs

Selleks, et kõikide jaamade kulusid paremini hinnata, on allolevasse tabelisse 6.4 kõikide koostootmisjaamade lahenduste kapitalikulud ning käidu- ja hoolduskulud kokku koondatud.

*Tabel 6.4. Koostootmisjaamade aastaste kulude tabel*

| Jaama tüüp                          | Elektriline<br>nimivõimsus [kW] | Soojuslik<br>nimivõimsus [kW] | Kapitalikulu<br>[€] | Käidu- ja<br>hoolduskulu<br>[€] |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Sisepõlemismootoriga<br>CHP süsteem | 1 200                           | 4 695                         | 1 760 000           | 62 433;<br>48 033               |
| Auruturbiiniga CHP<br>süsteem       | 94                              | 4700                          | 1 057 000           | 10 000                          |
| Org. Rankine`CHP<br>süsteem         | 600                             | 3 750                         | 5 197 000           | 10 000                          |

Tabelist 6.4 ilmneb, et kõige kallim on ilmselgelt ORC tehnoloogial koostootmisjaam, mis on gaasimootoriga koostootmisjaamast umbes kolm korda kallim ning auruturbiiniga koostootmisjaamast umbes 5 korda kulukam. Samuti on antud tehnoloogia puhul hoolduskulud koos auruturbiiniga koostootmisjaamaga kõige madalamad olles näiteks sisepõlemismootoriga koostootmisjaama hoolduskuludest 5-6 korda madalamad.

Vaatamata sellele on elektrilise väljundvõimsuse ühiku kohta kõige odavam jaam sisepõlemismootoriga koostootmisjaam. Antud tehnoloogia puhul on ühe installeeritud kilovati maksumuseks 1 467 €, kui samal ajal on auruturbiiniga koostootmisjaama elektrilise kilovati maksumus 11 245 € ning ORC tehnoloogial koostootmisjaama kilovati maksumus 8 662 €. Seega võib öelda, et antud juhul on investeringukulu osas gaaskütusel töötava sisepõlemismootoriga koostootmisjaama investeringukulu kordades kõige madalam.

## 7. Rahavoogude prognoos ja tasuvusanalüüs

Koostootmisjaamade rahavoogude prognoosi ja tasuvusanalüüsi teostamiseks tuleb esmalt hinnata, millised on koostootmisjaama poolt toodetavad rahavood (tulud ja kulud) tema eluea jooksul ning nende põhjal leida tasuvuse hindamiseks vajalikud parameetrid- lihttasuvusaeg, rentaablus, puhasnüüdisväärtus ja tasuvusnäitaja. Nende mõõdikute alusel on võimalik hinnata iga koostootmistehnoloogia majanduslikku tasuvust ning seeläbi teha valik, milline koostootmistehnoloogia on Keila Tööstuspargi kontekstis majanduslikult kõige otstarbekam lahendus. Käesolevas töös on kõigi kolme stsenaariumi puhul arvestatud eeldusega, et koostootmisjaama eluiga on 15 aastat. See võimaldab anda kõige parema hinnangu koostootmisjaama majanduslikust tasuvusest antud fikseeritud perioodi jooksul.

### 7.1 Laenusumma suurus

Lisaks majanduslikule tasuvusele leitakse ka laenusumma suurus, mille ulatuses tuleks panga abi kasutada, kui alustada koostootmisjaama investeerimisega. Põhjus on selles, et nii suurt investeeringut ei ole mõistlik katta ettevõtte enda käibevahenditega, kuna suur summa ettevõtte sularahast pannakse seeläbi kinni ning ilmselt tekib Entakil sel juhul probleem ka likviidsusega. Sellest lähtuvalt on mõistlik investering jagada ära tasuvusperioodile ning laenu tagasimaksete suurused dimensioneerida vastavalt tekkivale aastasele rahalisele säästule. Seeläbi ei näe küll ettevõtte tasuvusperioodi jooksul tekkivad rahalist säästu, kuna sellega kaetakse laenu tagasimakseid, kuid pärast laenuperioodi lõppemist on tekkiv rahaline sääst märkimisväärne.

Mida lühema aja jooksul on võimalik laenu tagasi maksta ning mida väiksem on aastane laenuintress, seda madalamad on ka koostootmisjaama investeeringud, kuna intressi suurus määrab laenu tagasimakse suuruse pangale.

Esimese alternatiivi korral on võetud laenu pikkuseks 5 aastat ning intressimääraks 4%. Laenu ajaldamine 5- aastase perioodi peale tagab selle, et laenu tagasimakse perioodi jooksul on iga-aastaste annuiteetide väärtus peaaegu võrdne aastase rahalise säästuga, mis tekib tänu koostootmisjaama rajamisele. Samuti annavadki pangad üldjuhul taolisteks investeeringuteks laenu kuni 5-ks aastaks ning maksimaalselt 10-aastase maksegraafikuga. [49]

Laenu annuiteetideks arvutamisel ei ole arvesse võetud inflatsiooni, mis tähendab, et kõik väärtused on avaldatud raha nüüdisväärtuse põhjal. Ühtlaste aastamaksete teadasaamiseks 5 aastase perioodi peale on kasutatud allolevat valemit 7.1. [50]

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = P(A/P, i, n) \quad (7.1)$$

kus,

P- investeeringu suurus

i-intressimäär

n-laenu periood

Valemi 7.1 põhjal kujuneb aastamakse suuruseks 5 aastase perioodi ning 4-protsendilise intressimäära korral:

$$A = 1760000 \cdot \frac{0,04 \cdot (1 + 0,04)^5}{(1 + 0,04)^5 - 1} = 395344\text{€} \quad (7.2)$$

Seega kujuneb annuiteedi suuruseks 395 344 €. Kui võtta arvesse, et laenu tuleb tasuda 5 aastat, tuleb pangale summaarselt tagasi maksta 1 976 719 €, mis on 216 720 € enam kui projekti enda maksumus. Seega, kui katta investeringukulu pangalaenuga, tõuseb kogu projektikulu 12,3 %. Koostootmisjaama investeringuid ja laenu iseloomustavad suurused, mis on ühtlasi ka rahavoogude arvutamise ühtedeks lähteandmeteks, on esitatud parema ülevaate saamiseks allolevas tabelis 7.1.

**Tabel 7.1. Investeeringuid iseloomustavad väärtused sisepõlemismootoriga koostootmisjaama korral**

| Kulu alus              | Ühik   | Väärtus   |
|------------------------|--------|-----------|
| Investeeringu maksumus | €      | 1 760 000 |
| Eluiga                 | aastat | 15        |
| Laenu periood          | aastat | 5         |
| Laenu intress          | %      | 4         |
| Annuiteetlaen          | €      | 395 344   |
| Laenu tagasimakse      | €      | 1 976 719 |

Analoogselt on leitud annuiteetlaenu suurus ning laenu tagasimakse ka teise ja kolmanda alternatiivi kohta. Vastavad tulemused on lisatud allolevatesse tabelitesse 7.2 ja 7.3.



**Tabel 7.2. Investeeringuid iseloomustavad väärtused auruturbiiniga koostootmisjaama korral**

| <b>Kulu alus</b>       | <b>Ühik</b> | <b>Väärtus</b> |
|------------------------|-------------|----------------|
| Investeeringu maksumus | €           | 1 298 000      |
| Eluiga                 | aastat      | 15             |
| Laenu periood          | aastat      | 5              |
| Laenu intress          | %           | 4              |
| Annuiteetlaen          | €           | 291 566        |
| Laenu tagasimakse      | €           | 1 457 830      |

**Tabel 7.3. Investeeringuid iseloomustavad väärtused Orgaanilise Rankine`tsükliga koostootmisjaama korral**

| <b>Kulu alus</b>                 | <b>Ühik</b> | <b>Väärtus</b> |
|----------------------------------|-------------|----------------|
| Investeeringu maksumus           | €           | 5 197 000      |
| Investeeringu maksumus toetusega | €           | 2 598 500      |
| Eluiga                           | aastat      | 15             |
| Laenu periood                    | aastat      | 7              |
| Laenu intress                    | %           | 4              |
| Annuiteetlaen                    | €           | 432 935        |
| Laenu tagasimakse                | €           | 3 030 546      |

Tabelitest 7.1-7.3 avaldub, et laenude perioodid on tehnoloogiate lõikes väga erinevad, millest omakorda võib välja lugeda ka esialgseid indikatsioone tehnoloogiate tasuvusaegade kohta, kuna eespool seati eelduseks, et laenude aastaste tagasimaksete suurused võrduvad koostootmisjaamade poolt saavutatavate aastaste säästudega. Sel juhul ei pea Entek endale täiendavalt lisakulusid juurde tekitama. Tabelitest selgub, et kõige lühema laenu perioodiga on gaasimootoriga koostootmisjaam ja auruturbiiniga koostootmisjaam. Antud juhul suudetakse laen pangale 4%-lise intressimäära korral viie aastaga tagasi maksta.

Kuna Orgaaniline Rankine`ringprotsess töötab käesoleval juhul taastuval kütusel, siis on käesolevas töös tehtud eeldus, et antud alternatiivi puhul on võimalik Keskkonnainvesteeringute Keskuselt kuni 50 % ulatuses saada koostootmisjaama rajamiseks toetus. Kuigi toetus makstakse välja kulu tegemise järgselt, mis teoreetiliselt võib Entekile tekitada probleeme likviidsusega, kuid teisalt on see võimalik näiteks pangapoolse akreditiiviga lahendada, on antud toetusemäära arvesse võetud. Seega kujuneb investeeringu maksumuseks

mitte 5 197 000 €, vaid sellest kaks korda vähem ehk 2 598 500 €. Annuiteetlaenu suuruseks kujuneb aastas 432 935 € ning laenu perioodiks 7 aastat. [51]

Kui vaadelda laenu perioodide pikkuseid, siis kõigil kolmel juhul on antud investering võimalik katta panga finantseeringutega. Nimelt finantseerib pank taoliseid investeringuid viie aastase perioodi peale. Kuid teatud pangad nagu näiteks Nordea võimaldavad taoliseid investeringuid teha küll viie aastase perioodi peale, kuid kümne aastase maksegraafikuga, mis tähendab, et maksegraafik koostatakse kümneks aastaks ning lähtuvalt sellest tuleb igal aastal tasuda lepingus kindlaksmääratud laenu tagasimakse summa. Kui laenu periood lõpeb, koostatakse uus leping või pikendatakse olemasolevat, kuid maksegraafik jääb samaks. [49]

## 7.2 Energiahinnad

Rahavoogude arvutuste teostamiseks on tarvis teada energiahindasid. Järgnevalt on allolevas tabelis 7.4 välja toodud kütuste ja energiahinnad, mida on rahavoogude arvutusi teostades kasutatud.

**Tabel 7.4. Rahavoogude prognoosides kasutatavad energia ja kütuste hinnad**

| Energiahinnad                   | Ühik             | Hind    |
|---------------------------------|------------------|---------|
| Ostetud elektrienergia koguhind | €/MWh            | 69,97   |
| Müüdüd elektrienergia koguhind  | €/MWh            | 88,07   |
| Maagaasi koguhind               | €/m <sup>3</sup> | 0,28176 |
| LPG gaasi hind                  | €/t              | 365     |
| Puiduhakke hind                 | €/MWh            | 13      |
| Soojuse müügihind               | €/MWh            | 64,93   |
| Tõhusa koostootmiste toetus     | €/MWh            | 32      |
| Taastusenergia tasu             | €/MWh            | 8,9     |
| Elektriaktsiis                  | €/MWh            | 4,47    |

Ostetud ja müüdüd elektrienergia koguhinnad on saadud lähtuvalt eespool esitatud kalkulatsioonidest. Maagaasi hinna aluseks on võetud alates 1.03.2016 kehtima hakanud maagaasi hinnad, millele on juurde lisatud võrguteenuse hind ja maagaasiaktsiis. [52]

Simulatsioonides, kus kütusena kasutatakse maagaasi teostatakse eeldusel, et esimesel kolmel aastal töötab jaam LPG gaasi peal. Selle jaoks renditakse gaasimahuti, mille täitmise eest vastutab tarnija, kellega on LPG tarneleping sõlmitud. Põhjus on selles, et Keila läheduses küll gaasitrassi täna ei ole, kuid seda plaanitakse lähiaastatel rajama hakata. Eesmärk on gaasitrass Keila rajada enne 2020. aastat. Sellega seoses plaanib ka Entek Keila Tööstusparki gaasitrassi

olemasolu tagada ning see omakorda annab võimaluse maagaasi kasutamiseks sooja tootmisel. [53]

LPG gaas on oma omadustelt üsna lähedane maagaasile ning simulatsioonides kasutatavad seadmed suudavad edukalt töötada ka LPG gaasi peal. LPG gaasi tonni hind on saadud Vedelgaas OÜ käest ning antud hinda on kasutatud simulatsioonide ja rahavoogude prognoosi teostamisel. [42]

Puiduhakke hinnaks on käesolevas töös võetud 13 €/MWh. [54]

Soojuse müügihinnaks on simulatsioonides võetud viimase kolme aasta kaalutud keskmine soojusenergiaga müügihind nagu ka eespool leitud. Kuna soojuse müügihinna piirhinnad tuleb kooskõlastada Konkurentsiametiga, siis madalamate soojusenergia tootmiskulude ilmnemisel tuleb ilmselt ka madalama soojusenergia müügihinnaga arvestada. Käesolevas töös ei ole eraldi vaadeldud Konkurentsiameti poolt kasutatavat soojusenergia piirhinna kujundamise meetodikat ning seega on tehtud lihtsustus, et soojust on võimalik edasi müüa sama hinnaga nagu seni.

Vastavalt Elektriturseadusel paragrahv 59 lõigetele 2 ja 4 on igal elektritootjal õigus saada põhivõrguettevõtjalt toetust, kui ta on selle tootnud biomassist koostootmise režiimil, välja arvatud juhul, kui biomassist toodetakse elektrienergiat kondensatsioonirežiimil või kui ta on selle tootnud tõhusa koostootmise režiimil tootmiseseadmega, mille elektriline võimsus ei ületa 10 MW. Käesolevas töös kasutatavad tehnoloogiad ja seadmete võimsused soojuse- ja elektrienergia koostootmiseks vastavad elektriturseadusest tulenevatele nõuete ning sellest lähtuvalt on võimalik ka toetust saada. Eestis on võimalik saada toetust saldeeritud elektrienergia pealt, mis tarbitakse ära kas ühe tarbija poolt (näiteks hoone poolt, kuhu koostootmisjaam installeeritakse) või kogu elektrivõrku antud ja müüdüd toodangu pealt. Esimesel juhul on elektriturseaduse kontekstis tegu otseliiniga, teisel juhul aga tõhusa koostootmise või taastuenergia toetusega. Kui tõhusa koostootmis režiimil töötades on toetuse määr 32 €/MWh eest, siis taastuenergia toetuse puhul on see 53,7 €/MWh. [55]

Lisaks põhimõttelisele erinevusele otseliini ja tõhusa koostootmise ning taastuenergiatoetuse vahel seisneb nendevaheline erinevus ka toetuse maksustamisel. Otseliini puhul tuleb toetuse määrast täiendavalt energiat ise ära tarbides maha arvestada taastuenergia tasu 8,9 €/MWh ning elektriaktsiis 4,47 €/MWh kohta. Lisaks tuleb otseliini puhul täiendavalt tasuda igaaastane riigilõiv 1 278 €. Kuna teostatavate simulatsioonide puhul müüakse kogu elektrienergia toodang edasi, võetakse rahavoogude prognoosis arvesse tõhusa koostootmise ning

taastuenergia toetust, mille taotlemine on märkimisväärselt lihtsam ning samuti ei tule täiendavalt tasuda iga-aastast riigilõivu. Lisaks sellele ei tule tõhusa koostootmise ja taastuenergia toetuse puhul tasuda elektriaktsiisi või taastuenergia tasu, kuna selle tasub elektrienergia lõpptarbija. [56] [57]

Kuna tõhusa koostootmise toetuse saamisel põhivõrgu ettevõtja poolt tuleb tasuda elektriaktsiis, toimub antud elektrienergiale topeltnmaksustamine. Nimelt tuleb aktsiisi tasuda ka maagaasi eest, mis kulus elektrienergia tootmiseks. Selleks, et topeltnmaksustamist ei toimuks, on käesolevas töös seda arvesse võetud ning elektrienergia tootmiseks kulunud maagaasi kogusest on aktsiis maha arvestatud. [58]

Koostootmisjaamade rahavoogude teostamiseks on järgnevalt tarvis leida jaamade kogutulud ja kogukulud.

### 7.3 Koostootmisjaamade kogutulud

Koostootmisjaama tulubaasi moodustab neli tegurit:

- Sääst, mis tekib elektrienergia koguse pealt, mille koostootmisjaam toodab. Seda kogust elektrienergiat ei ole tarvis võrgust osta, kui see klientidele edasi müüakse.
- Elektrienergia müük- müük Keila Tööstuspargist välja kolmandatele osapooltele.
- Maagaasi aktsiisivabastus maagaasi osale, mis kulus elektrienergia tootmiseks, et ei tekiks topeltnmaksustamist. Antud tulu rakendub vaid stsenaariumitele 1 ja 2, kus kütusena on kasutatud maagaasi.
- Tõhusa koostootmise toetus stsenaariumite 1 ja 2 korral ning taastuenergia toetus kolmanda stsenaariumi korral.

Allolevates tabelites 7.5, 7.6 ja 7.7 on välja toodud kõik tululiigid koos tulude summaga.

**Tabel 7.5. Koostootmisjaama aastased kogutulud stsenaarium 1 korral**

| <b>Tulud</b>   | <b>Summa [€]</b> |
|--|------------------|
| Kokkuhoid elektri tootmisest                                   | 427 601          |
| Elektrienergia müük  | 8 006            |
| Maagaasi maksuvabastus osalt, mida kasutati elektri tootmiseks | 18 491           |
| Tõhusa koostootmise toetus                                     | 195 558          |
| <b>Kogutulud</b>   | <b>649 656</b>   |

**Tabel 7.6. Koostootmisjaama aastased kogutulud stsenaarium 2 korral**

| <b>Tulud</b>   | <b>Summa [€]</b> |
|--|------------------|
| Kokkuhoid elektri tootmisest                                   | 33 845           |
| Elektrienergia müük  | 0,0              |
| Maagaasi maksuvabastus osalt, mida kasutati elektri tootmiseks | 1 464            |
| Tõhusa koostootmise toetus                                     | 15 478           |
| <b>Kogutulud</b>   | <b>50 787</b>    |

**Tabel 7.7. Koostootmisjaama aastased kogutulud stsenaarium 3 korral**

| <b>Tulud</b>   | <b>Summa [€]</b> |
|--|------------------|
| Kokkuhoid elektri tootmisest                                   | 136 134          |
| Elektrienergia müük  | 0,0              |
| Maagaasi maksuvabastus osalt, mida kasutati elektri tootmiseks | 5 887            |
| Tõhusa koostootmise toetus                                     | 62 259           |
| <b>Kogutulud</b>   | <b>204 280</b>   |

Elektrienergia müügitulud moodustavad tulud, mis on saadud elektrienergia müügist võrku, kui koostootmisjaam tootis rohkem, kui tööstuspargis reaalselt vaja oli.

Toodetud elektrienergia tarbimise sääst moodustab elektrienergia hulga, mis tarbiti ära kohapeal Tööstuspargis. Tulu arvutamisel on omavahel korrutatud võrgust ostetava elektrienergia hind ning jaama toodang.

Tõhusa koostootmise või taastuenergia toetusest saadavad tulud on leitud koostootmisjaama poolt toodetud elektrienergia koguse korrutamisel taastuenergia toetuse määraga. Kuna kogu toodetud elektrienergia müüakse edasi, siis saab terve toodetud koguse pealt ka toetust.

Tulude arvestamisel on väga oluliseks faktoriks asjaolu, elektrienergia koguhind on arvestatud tänase väärtusena ning kogu koostootmisjaama eluea jooksul on elektrienergia hinnad konstantsed. Rahavoogude prognoosides ei ole arvestatud, et need tegurid suurenevad aasta-aastalt, mis tähendab seda, et töö edasistes etappides leitavad majanduslikud parameetrid võib pigem pessimistlikeks lugeda.

Nagu tabelitest 7.5-7.7 selgub, toodab kõige enam tulusid selgelt sise põlemismootoriga koostootmisjaam (stsenaarium 1) tootes tulusid 649 656 €/aastas. Sellest kõige suurema osa moodustas sääst, mis tekkis sellega, et läbi toodetud elektrienergia tuli võrgust vähem elektrit osta ning see õnnestus tööstuspargi tarbijatele edasi müüa. Tine suurim tuluallikas on tõhusa

koostootmise toetus, mida saab iga müüdnud energiaühiku pealt. Kõige vähe tulusid toodab auruturbiiniga koostootmisjaam, tootes aastas vaid 50 787 € tulusid.

Nagu näha, siis tulubaasi moodustavad tulud, mis on seotud otseselt elektrienergiaga. Mida enam elektrienergiat koostootmisjaam toodab, seda suurem on ka aastane tulubaas. Seega antud tabelit kinnitavad asjaolu, et kõige enam elektrienergiat toodab gaasimootoriga koostootmisjaam, talle järgneb ORC tehnoloogial töötav koostootmisjaam ning kõige madalamate kuludega on auruturbiintehnoloogial töötav koostootmisjaam.

#### 7.4 Koostootmisjaamade kogukulud

Koostootmisjaama kulude baas jaguneb järgnevalt:

- Muutuvkulud- kulud, mis sõltuvad otseselt koostootmisjaama toodangust ning muutuvad jaama toodangumahu muutusega.
- Püsikulud- kulud, mis ei muutu toodangumahu muutumisega ning mida tuleb teha iga-aastaselt.
- Laenu iga- aastased tagasimaksed.

Muutuvkulud ja püsikulud moodustavad koostootmisjaama tegevuskulud ning liites sellele ka laenu iga-aastased tagasimaksed, saadakse koostootmisjaama aastased kogukulud. [59]

Järgnevalt on allolevates tabelites 7.8, 7.9, 7.10 ja 7.11 välja toodud kõik tululiigid koos tulude summaga.

**Tabel 7.8. Koostootmisjaama esimese aasta kogukulud stsenaarium 1 korral**

| Kulud  | Summa [€]      |
|--|----------------|
| Kütusekulude suurenemine/vähene mine gaasikütuse kasutamise korral | 102 032        |
| Püsikulud (hoolduskulud)   | 62 433         |
| Laenu tagasimakse  | 395 344,0      |
| <b>Kogukulud</b>   | <b>559 809</b> |

**Tabel 7.9. Koostootmisjaama aastased klogukulud stsenaarium 2 korral kui kütusena kasutatakse maagaasi**

| Kulud  | Summa [€]     |
|--|---------------|
| Muutuvkulud (kütusekulude suurenemine/vähene mine) | -81 983       |
| Püsikulud (hoolduskulud)                           | 10 000        |
| Laenu tagasimakse                                  | 130 319       |
| <b>Kogukulud</b>                                   | <b>58 336</b> |

**Tabel 7.10. Koostootmisjaama aastased klogukulud stsenaarium 2 korral kui kütusena kasutatakse LPG gaasi**

| <b>Kulud</b>                                       | <b>Summa [€]</b> |
|--|------------------|
| Muutuvkulud (kütusekulude suurenemine/vähenevmine) | 102 032          |
| Püsikulud (hoolduskulud)                           | 0,0              |
| Laenu tagasimakse                                  | 130 319          |
| <b>Kogukulud</b>                                   | <b>232 350</b>   |

**Tabel 7.11. Koostootmisjaama aastased klogukulud stsenaarium 3 korral**

| <b>Kulud</b>                                       | <b>Summa [€]</b> |
|--|------------------|
| Muutuvkulud (kütusekulude suurenemine/vähenevmine) | -218 306         |
| Püsikulud (hoolduskulud)                           | 10 000           |
| Laenu tagasimakse                                  | 444 181          |
| <b>Kogukulud</b>                                   | <b>235 875</b>   |

Muutuvkuludeks on koostootmisjaama kütusekulud. Antud kulu puhul ei ole arvesse võetud kogu kütusekulu, vaid kogust, mille võrra kütuse tarbimine kasvas või kahanes koostootmisjaama rajamisega võrreldes olukorraga, kus Entek tootis kogu Keila Tööstuspargis vajamineva soojusenergia raske kütteõliga. Nagu tabelitest 7.8-7.11 näha, siis antud juhul on kütusekulud suurenenud. See on tingitud sellest, et nüüd toodetakse lisaks soojusenergiale ka elektrienergiat. Samuti on jaama muutuvkuludeks Taastuvenergia tasu ja elektriaktsiis, mis tuleb maha arvestada tõhusa koostootmise toetuse saamisel.

Tabelites 7.9 ja 7.10 on välja toodud auruturbiiniga koostootmisjaama aastased kulud erinevate kütuste korral. Tabelist avaldub, et kui kütuseks kasutatakse maagaasi, siis Enteki poolt tehtavad kulud kütusele vähenevad võrreldes praeguste kulutustega, mis tehakse raske kütteõli ostuks. Kui aga kasutatakse LPG gaasi, siis kulud hoopis suurenevad ja üsna märkimisväärselt. Sellest saab järeldada, et antud juhul ei ole kindlasti otstarbekas antud stsenaariumi puhul LPG-d kütusena kaaluda, kunu kulude erinevus on väga suur ning nii väikse elektrienergia toodangu juures võib eeldada, et LPG kasutamine jaama töö esimese kolme aasta jooksul pikendab tema tasuvusperioodi oluliselt. Kuna kulude erinevus on umbes 184 000€, siis kolme aasta peale teeb see kokku umbes 552 000 €, mis on umbes pool kogu projekti maksumusest. Seega ei ole LPG-d kütusena teise stsenaariumi korral töö edasistes etappides kaalutud.

Püsikulude puhul on tegemist jaama korrapäraste hoolduskuludega nagu eespool kirjeldatud. Kokkuvõtvalt saab öelda, et aastased kogukulud suurenevad Entekis kõige vähem gaasimootoriga koostootmisjaama puhul ning suurenevad kõige enam ORC tsükliga

koostootmisjaama korral, kuid seda vaid kuni laenu perioodi lõpuni. Kui laenu periood läbi saab, siis ORC tehnoloogia puhul kütusekulud hoopis vähenevad võrreldes praeguse olukorraga.

## 7.5 Rahavood ja majanduslikud parameetrid koostootmisjaama eluea jooksul

Nüüd, kus on teada koostootmisjaama investeeringu ja laenu suurus, igaaastased tagasimaksud, kulud ja tulud, on võimalik koostada rahavoogude tabel kõigi kolme stsenaariumi kohta, mille alusel hinnata koostootmisjaama tasuvust. Koostootmisjaama poolt tekitatavad igaaastased rahavood on andmete rohkuse ning tabelite suuruse tõttu välja toodud lisas 1 ja seda iga stsenaariumi kohta.

### *Stsenaarium 1- sisepõlemismootoriga koostootmisjaama rahavoogud*

Järgnevalt on allolevas tabelis 7.11 välja toodud sisepõlemismootoriga koostootmisjaama rahavood tema eluea jooksul.

**Tabel 7.11. Koostootmisjaama rahavood stsenaarium 1 korral**

| Aastad   | 1              | 2              | 4              | 6                | 13               | 15               |
|--|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Rahavood, €</b>   | <b>2 016</b>   | <b>2 017</b>   | <b>2 019</b>   | <b>2 021</b>     | <b>2 028</b>     | <b>2 030</b>     |
| <b>Tulud</b>   |                |                |                |                  |                  |                  |
| Kokkuhoid elektri tootmisest (ilma töhuse koostootmise toetuseta)    | 427 601        | 436 153        | 453 773        | 472 106          | 542 301          | 564 210          |
| Elektrienergia müük (€)  | 8 006          | 8 006          | 8 006          | 8 006            | 8 006            | 8 006            |
| Maagaasi maksuvabastus osalt, mida kasutati elektri tootmiseks       | 18 491         | 18 492         | 18 494         | 18 496           | 18 504           | 18 506           |
| Töhuse koostootmise toetus   | 195 558        | 195 558        | 195 558        | 195 558          | 0                | 0                |
| <b>Kulud</b>   |                |                |                |                  |                  |                  |
| - Kütusekulude suurenemine/vähene mine gaasikütuse kasutamise korral | 102 032        | 106 154        | 81 003         | 87 680           | 115 692          | 125 229          |
| - Seadme hoolduskulud  | 14 400         | 62 433         | 52 956         | 58 384           | 82 153           | 90 573           |
| Laenu tagasimakse  | 395 344        | 395 344        | 395 344        |                  |                  |                  |
| <b>CHP-st tulenev kokkuhoid</b>                                      | <b>137 880</b> | <b>94 278</b>  | <b>146 528</b> | <b>548 101</b>   | <b>370 965</b>   | <b>374 919</b>   |
| <b>Kumulatiivne kokkuhoid</b>  | <b>137 880</b> | <b>232 159</b> | <b>474 279</b> | <b>1 172 065</b> | <b>4 890 406</b> | <b>5 638 355</b> |



Nagu tabelist 7.11 selgub, on CHP tööst tulenev kokkuhoid igal aastal üsna erinev, kuna vaadeldava perioodi jooksul muutuvad nii hinnad, kasutatavad kütused ja ka hoolduskulud. Tabelis on välja toodud need aastad, mil rahavoogudes toimusid märkimisväärsed muutumised.

Kulude poole pealt, nagu ka eespool kirjeldatud, kasutatakse kütusena esimesel kolmel aastal LPG gaasi ning alates neljandast aastast minnakse üle maagaasile, kui gaasitrass on olemas. Kui võrrelda kütusekulu suurenemist maagaasi korral ning kütusekulu suurenemist LPG gaasi korral, siis tuli arvutustest välja, et kütusekulude suurenemise erinevus on ca 40 %. Maagaasi puhul suureneksid kütusekulud 71 928 € võrra, kuid LPG gaasi korral nagu tabelist selgub, 102 032 € võrra. Seega on kahe kulu erinevus 41,8 %. Kolme aasta peale tähendab LPG gaasi kasutamine umbes 94 000 € enam kulusid kütusele. Kui lisada siia juurde ka LPG gaasimahuti hooldus- ja remondikulud, mis on 14 400 €/aastas, kujuneb summaarseks lisakuluks 108 400 €. Antud summa on üsna märkimisväärne, kuid kui võrrelda antud summat aastase kokkuhoiuga laenu tagasimakset arvestamata, siis on antud kulu suurenemine üsna marginaalne. Kolme aasta peale on summaarne kokkuhoid 1 513 782 (summeerides laenu tagasimaksed ja CHP-st tuleneva kokkuhoiu), millest eespool leitud kütusele tehtav lisakulu moodustab 7,2 %. Samuti ei mõjuta lühiajaliselt LPG kasutamine projekti tasuvust märkimisväärselt. Seega on antud lahendust igal juhul mõistlik projekti esimestel aastatel kasutada.

Kulude arvestamisel on võetud arvesse nii inflatsiooni, mille määraks on arvestatud 2 % kui ka maagaasi ja LPG gaasi hindade kasvu 2 % aastas. Lähtuvalt vestlusest Eesti Gaasiga võib aga öelda, et tegemist on pessimistliku versiooniga, kuna järgmisel 3-4 aastal peaksid maagaasi hinnad jääma samaks või pigem veelgi alanema. Lisaks sellele on tahavoogude arvutustest arvestatud ka hoolduskulude iga-aastase kasvuga 5 %.

Tulude poole pealt on arvestatud vaid inflatsiooniga 2 % aastas. Rahavoogude arvutustes on tehtud eeldus, et elektrienergia koguhind püsib järgmise 15 aasta jooksul muutumatuna. Seda on tehtud seetõttu, et elektrienergia komponendi hinnad on olnud viimastel aastatel langustrendis, kuid teiselt poolt on suurenenud võrguteenuse maksumus. Teine põhjus on see, et anda rahavoogude prognoosile veidi pessimistlikum iseloom ning seeläbi reaalsemad tulemused.

Tõhusa koostootmise toetus lõpeb arvutustes ära alatest 12 jaama tööaastast. Põhjus on selles, et tõhusa koostootmise toetust on võimalik saada vaid jaama esimese 12 tegevusaasta jooksul pärast mida enam antud toetust ei ole võimalik saada. [60]

Kokkuvõtlikult kujuneb kumulatiivseks kokkuhoiuks koostootmisjaama eluea jooksul 5 638 355 €, mida on peaaegu kolm korda enam kui koostootmisjaama investeringu maksumus.

*Stsenaarium 2- auruturbiiniga koostootmisjaama rahavoogud*

Analoogselt stsenaariumile 1 on järgnevalt allolevas tabelis 7.12 välja toodud auruturbiiniga koostootmisjaama rahavood tema eluea jooksul.

**Tabel 7.12. Koostootmisjaama rahavood stsenaarium 2 korral**

| Aastad  | 1              | 2              | 10              | 11              | 13              | 15              |
|---|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Rahavood, €</b>  | <b>2 016</b>   | <b>2 017</b>   | <b>2 025</b>    | <b>2 026</b>    | <b>2 028</b>    | <b>2 030</b>    |
| <b>Tulud</b>  | <b>50 786</b>  | <b>51 464</b>  | <b>57 398</b>   | <b>58 208</b>   | <b>44 399</b>   | <b>46 135</b>   |
| Kokkuhoid elektri tootmisest (ilma tõhusa koostootmise toetuseta) | 33 844         | 34 521         | 40 447          | 41 256          | 42 923          | 44 657          |
| Elektrienergia müük (€)   | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               | 0               |
| Maagaasi maksuvabastus osalt, mida kasutati elektri tootmiseks    | 1 464          | 1 465          | 1 473           | 1 474           | 1 476           | 1 478           |
| Tõhusa koostootmise toetus  | 15 478         | 15 478         | 15 478          | 15 478          | 0               | 0               |
| <b>Kulud</b>  | <b>-81 983</b> | <b>-75 295</b> | <b>-102 317</b> | <b>-106 309</b> | <b>-114 761</b> | <b>-123 877</b> |
| - Kütuse kulu suurenemine CHP+gaasikatel maagaasi korral          | -81 983        | -85 295        | -117 091        | -121 822        | -131 864        | -142 734        |
| - Seadme hoolduskulud maagaasi korral                             |                | 10 000         | 14 775          | 15 513          | 17 103          | 18 856          |
| Laenu tagasimakse   | 130 319        | 130 319        | 130 319         |                 |                 |                 |
| <b>CHP-st tulenev kokkuhoid</b>                                   | <b>2 451</b>   | <b>-3 559</b>  | <b>29 397</b>   | <b>164 517</b>  | <b>159 159</b>  | <b>170 012</b>  |
| <b>Kumulatiivne kokkuhoid</b>                                     | <b>2 451</b>   | <b>-1 109</b>  | <b>112 723</b>  | <b>277 240</b>  | <b>605 888</b>  | <b>940 391</b>  |

Nagu ka tabelist 7.12 avaldub, on antud juhul samuti CHP tööst tulenev kokkuhoid igal aastal üsna erinev, kuna vaadeldava perioodi jooksul muutuvad nii hinnad, kasutatavad kütused ja ka hoolduskulud. Tabelis on välja toodud vaid need aastad, mil rahavoogudes toimusid märkimisväärsed muutumised. Kogu 15-aastase perioodi rahavoogude tabel on välja toodud allolevas lisa 1.

Kuigi ka antud juhul kasutatab jaam gaaskütust, siis nagu eespool selgus, on antud simulatsioonis kasutusel vaid maagaas, kuna LPG-d ei ole majanduslikult otstarbekas kasutada ning ta suurendab oluliselt Enteki energiakulusid. Maagaasi kasutades aga kulud kütusele vähenevad, kuna maagaas on tunduvalt odavam kui hetkel kasutatav kütteõli. Kuigi

koostootmisjaamaga toodetakse paralleelselt ka elektrit, siis kokkuvõttes ei ole toodetava elektrienergia hulk piisavalt suur, et see suurendaks kokkuvõttes kulusid kütusele.

Ka antud juhul on kulude arvestamisel võetud arvesse nii inflatsiooni, mille määraks on arvestatud 2 % kui ka maagaasi hinna kasvu 2 % aastas. Lisaks sellele on rahavoogude arvutustest arvestatud ka hoolduskulude iga-aastase 5-protsendilise kasvuga.

Tulude poole pealt on arvestatud vaid inflatsiooniga 2 % aastas. Rahavoogude arvutustes on antud juhul samuti tehtud eeldus, et elektrienergia koguhind püsib järgmise 15 aasta jooksul muutumatuna.

Kokkuvõtlikult kujuneb kumulatiivseks kokkuhoiuks auruturbiiniga koostootmisjaama eluea jooksul 940 391 €, mis on umbes samapalju kui jaama summaarne investeeringukulu. Kui lisada juurde ka iga-aastased laenu tagasimaksud, võib öelda, et jaam toodab oma eluea jooksul tagasi kahekordse jaama investeeringukulu, millest lähtudes võiks esmapilgul öelda, et projekt on tasuv.

### *Stsenaarium 3- ORC tsükliga koostootmisjaama rahavoogud*

Allolevas tabelis 7.13 on välja toodud Orgaanilisel Rankine` ringprotsessil töötava koostootmisjaama rahavood tema eluea kooksul. Seejuures on rahavoogude prognoos koostatud ka andud stsenaariumi puhul samasuguste põhimõtete alusel nagu ka kahe eelmise stsenaariumi korral.

**Tabel 7.13. Koostootmisjaama rahavood stsenaarium 3 korral**

| Aastad  | 1               | 2               | 7               | 8               | 13              | 15              |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Rahavood, €</b>  | <b>2 016</b>    | <b>2 017</b>    | <b>2 022</b>    | <b>2 023</b>    | <b>2 028</b>    | <b>2 030</b>    |
| <b>Tulud</b>  | <b>204 280</b>  | <b>207 004</b>  | <b>221 461</b>  | <b>224 528</b>  | <b>178 550</b>  | <b>185 527</b>  |
| Kokkuhoid elektri tootmisest (ilma tõhusa koostootmise toetuseta) | 136 134         | 138 856         | 153 309         | 156 375         | 172 650         | 179 625         |
| Elektrienergia müük (€)   | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               |
| Maagaasi maksuvabastus osalt, mida kasutati elektri tootmiseks    | 5 887           | 5 888           | 5 893           | 5 894           | 5 899           | 5 901           |
| Tõhusa koostootmise toetus  | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 0               | 0               |
| <b>Kulud</b>  | <b>-218 306</b> | <b>-217 126</b> | <b>-264 102</b> | <b>-274 650</b> | <b>-334 029</b> | <b>-361 220</b> |
| - Kütuse kulu suurenemine CHP+gaasikatel maagaasi korral          | -218 306        | -227 126        | -276 865        | -288 051        | -351 132        | -380 077        |
| - Seadme hoolduskulud   |                 | 10 000          | 12 763          | 13 401          | 17 103          | 18 856          |

|                                 |         |         |         |         |           |           |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| Laenu tagasimakse               | 432 935 | 432 935 | 432 935 |         |           |           |
| <b>CHP-st tulenev kokkuvõid</b> | -10 349 | -8 806  | 52 628  | 499 178 | 512 578   | 546 747   |
| <b>Kumulatiivne kokkuvõid</b>   | -10 349 | -19 154 | 116 879 | 616 057 | 3 271 389 | 4 347 498 |

Tabelist 7.13 on sarnaselt eelmistele olukordadele kokku koondatud vaid need aastad, mil rahavoogudes toimusid olulisemad muudatused. Täielik 15-aastase perioodi rahavoogude tabel on välja toodud lisas 1. Jaama teisel aastal lisanduvad juurde jaama hoolduskulud, seitsmes aasta on välja toodud näitamaks summaarseid rahavoogusid antud aastal ning võrdlemaks seda kaheksanda eluaastaga, mil laenu tagasimaksed lõppevad. Sel hetkel kasvab summaarne kokkuvõid aastas märkimisväärselt võõreldes eelnevate aastatega.

Kütusekulude muutumise osas on näha märkimisväärselt kulude alanemist, kuigi paralleelselt soojusenergiaga toodeti märkimisväärne kogus ka elektrienergiat, kokku peaaegu 2 GWh aastas. Kütusekulude alanemine vaatamata sellele asjaolule on seotud puiduhakke kui kütuse tunduvalt madalama hinnaga võrreldes raske kütteõliga, mis on kallis. Tänu sellele on ka kumulatiivne kokkuvõid koostootmisjaama eluea jooksul väga suur, 4 347 498 €, mis on võrreldes sisepõlemismootoriga koostootmisjaama kumulatiivsest kokkuvõidust ca 23 % väiksem võttes samal ajal arvesse asjaolu, et investeeringukulu on ORC tehnoloogiaga koostootmisjaamal toetust arvesse võttes 47,6 % suurem, kuid samas installeeritud elektriline võimsus 2 korda väiksem (600 kW). Kui arvestada kumulatiivsele kokkuvõidule juurde ka laenu tagasimaksed, toodab jaam 15-aastase perioodi jooksul umbes 7,4 miljonit eurot, mis on peaaegu kolmekordne projekti investeeringumaksumus.

Järgnevalt on rahavoogude arvutuste põhjal leitud kõigi kolme koostootmisjaama investeeringu lihttasuvusaeg, kumulatiivne puhasrahavoog, puhasnüüdisväärtus ja tasuvusnäitaja. Need parameetrid võimaldavad hinnata investeeringu majanduslikku otstarbekust. Paremaks tulemuste võrdlemiseks on saadud tulemused koondatud hiljem ühte tabelisse, kust näeb iga koostootmisjaama majanduslikke parameetreid.

### *Tasuvusaeg*

Tasuvusaja hindamiseks on kasutatud lihtsa tasuvusaja meetodit, mille korral on tasuvusajaks periood, mille jooksul investeeringu algmaksumus on tasutud temast saadavate sissetulekutega. Seejuures on investeeringu algmaksumuseks võetud mitte koostootmisjaama kapitalikulu vaid pangalaenuka kaetav laenusumma, milleks. Seejuures on lihtsa tasuvusaja meetodi puhul

tegemist diskonteerimata ehk lihtsa tasuvusajaga, mis ei arvesta raha väärtuse muutust ajas. Lihtne tasuvusaeg avaldub alloleva valemiga 7.3. [61]

$$-P + \sum_{K=1}^T F_k = 0 \quad (7.3)$$

kus,

P-alginvesteering

$F_k$ - iga aasta resulteeriv rahavoog

T- tasuvusaeg, mil algmaksumus on tasutud sissetulekutega

Vaadeldud rahavoogude prognoosi põhjal kujuneb sise põlemismootoriga koostootmisjaama tasuvusajaks 3,85 aastat, auruturbiiniga koostootmisjaama tasuvusajaks 9,29 aastat ning ORC tsükliga koostootmisjaama tasuvusajaks 6,76 aastat. [61]

*Kumulatiivne puhasrahavoog*

Nagu ka eespool olevatest rahavoogude tabelitest selgub, on kumulatiivset puhasrahavood järgmised:

- Sise põlemismootoriga koostootmisjaam- 5 638 355 €
- Auruturbiiniga koostootmisjaam- 940 391 €
- ORC tsükliga koostootmisjaam- 4 347 498 €

Kui liita antud summadele juurde ka iga-aastased laenu tagasimaksed, toodavad koostootmisjaamad oma eluea jooksul veel täiendavalt .....% rahavoogusid juurde.

*Puhasnüüdisväärtus*

Puhasnüüdisväärtus (NPV) annab hinnangu projekti tasuvuse kohta. Arvutus näitab, millist tulu toob raha investeerimine antud projekti, võrreldes alternatiivse investeeringuga teise projekti. Tavaliselt mõistetakse sellise alternatiivina raha investeerimist või pangadeposiidi tegemist tegeliku turu intressimääraga. Kõik maksed selle meetodi puhul arvestatakse nüüdishetkedele. Puhasnüüdisväärtus avaldub alloleva valemi 7.4 põhjal. [61]

$$NPV = -P + \sum_{k=1}^n F_k \cdot \frac{1}{(1+i)^k} \quad (7.4)$$

kus,

P-alginvesteering

F-tulevased rahavood

n-aastate arv

i-intressimäär

Antud juhul on kõigi kolme stsenaariumi puhul aastate arvuks ehk koostootmisjaama elueaks võetud 15 aastat ning intressimääraks 4 %. Seejuures annab puhasnüüdisväärtus järgmise indikatsiooni: [61]

- Kui  $NPV > 0$ , on projekt tasuv
- Kui  $NPV = 0$ , on vajalikud täiendavad uuringud
- Kui  $NPV < 0$ , on projekt mittetasuv

Kasutades eelpool kirjeldatud valemit 8.6 ja kasutatavaid parameetreid, kujunevad puhasnüüdisväärtused erinevate koostootmisjaama projektide puhul välja järgmiselt:

- Sisepõlemismootoriga koostootmisjaam- 1 965 922 €
- Auruturbiiniga koostootmisjaam- -723 189 €
- ORC tsükliga koostootmisjaam- -239 959 €

Seega saab öelda, et kõigi kolme stsenaariumi korral on projekt majanduslikult tasuv.

*Tasuvusnäitaja:*

Tasuvusnäitaja (PI) on suhtelise efektiivsuse näitaja, mis on arvutatav nüüdishetkedele ajaldatud kõikide maksete ja alginvesteeringu suhtega. Tasuvusnäitaja leidmiseks kasutatakse valemit 7.5.

$$PI = \frac{\sum_{k=1}^n F_k \cdot \frac{1}{(1+i)^k}}{P} = \frac{NPV + P}{P} \quad (7.5)$$

Seejuures annab tasuvusnäitaja järgmise indikatsiooni: [61]

- Kui  $PI > 1$ , siis projekt on tasuv. Mida suurem on tasuvusnäitaja, seda parem.
- Kui  $PI < 1$ , siis projekt ei ole tasuv.

Lähtudes valemist 7.5, kujuneb koostootmisjaamade tasuvusnäitajateks:

- Sisepõlemismootoriga koostootmisjaam- 2,0
- Auruturbiiniga koostootmisjaam- 0,4
- ORC tsükliga koostootmisjaam- 0,9

Eespool mainitud indikatsioonidest lähtuvalt saab öelda, et koostootmisjaamade projektid on majanduslikult tasuvad.

Vaadeldud majanduslikud parameetrid on parema ülevaate saamiseks esitatud kokkuvõtlikult allolevas tabelis 7.14. Seejuures on kõik majanduslikud parameetrid välja toodud olukorras, kus investering kaetakse pangalaenuga. Põhjus, nagu eelnevalt kirjeldatud, seisneb selles, et nii suurt investeringut ei ole mõistlik oma rahaga katta, kuna see tekitab ettevõtte käibevahenditesse väga suure augu, mis on ettevõttele eluliselt ohtlik ja tekitab probleeme likviidsusele.

**Tabel 7.14. Majanduslikud parameetrid koostootmisjaama investeringu hindamiseks**

| <b>Vaadeldav parameeter</b> | <b>Ühik</b> | <b>Sisepõlemismootoriga CHP</b> | <b>Auruturbiiniga CHP</b> | <b>ORC tehnoloogial CHP</b> |
|-----------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Ivesteeringu suurus         | €           | 1 976 719                       | 1 303 185                 | 3 030 546                   |
| Lihtne tasuvusaeg           | aastat      | 3,85                            | 9,29                      | 6,76                        |
| Kumulatiivne puhasrahavoog  | €           | 5 638 355                       | 940 391                   | 4 347 498                   |
| Puhasnüüdisväärtus (NPV)    | €           | 1 965 922                       | -723 189                  | -239 959                    |
| Tasuvusnäitaja (PI)         |             | 2,0                             | 0,4                       | 0,9                         |

Tabelist 7.14 ilmneb, et kõige lühema tasuvusajaga koostootmistehnoloogia Keila Tööstuspargi kontekstis on sisepõlemismootoriga koostootmisjaam, mille tasuvusaeg 4%-lise intressiga pangalaenuga on 3,9 aastat. Seda perioodi võib nimetada lühikeseks tasuvusajaks. Orgaaniliselt Rankine`ringprotsessil põhineval koostootmisjaamal on tasuvusajaks 6,76 aastat, mida võib nimetada keskmise pikkusega tasuvusajaks ning kõige pikem tasuvusaeg on auruturbiiniga koostootmisjaamal, mille tasuvusaeg on peaaegu 10 aastat.

Vaatamata sellele, et ORC tehnoloogial koostootmisjaam on kõige suurema investeringukuluga, olles umbes 47,6 % suurem kui sisepõlemismootoriga koostootmisjaama investeringukulu, toodab ta 15-aastase perioodi jooksul peaaegu sama palju positiivseid rahavoogusid. Põhjus on antud juhul selles, et ORC koostootmisjaam töötab puiduhakkal, mille kütuse hind on 13 €/MWh, maagaasil puhul on aga käesolevas töös kütuse hinnaks võetud 26,7 €/MWh kohta, mis tähendab, et kütuse hindades on kahekordne erinevus. Sellest lähtuvalt

toodab ORC tehnoloogial koostootmisjaam pärast laenu tagasimakseid igal aastal enam rahavoogusid kui teised kaks alternatiivset jaama.

Vaatamata sellele on puhasnüüdisväärtust ja tasuvusnäitajat arvesse võttes tasuv investeering vaid gaasimootoril koostootmisjaam. Põhjus on selles, et vaid antud tehnoloogia korral on NPV suurem nullist ning tasuvusnäitaja suurem 1-st. Kuigi ka teiste tehnoloogiate puhul toodavad nad jaama omanikele positiivseid rahavoogusid, ei ole need tehnoloogiat antud majanduslikke parameetreid vaadates sellegipoolest tasuvad.

Seega saab rahavoogude prognoosi tulemusena öelda, et AS Entek peaks kindlasti kaaluma Keila Tööstusparki koostootmisjaama rajamist sise põlemismootoriga koostootmisjaama tehnoloogial eeldusega, et jaama esimese kolme tööaasta jooksul kasutatakse jaama käitamiseks LPG gaasi ning järgneva jaama eluea jooksul maagaasi, kui Keilasse ja sellega paralleelselt ka tööstusparki saab gaasitrass rajatud. Sel juhul on ehitatava koostootmisjaama tasuvusaeg 3,85 aastat 4%-lise laenu intressi juures ning rahavoogusid toodab ta Entekile 15 aasta jooksul täiendavalt 5 638 355 €.

Kui aga peaks ilmnema, et Keilasse maagaasi ei tuli ning jaam peab töötama kõik 15 aastat LPG gaasi peal, pikeneb tasuvus aeg 3,91 aasta peale ning sel juhul on kumulatiivne puhasrahavoog 5 127 790 €, mis on umbes poole miljoni võrra vähem. Kuid vaatamata sellele, on tasuvusaeg endiselt lühike.



## 8. Investeeringu tundlikkuse ja riskianalüüs, parima alternatiivi valik

Projekti tasuvuse hindamisel peab arvestama, et arvutuste lähteandmed on teatud määral ebatäpsed prognoosid. Väikesed muudatused võivad aga tulemust mõjutada. Seepärast on soovitatav teha tasuvusarvutuste tulemuste tundlikkuse analüüs investeeringu lõpliku hinnangu andmiseks - seeria arvutusi veidi erinevate lähteandmetega. See võimaldab näha ette projekti teostamisel ähvardavaid ohte. [61]

Näiteks ei saa täiesti veendunud olla selles, et igal aastal jääb soojus- ja elektrienergia tarbimine tööstuspargis samale tasemele, nagu on see teostatud arvutustes. Väikesed muudatused võivad aga tulemust mõjutada. Tundlikkuse analüüs määrab kindlaks, kuidas investeeringu võimalikud puhasnüüdiseväärtused või sisemised tasuvuslänged muutuvad ühe sisendi muutumisel, kui teiste sisendite väärtused hoida muutumatutena. Kõige lihtsamaks viisiks on nende väärtuste suurendamine ja vähendamine teatud protsendi võrra. Sisenditest uuritakse vaid selliste tundlikkust, mille väärtustes ei olda kindlad või mis põhinevad ligikaudsel väärtusel. Võimalike puhasnüüdiseväärtuste ja sisemiste tasuvuslängede muutumist võrreldakse seejärel võimalike tuludega, mis saadi enne sisendi väärtuse muutmist. Kõigi nende muutujate juures leitakse ka number, mille juures NPV=0. See on investeeringu teostamise tasuvuse miinimumpiiriks. Kui väljund on väga tundlik ühe või kahe sisendi suhtes, tuleks veenduda, et need sisendid on korrektselt prognoositud. [61]

Projektis esineb nii tehnilisi kui ka majanduslikke parameetreid. Tehniliste muutujate alla võib tinglikult liigitada soojuskoormuse, kasutegurid, kütteperioodi kestuse jne. Majanduslike alla kuuluvad kõik võimalikud hinnad, hoolduskulud, inflatsioon jne.

Erinevate parameetrite tundlikkuse analüüsiks kasutatakse lihtsustatud puhasnüüdiseväärtuse valemit 8.1, kus aastased rahavood on lahutatud tuludeks ja kuludeks: [61]

$$NPV = -P + \sum_{t=1}^n F_t \cdot \frac{1}{(1+i)^t} = -P + \sum_{t=1}^n (B_t - C_t) \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \quad (8.1)$$

## 8.1 Stsenaarium 1 tundlikkuse analüüs

Nagu eespool leitud, kujunes puhasnüüdiseväärtuseks sise põlemismootoriga koostootmisjaama korral 1 965 922 €. Järgnevalt vaadeldakse projekti arvestuslikku esialgset investeeringu maksumust, projekti eluiga ning aastaseid tulusid ja kulusid ning leitakse piirväärtused, mille korral NPV on 0. Allolevas tabelis 8.1 on välja toodud stsenaarium 1 vastavad tundlikkuse analüüsi tulemused.

**Tabel 8.1. Majanduslikud parameetrid koostootmisjaama investeeringu tundlikkuse hindamiseks stsenaarium 1 korral**

| Muutuja                      | Ühik   | Projekt   | Piirväärtus | Muutus +/- | Muutus % |
|------------------------------|--------|-----------|-------------|------------|----------|
| <b>Esialgne rahavoog (P)</b> | €      | 1 976 719 | 5 702 641   | 3 725 922  | 188,5%   |
| <b>Projekti eluiga (n)</b>   | aastat | 15        | 4,2         | -10,8      | -71,7%   |
| <b>Aastane tulu (B)</b>      | €      | 675 929   | 164 576     | -511 353   | -75,7%   |
| <b>Aastane kulu (C)</b>      | €      | 168 258   | 677 478     | 509 220    | 302,6%   |

Tabelis 8.1 on välja toodud piirväärtused nii sama ühikväärtusena, mis parameetrit parasjagu vaadeldi kui ka protsentuaane erinevus tegelikust väärtusest. Nagu tabelist avaldub, siis investeeringukulu ei ole tundlik väärtus. NPV on 0, kui projekti investeeringukulu koos pangalaenuga 4%-lise intressimäära juures on isegi umbes 3 korda suurem planeeritud kulust. Seega on projekti ehitusfaasis piisavalt ruumi, et ettenägematute kulude korral need katta ilma projekti tasuvust suuresti mõjutamata. Samuti on eespool seatud 4%-line intressimäär üsna kõrge ja pigem pessimistlik. Imselt on pangad taoliseid investeeringuid ka väiksema intressimääraga valmis toetama.

Projekti eluiga ei ole samuti tundlik. Piirväärtus on 4,2 aastat projekti 15-aastase eluea juures. See tähendab seda, et kui seadmetega peaks varem midagi juhtuma, kui 15 aasta möödudes ja hiljem kui peale 4,2 aastat pärast investeeringu tegemist, on projekt endiselt tasuv.

Aastase tulu väärtus on tabelisse lisatud 15 aasta keskmise väärtusena illustreerimaks aastast tulu, kuid piirväärtused on sellegipoolest leitud rahavoogude prognoosis leitud aastaste tulude põhjal. Sellest lähtuvalt võib aastane tulu varieeruda üsna suures ulatuses ning olla isegi 75,7 % väiksem prognoositud tulust, et projekt oma kuludega nulli saaks eluea möödudes. Seega ei ole aastane tulu samuti tundlik parameeter.

Aastase kulu väärtus tabelisse lisatud sama loogika alusel nagu ka tulu ehk 15 aasta keskmise väärtusena ja illustratiivselt. Tundlikkuse analüüsist selgub, et kui muude parameetrite samaks

jäämise juures kulud suurenevad isegi 4 korda, jäädakse tulude-kuludega projekti lõppedes endiselt nulli.

Seega võib antud sisepõlemismootoriga koostootmisjaama investeeringu ja rahavoogude arvutuste kokkuvõtteks öelda, et antud investeering ei ole tundlik ning isegi teatavate parameetrite muutudes on projekt endiselt tasuv.

## 8.2 Stsenaarium 2 tundlikkuse analüüs

Nagu eespool leitud, kujunes puhasnüüdisväärtuseks auruturbiiniga koostootmisjaama korral negatiivseks väärtuseg -723 189 €. Järgnevalt vaadeldakse projekti arvestuslikku esialgset investeeringu maksumust, projekti eluiga ning aastaseid tulusid ja kulusid ning leitakse piirväärtused, mille korral NPV on 0. Allolevas tabelis 8.2 on välja toodud stsenaarium 2 vastavad tundlikkuse analüüsi tulemused.

**Tabel 8.2. Majanduslikud parameetrid koostootmisjaama investeeringu tundlikkuse hindamiseks stsenaarium 2 korral**

| Muutuja                      | Ühik   | Projekt   | Piirväärtus | Muutus +/- | Muutus % |
|------------------------------|--------|-----------|-------------|------------|----------|
| <b>Esialgne rahavoog (P)</b> | €      | 1 303 185 | 1 636 996   | 333 811    | 25,6%    |
| <b>Projekti eluiga (n)</b>   | aastat | 15        | 11,3        | -3,7       | -24,7%   |
| <b>Aastane tulu (B)</b>      | €      | 52 873    | -94 239     | -147 112   | -278,2%  |
| <b>Aastane kulu (C)</b>      | €      | -96 699   | 52 995      | 149 694    | -154,8%  |

Nagu tabelist avaldub, siis investeeringukulu on antud juhul üsna tundlik väärtus. Antud juhul on NPV= 0, kui projekti investeeringukulu koos pangalaenuga 4%-lise intressimäära juures on vaid 25,6 % suurem planeeritud kulust. See aga tähendab seda, et projekti tuleb antud stsenaariumi korral väga hoolikalt planeerida ning võimaluse korral leida variante investeeringukulude optimeerimiseks, et antud teguri tundlikkust vähendada. Üjeks variandiks on rääkida pangaga läbi paremad laenutingimused, kuid teiselt poolt tuleks nii tarnijate kui ka ehitustööde teostajatega hinnad läbi rääkida, et investeeringu maksumust vähendada.

Samuti on üsna tundlik projekti eluiga, kuna NPV=0, kui projekti eluiga peaks 3,7 aasta võrra lühenema. See võib juhtuda siis, kui jaamal ilmnevad niisugused probleemid, mille vigu ei ole võimalik likvideerida.

Aastase tulu väärtus on tabelisse lisatud 15 aasta keskmise väärtusena illustreerimaks aastast tulu, kuid piirväärtused on sellegipoolest leitud rahavoogude prognoosis leitud aastaste tulude põhjal. Sellest lähtuvalt võib aastane tulu varieeruda üsna suures ulatuses ning olla isegi

peaaegu kolm korda väiksem prognoositud tulust, et projekt oma kuludega nulli saaks elua möödudes. See on tingitud tänu maagaasi kasutamisele, tänu millele energiakulud vähenevad. Seega ei ole aastane tulu antud juhul tundlik parameeter.

Aastase kulu väärtus tabelisse lisatud sama loogika alusel nagu ka tulu ehk 15 aasta keskmise väärtusena ja illustratiivselt. Tundlikkuse analüüsis selgub, et kui muude parameetrite samaks jäämise juures kulud suurenevad umbes 1,5 korda, jäädakse tulude-kuludega projekti lõppedes endiselt nulli.

Seega võib auruturbiintehnoloogial töötava koostootmisjaama investeeringu puhul antud juhul öelda, et tegemist on üsna tundlikku investeeringuga, kuna projekti maksumus ja projekti vaadeldav periood võivad kõikuda üsna väikestes vahemikes. Seega on oluline ehitustööde kulusid optimeerida, kuid samas teostada töö kvaliteetselt nii, et jaam töötaks edukalt vähemalt järgmise 15 aasta jooksul. Kulude optimeerimine ja parema kvaliteedi tagamine ei ole aga enamjaolt omavahel korrelatsioonis, vaid on pigem pöördvõrdelises seoses.

### 8.3 Stsenarium 3 tundlikkuse analüüs

Orgaanisel Rankine`ringprotsessil töötava koostootmisjateostatakse ka selle tehnoloogia jaoks tundlikkuse analüüs, kus vaadeldakse projekti arvestuslikku esialgset investeeringu maksumust, projekti eluiga ning aastaseid tulusid ja kulusid ning leitakse piirväärtused, mille korral NPV on 0. Allolevas tabelis 8.2 on välja toodud stsenaarium 2 vastavad tundlikkuse analüüsi tulemused.

**Tabel 8.3. Majanduslikud parameetrid koostootmisjaama investeeringu tundlikkuse hindamiseks stsenaarium 3 korral**

| Muutuja                      | Ühik   | Projekt   | Piirväärtus | Muutus +/- | Muutus % |
|------------------------------|--------|-----------|-------------|------------|----------|
| <b>Esialgne rahavoog (P)</b> | €      | 2 598 500 | 5 389 086   | 2 790 586  | 107,4%   |
| <b>Projekti eluiga (n)</b>   | aastat | 15        | 6,8         | -8,2       | -55,0%   |
| <b>Aastane tulu (B)</b>      | €      | 212 649   | -271 559    | -484 208   | 227,7%   |
| <b>Aastane kulu (C)</b>      | €      | -279 220  | 213 142     | 492 362    | 176,3%   |

Nagu tabelist avaldub, siis investeeringukulu selle stsenaariumi korral nii tundlik väärtus ei ole kui teise alternatiivi puhul, kuid siiski tundlikkum võrreldes gaasimootoriga

koostootmisjaamaga. Antud juhul on  $NPV = 0$ , kui projekti investeeringukulu koos pangalaenuga 4%-lise intressimäära juures on vaid kaks korda suurem planeeritud kulust. Kuna antud juhul on investeeringu maksumuse juures arvestatud Keskkonnainvesteeringute Keskuse toetusega poole projekti väärtuse osas, siis on väga kriitiline tagada selle saamine. Kui antud toetusega ei ole võimalik investeeringud finantseerida, siis sisuliselt ongi tulemuseks puhasnüüdisväärtuse võrdumine 0-ga. Seega antud parameetri tundlikkust saab maandada läbi veendumuse toetuse saamise osas.

Projekti eluiga ei ole niivõrd tundlik parameeter võrreldes eelmise olukorraga, kuid siiski üsna tundlik, kuna  $NPV=0$ , kui projekti eluiga peaks 8,1 aasta võrra lühenema. See võib ka antud juhul juhtuda näiteks siis, kui jaamal ilmnevad niisugused probleemid, mille vigu ei ole võimalik likvideerida.

Aastase tulu väärtus on tabelisse lisatud ka antud juhul 15 aasta keskmise väärtusena illustreerimaks aastast tulu, kuid piirväärtused on sellegipoolest leitud rahavoogude prognoosis leitud aastaste tulude põhjal. Sellest lähtuvalt võib aastane tulu varieeruda väga suures ulatuses ning olla isegi veidi enam kui 2 korda väiksem prognoositud tulust, et projekt oma kuludega nulli saaks eluea möödudes. See on tingitud tänu maagaasi kasutamisele, tänu millele energiakulud vähenevad. Seega ei ole aastane tulu antud juhul tundlik parameeter.

Aastase kulu väärtus tabelisse lisatud sama loogika alusel nagu ka tulu ehk 15 aasta keskmise väärtusena ja illustratiivselt. Tundlikkuse analüüsist selgub, et kui muude parameetrite samaks jäämise juures kulud suurenevad umbes peaaegu korda, jäädakse tulude-kuludega projekti lõppedes endiselt nulli.

Seega võib orgaanilisel Rankine`ringprotsessil töötava koostootmisjaama investeeringu puhul öelda, et tegemist ei ole tundlikku investeeringuga, kuna investeeringu maksumus ning aastased tulud ja kulud võivad kõikuda üsna märkimisväärses vahemikes. Kõige tundlikum parameeter on projekti eluiga.

Kokkuvõtteks on kõige vähem tundlikum investeering sisepõlemismootoriga koostootmisjaam, millele järgneb ORC tehnoloogial töötav jaam. Kõige tundlikum investeering on selgelt auruturbiintehnoloogial töötav koostootmisjaam.

## Lõputöö kokkuvõte

Käesoleva töö käigus uuriti erinevaid koostootmistehnoloogiasid ning nende majanduslikku tasuvust Keila Tööstuspargi näitel, kus täna on olemas raskel kütteõlil töötav katlamaja, kuid mis soovib üle minna soojus- ja elektrienergiaga koostootmisele. Vaadeldud koostootmise tehnoloogiateks olid sispõlemismootori, auruturbiini ning orgaanilise Rankine`ringprotsessi tehnoloogial töötavad koostootmisjaamad. Selle jaoks analüüsiti esmalt kogu tööstuspargi elektrienergia ja soojusenergia aastast tarbimist, mille andmed sisestati EnergyPRO programmi. Samuti lisati sisendparameetritena Harku tunnipõhine välisõhu temperatuur. Seda oli vaja teha selleks, et soojusenergia tarbimine välisõhu temperatuurist sõltuma panna ning seeläbi soojusenergia tunnipõhine tarbimisgraafik saada, sest tööstuspargi soojusenergia tarbimise kohta oli algandmetena teada vaid kuupõhised tarbimisandmed. Pärast tarbimise analüüsi sisestati EnergyPRO-sse erinevate koostootmisjaamade ning katelde võimsused ning jaamade poolt kasutatavad kütused. Seejuures valiti koostootmisjaamade ja katelde võimsused välja soojusenergia koormuskestvusgraafiku alusel ning eeldusel, et koostootmisjaamad katavad tööstuspargi soojuse baas- ja pooltipu koormuse töötades aastas vähemalt 5 000 töötundi ning katlad toodavad soojust pooltipu- ja tiputarbimise katmiseks. Samuti oli eelduseks, et koostootmisjaamad toodaksid võimalikult suure osa tööstuspargis tarbitavast elektrienergiast. Väljundparameetritena saadi katelde ning koostootmisagregaatide tunni-, kuu- ja aastapõhised soojus- ja elektrienergia toodangud.

Kokku kasutati kolme erinevat tehnoloogiat. Esimene valitud tehnoloogia, mille majanduslikku tasuvust analüüsiti, oli gaaskütusel töötav sispõlemismootoriga koostootmisjaam. Seejuures teostati simulatsioonid nii maagaasi kui ka LPG gaasi korral, kuna täna veel Keilas gaasitrassi ei ole, kuid see plaanitakse lähiaastatel sinna ja ka Keila Tööstusparki rajada. Antud tehnoloogia korral kujunes jaama soojuslikuks installeeritud võimsuseks 4,7 MW ning elektriliseks nimivõimsuseks 1,2 MW. Täiendavalt lisati simulatsiooni ka 0,7 MWh soojusliku mahutavusega soojussalvesti selleks, et tagada soojusenergia olemasolu olukordades, kus näiteks gaasikatla või koostootmisjaama miinimumkoormus on suurem kui soojusenergia tarbimine. Teise olukorrana vaadeldi lahendust, kus koostootmistehnoloogiana kasutati samuti nii maagaasil kui ka LPG gaasil töötavat, kuid auruturbiinitehnoloogial põhinevat koostootmisjaama koos gaasikatlaga. Antud juhul oli soojuslikuks nimivõimsuseks samuti 4,7 MW, kuid elektriliseks nimivõimsuseks vaid 0,094 MW. Antud juhul kasutati samuti täiendavalt ka soojussalvestit. Kolmanda alternatiivina vaadeldi orgaanilisel Rankine`ringprotsessil põhinevat koostootmisjaama tehnoloogiat koos tipukatla, kuid antud

juhul oli kütusena kasutusel puiduhake. Selle alternatiivi soojuslikuks nimivõimsuseks oli 3,85 MW ning elektriliseks nimivõimsuseks 0,6 MW. Soojussalvestina oli kasutusel sama mahuti nagu ka kahe esimese olukorra puhul.

Tehtud kolme stsenaariumi põhjal teostati töö järgmises etapis kõigi kolme tehnoloogia puhul investeeringumaksumuse ning hoolduskulude arvutused, tulude ja kulude analüüs, rahavoogude prognoos ning muude majanduslike parameetrite leidmine. Investeeringute lõpliku hinnangu andmiseks hinnati tasuvust ning majanduslikku otstarbekust tundlikkuse analüüsi abil leidmaks, kuidas muutub investeeringu tasuvus ühe või teise majandusliku parameetri muutudes. Majandusliku analüüsi käigus jõuti selgusele, kas ning mis tingimustel on koostootmisjaama rajamine Keila Tööstuspargi tingimustes majanduslikult mõistlik. Seejuures leiti majanduslikud parameetrid kõigi kolme stsenaariumi korras juhul, kui koostootmisjaama finantseering kaeti 4%-lise intressimääraga pangalaenuga.

Analüüside tulemusena selgus, et majanduslikult kõige tasuvam koostootmistehnoloogia vaadeldud tingimuste korral on sise põlemismootoriga koostootmisjaam. Samuti oli antud tehnoloogia ainus, kus kõik vaadeldud majanduslikud parameetrid näitasid, et investeering on tasuv. Vaadeldud 15-aastase perioodi jooksul tootis jaam kõige enam rahavoogusid, summaarselt 5 638 355 € ning tema tasuvusaeg oli kõige parem olles 3,85 aastat. Puhasnüüdisväärtus oli jaama 1 965 922 ning tasuvusnäitaja 2,0 ehk kõikide vaadeldud parameetrite põhjal on investeering kindlasti majanduslikult tasuv. Antud lahendust annab majanduslikult veelgi tasuvamaks muuta, kui kasutada alternatiivset sise põlemismootoriga koostootmisagregaat. Alternatiivsele tootjale saadi ka töö käigus hinnapakkumine, mis oli parem vaadeldud 2G koostootmisjaamast, kuid kuna pakkumine saadi kätte liiga hilja, siis seda lahendust töös ei käsitletud. Alternatiivsel lahendusel on ka jaama elektriline kasutegur kõrgem, mis tähendab, et ta tagab veidi suurema elektrienergia toodangu, mis omakorda tähendab samuti kokkuvõttes paremat majanduslikku tasuvust.

Vaatamata sellele, et auruturbiiniga ja orgaanilise Rankine`ringprotsessiga koostootmisjaamad ei olnud teostatud majandusliku analüüsi põhjal tasuvad, suudaksid nad sellegipoolest jaama omanikule 15-aastase perioodi jooksul toota märkimisväärtes kogustes positiivseid rahavoogusid. Seega, kui jätta kõrvale puhasnüüdisväärtuse ja tasuvusnäitaja, siis on auruturbiiniga koostootmisjaama tasuvusaeg 9,29 aastat ja kumulatiivne puhasrahavoog 940 391 eurot 1 303 185 eurose investeeringumaksumuse juures. ORC tehnoloogial põhineva koostootmisjaama puhul on tasuvusajaks 6,76 aastat ning kumulatiivne puhasrahavoog 4 268 775 eurot 3 109 269 eurose investeeringumaksumuse juures.

Tehnilisest aspektist vaadatuna on samuti kõige parem lahendus alternatiiv 1. Põhjus on selles, et jaama on juba tunduvalt kergem katlamajja vanade kütteõlikatelde asemele installeerida, kuna tegemist on moodullahendusega ning terve koostootmisagregaat sisaldab kõiki vajalikke komponente, et jaam saaks töötada. Tarvilik on vaid ühendada jaam gaasi-, kütte- ja elektrisüsteemiga ning jaam ära seadistada. Samuti on gaasimootoriga koostootmisjaamal suurem väljundvõimsus võrreldes teiste tehnoloogiatega, mis tähendab, et tööstuspark saab ise tunduvalt suurema koguse elektrienergiat ise toota. Puuduseks võib lugeda jaama väikse koormusdiapasooni võrreldes näiteks ORC tehnoloogiaga. Sisepõlemismootoriga koostootmisjaama on võimalik koormata alates 50 %-lisest nimivõimsusest. Samuti tähendab väike jaama reguleerimisvahemik seda, et jaama tuleb tihedamini sisse ja välja lülitada ning samuti saab seeläbi enam koormatud soojussalvesti. Pidev lülitamine aga koormab mootorit ning võib lühendada selle eluiga.

Seega võib käesoleva töö põhjal öelda, et lokaalse koostootmisjaama rajamine on nii tehnilisest kui ka majanduslikust aspektist vaadatuna kõige mõttekam juhul, kui kasutatakse sisepõlemismootoriga koostootmisjaama. See tagab kõige madalamad investeeringukulud, majandusliku tasuvuse ning kõige efektiivsema koostootmisjaamade kasutuse juhul, kui Keilasse rajatakse gaasitrass. Kui siiski otsustatakse, et gaasitrassi Keilasse ei rajata, pikeneb tasuvus aeg 3,91 aastani, mis ei ole suur mõju. Kuid kumulatiivne puhasrahavoog vaadeldud 15-aastase perioodi jooksul vähenes umbes poole miljoni euro võrra olles summaarselt 5 127 790 €.

Kuna töös kasutati 4%-list pangalaenu intressimäära ja näiteks elektrienergia koguhinna igaaastase hinnatõusuga ei arvestatud, võib teostatud majanduslikku analüüsi pigem pessimistlikuks lugeda. Samuti oli maagaasi ja LPG gaasi hinnatõusuks võetud 2 % aastas, mis aga praegust maailmaturu olukorda arvestades võiks olla liiga suur tõus ning pigem võiks maagaasi hind järgmise 3 aasta jooksul olla stabiilne. Kuigi investeringu mõttes esimese kolme aasta jooksul kasutatakse maagaasi asemel LPG-d, on ka LPG hinnad sõltuvuses maagaasi- ja nafta maailmaturu hindadest, mis tähendab, et ka LPG hinnad peaksid üsna madalad ja stabiilsed olema. Sama kallinemise koefitsient 2% oli arvesse võetud ka puiduhakke korral, mis on samuti pigem pessimistlik stsenaarium.

Tundlikkuse analüüsi puhul on vaadeldud vaid ühe parameetri muutumist teiste parameetrite samaks jäämisel, kuid reaalsus ei ole üldjuhul niivõrd lineaarne ning pigem muutub mitu parameetrit korraga: ühe parameetri muutumisel võib ka teine parameeter kas paremaks või halvemaks minna ning sel juhul võib olla mõju hoopis suurem. Kuid sellegipoolest annab



tundlikkuse analüüs hea indikatsiooni ning võimaldab hinnata investeerimisega kaasnevaid ohte ja potentsiaalseid riske.

Tehnilisest aspektist vaadatuna tasub kindlasti kaaluda alternatiivse pakkuja sise põlemismootoriga lahendust, kuna antud lahendus oli pakutud kahe väiksema koostootmisagregaadiga, mis ühtlasi tagab ka koostootmisjaama n-1 kriteeriumi: kui ühe jaamaga peaks midagi juhtuma või ta on parasjagu hoolduses, suudab teine jaam endiselt töötada. Samuti tagab mitu jaama parema süsteemi paindlikkuse (koormusdiapasoon ei ole mitte 50-100%, vaid 25-100%) ning seeläbi ka suurema töötundide arvu aastas, mis omakorda võiks majanduslikku tasuvust veelgi paremaks muuta.

Kuigi töö käigus ei ole arvesse võetud üsna mitmeid asjaolusid, mis võivad mõjutada koostootmisjaama rajamise investeeringuid, aastaseid tulusid ja kulusid ning seega ka tasuvusnäitajaid, mille põhjal hiljem projekti hinnata, võib siiski öelda, et teostatud on üsna põhjalikud analüüsid ning nende põhjal võib teha järeldusi lokaalse koostootmisjaama rajamise tasuvuse ja majandusliku otstarbekuse kohta nii Keila Tööstuspargi kontekstis kui ka suures plaanis. Asjaolud, mida arvesse ei ole võetud, ei mõjuta koostootmisjaama rajamise investeeringukulud ja rahavoogusid märkimisväärselt ning pigem muudavad investeeringut veelgi tasuvamaks.

Tööst selgus, et lokaalse koostootmisjaama rajamine on nii tehniliselt rakendatav kui ka majanduslikult mõistlik. Lisaks otseselt jaama omaniku poolt saadavale kasule suudetakse läbi lokaalse koostootmise saavutada primaarenergia sääst läbi efektiivse ja kõrge kasuteguriga tootmise ning ühtlasi vähendada keskkonda saastavaid heitmeid, kuna gaas on puhas ja põleb energiatootmisel praktiliselt täielikult ära. Sellest lähtuvalt tagatakse ka üleüldine ühiskondlik kasu. Eestis on ka mitmeid teisi sarnaseid tootmispiirkondi ja tööstusparke, kuhu lokaalsete koostootmisjaamade rajamine on mõistlik ja majanduslikult tasuv. Seega peaksid tööstusparkide omanikud ja haldajad kindlasti analüüsima soojus- ja elektrienergia koostootmise majanduslikku tasuvust enda kontekstis ning võimalusel investeerima ning seeläbi olemasolevad soojusenergia tootmiseseadmed asendama sise põlemismootori tehnoloogial töötavate soojus- ja elektrienergia koostootmisjaamadega. See tagab energiakulude optimeerimise ning parandab ettevõtte majanduslikku käekäiku.

## Kasutatud kirjandus

- [1] „Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mkm.ee/sites/default/files/elfinder/article\\_files/energiamajanduse\\_arengukava\\_2020.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/energiamajanduse_arengukava_2020.pdf).
- [2] „EL-i kliima- ja energiapoliitika raamistik aastani 2030,“ Energiatalgud, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Energiatalgud.ee:\\_EL-i\\_kliima-\\_ja\\_energiapoliitika\\_raamistik\\_aastani\\_2030](http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Energiatalgud.ee:_EL-i_kliima-_ja_energiapoliitika_raamistik_aastani_2030).
- [3] A. Paist, CHP võimalikkus eramute energiabilansis, mikro- ja väikekoostootmine, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Soojustehnika Instituut, 2013.
- [4] R. Truuts, „Koostootmine kui energiasäästuvõimalus,“ *Eesti Statistika kvartalikirj*, pp. 24-37, 2009.
- [5] A. Kuhi-Thalfeldt, Elektrienergia Hajatootmine, TTÜ Elektrienergeetika Instituut, 2015.
- [6] „EESTI ELEKTRISÜSTEEMI TARBIMISNÕUDLUSE RAHULDAMISEKS VAJALIKU TOOTMISVARU HINNANG,“ Elering, Tallinn, 2015.
- [7] E. OÜ, „Sõpruse Ärimaja 55 kW koostootmisjaam,“ Energiaproff OÜ, Tallinn, 2016.
- [8] „Harju Elekter,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.harjuelekter.ee/et/content/keila-toostuspark-0>.
- [9] „HarjuKEKi koduleht,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.harjukek.ee/et/about-harju-kek/>.
- [10] „HarjuKEK,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.harjukek.ee/et/projekt/keila/uldinfo/>.
- [11] A. ENTEK, „AS Entek majandusaasta aruanne,“ 2015.

- [12] R. Reinola, Interviewee, *Soojusenergia tarbimine ja kulu Keila Tööstuspargis*. [Intervjuu]. 5 märts 2016.
- [13] P. Salu, Interviewee, *Enteki elektrienergia tarbimine ja kulud*. [Intervjuu]. 10 märts 2016.
- [14] Energiatalgud, „Võrgukaod: Kaugküte,“ Energiatalgud, 2016. [Võrgumaterjal]. Available:  
[http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=V%C3%B5rgukaod:\\_kaugk%C3%BCte](http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=V%C3%B5rgukaod:_kaugk%C3%BCte)  
.
- [15] T. Tehnikaülikool, *Raske Kütteõli*, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika Instituut.
- [16] A. Entek, „Võrguteenuse hinnakiri,“ AS Entek, Keila, 2013.
- [17] S. Instituut, *Elektri ja soojuse koostootmine*, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Mehaanikateaduskond.
- [18] „Koostootmine,“ Eesti Energia, 2016. [Võrgumaterjal]. Available:  
<https://www.energia.ee/koostootmine>.
- [19] T. Kemp, Interviewee, *Sokrathermi koostootmisjaamad*. [Intervjuu]. Aprill 2016.
- [20] Energiatalgud, „Soojuse ja elektri koostootmine,“ Energiatalgud, 2016. [Võrgumaterjal]. Available:  
[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1h4ORFd14pWaV\\_urrKD1n1b-tvDkH8Tkj-AmLgpPp8EQ/edit#gid=1](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1h4ORFd14pWaV_urrKD1n1b-tvDkH8Tkj-AmLgpPp8EQ/edit#gid=1).
- [21] „2G,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.2-g.com/en/avus-500-to-4000-kw/>.
- [22] „MWM,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/about-mwm/>.
- [23] „TEDOM,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://cogeneration.tedom.com/tedom-cogeneration-units-natural-gas.html>.
- [24] „TEDOM Homepage,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available:  
<http://cogeneration.tedom.com/>.

- [25] SOKRATHERM, „Sokratherm homepage,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.sokratherm.de/htcms/en/our-compact-chp-units-1.html>.
- [26] E. Risthein, Sissejuhatus energiatehnikasse, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli elektri- ja jõe- ja elektroonika instituut, 2007.
- [27] Energiatalgud, „Soojusjõuseadmed,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusj%C3%B5useadmed#Auruj.C3.B5useadmete\\_eelised\\_ja\\_puudused](http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Soojusj%C3%B5useadmed#Auruj.C3.B5useadmete_eelised_ja_puudused).
- [28] A. Paist, „CHP võimalikkus eramute energiabilansis, mikro ja väike koostootmine,“ Tallinn, Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika Instituut, 2012.
- [29] „Auruturbiin,“ Taskutark, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taskutark.ee/m/auruturbiin/?auth=dGFza3V0YXJr>.
- [30] S. Path, „Elliott Turbine Generator with Switch Gear,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.steampath.ca/?p=81>.
- [31] A. Siirde, „Orgaanilise Rankine`ringprotsessiga tehnoloogia“.
- [32] A. Duvia, A. Guercio ja C. R. d. Schio\*, „Technical and economic aspects of Biomass fuelled CHP plants based on,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.turboden.eu/en/public/downloads/09A06400\\_paper\\_orc\\_turboden\\_clotilde.pdf](http://www.turboden.eu/en/public/downloads/09A06400_paper_orc_turboden_clotilde.pdf).
- [33] J. Larjola, „BACKGROUND AND SUMMARY OF COMMERCIAL ORC DEVELOPMENT AND EXPLOITATION“.
- [34] J. Worth, „micro- Cooling, Heating, and Power (m-CHP) Instructional Module,“ Mississippi State University, Mississippi State, 2005.
- [35] Keskkonnaagentuur (KAUR), 2014.
- [36] K. Kopelman, „Lokaalse elektri- ja soojusenergia koostootmise majanduslik analüüs tootmishoone näitel,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2014.
- [37] A. Entek, „Leping soojusenergia müügiks sooja veega,“ 6 Detsember 2011. [Võrgumaterjal].

- [38] „M series boilers with “volcanic” fuel supply,“ Kalvis, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.kalvis.lt/produktai/m-serijos-katilai?\\_\\_store=en&\\_\\_from\\_store=ua](http://www.kalvis.lt/produktai/m-serijos-katilai?__store=en&__from_store=ua).
- [39] „VITOMAX 100-LW,“ Viessmann, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.viessmann.ee/et/ettevotted/kuumaveekatlad/madalrohukuumaveekatlad/vitomax-100-lw-m148-systempaket.html>.
- [40] R. K.-. E. Gaas, Interviewee, *Maagaas*. [Intervjuu]. Aprill 2016.
- [41] S. Energia, „Puiduhakke müük ja puidu hakkimine,“ SW Energia, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.swenergia.ee/49-tegevusalad-kutuste-muuk-hakkepuidu-muuk.html>.
- [42] S. Tabo, „Vedelgaasi hinnapakumine,“ Vedelgaas OÜ, 2016.
- [43] S. Tenno, „Hinnapakumine,“ ICP Solutions OÜ, Tallinn, 2016.
- [44] „Hinnapakumine,“ Napal Service OÜ, 2016, 2016.
- [45] „Hinnapakumine,“ Energiaproff OÜ, Tallinn, 2016.
- [46] „Sales Quotation,“ Siemens, Frankenthal, 2016.
- [47] I. R. E. Agency, „Thermal Energy Storage,“ January 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E17%20Thermal%20Energy%20Storage.pdf>.
- [48] N. Timm, „Sales Quotation,“ INTEC GMK GmbH, Bargeshagen, 2016.
- [49] O. Aleksejeva, Interviewee, *Nordea laenunõustamine*. [Intervjuu]. märts 2016.
- [50] J. Valtin, *Energiasüsteemide Ökonoomika- loengukonspekt*, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Elektroenergeetika Instituut, 2013.
- [51] K. Keskus, „KESKKONNAPROGRAMMI FINANTSEERIMISE KORD,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kik.ee/et/taotlejale/keskkonnaprogramm/oigusraamid/keskkonnaprogrammi-finantseerimise-kord>.

- [52] E. Gaas, „MAAGAASI HIND ALATES 01.03.2016,“ Eesti Gaas, 1 märts 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.gaas.ee/maagaasi-hind-alates-01-03-2016/>.
- [53] E. AS, „Torustiku paiknemise teemaplaneering,“ Elering AS, 2016.
- [54] L. Vilkriste, „PUIDUENERGIA VÄLJAANNE METSAOMANIKELE,“ Eesti Maaülikooli Tehnikainsituut, Tartu, 2012.
- [55] Elering, „Taastuenergia toetus,“ Elering, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/taastuenergia-toetus/>.
- [56] R. Teataja, „Elektrituruseadus,“ 11 veebruar 2003. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/ELTS>.
- [57] R. Teataja, „Riigilõivuseadus,“ 10 12 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130122014001>.
- [58] M.-. j. Tolliamet, „Maagaasiaktsiis,“ Maksu- ja Tolliamet, 1 juuli 2008. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.emta.ee/et/ariklient/aktsiisid-varahasartmang/kutus-ja-elektrienergia/maagaasiaktsiis>.
- [59] J. Valtin, Energiasüsteemide ökonomika- loengukonspekt, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Elektroenergeetika Instituut, 2013.
- [60] A. Hein, „Maagaasil mini koostootmise rajamise võimalusest,“ AS Eesti Gaas, Tallinn.
- [61] R. Kuhi-Thalfeldt, Hajaenergeetika investeringute hindamine- projekt, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Elektroenergeetika Instituut, 2014.

# Lisad

Lisa 1. Koostootmisjaama iga-aastased rahavood sise põlemismootoriga koostootmisjaama (Stsenaarium 1) korral.

| Aastad   | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6                | 7                | 8                | 9                | 10               | 11               | 12               | 13               | 14               | 15               |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Rahavood, €</b>   | <b>2 015</b>   | <b>2 017</b>   | <b>2 018</b>   | <b>2 019</b>   | <b>2 020</b>   | <b>2 021</b>     | <b>2 022</b>     | <b>2 023</b>     | <b>2 024</b>     | <b>2 025</b>     | <b>2 026</b>     | <b>2 027</b>     | <b>2 028</b>     | <b>2 029</b>     | <b>2 030</b>     |
| <b>Tulud</b>   | <b>649 656</b> | <b>658 209</b> | <b>666 933</b> | <b>675 832</b> | <b>684 908</b> | <b>694 166</b>   | <b>703 609</b>   | <b>713 241</b>   | <b>723 066</b>   | <b>733 087</b>   | <b>743 308</b>   | <b>753 734</b>   | <b>568 810</b>   | <b>579 657</b>   | <b>590 721</b>   |
| Kokkuhoid elektri tootmisest (ilma töhusa koostootmise toetuseta)        | 427 601        | 436 153        | 444 876        | 453 773        | 462 849        | 472 106          | 481 548          | 491 179          | 501 002          | 511 022          | 521 243          | 531 668          | 542 301          | 553 147          | 564 210          |
| Elektrienergia müük (€)  | 8 006          | 8 006          | 8 006          | 8 006          | 8 006          | 8 006            | 8 006            | 8 006            | 8 006            | 8 006            | 8 006            | 8 006            | 8 006            | 8 006            | 8 006            |
| Maa-gaasi maksuvabastus osalt, mida kasutati elektri tootmiseks          | 18 491         | 18 492         | 18 493         | 18 494         | 18 495         | 18 496           | 18 497           | 18 498           | 18 499           | 18 500           | 18 502           | 18 503           | 18 504           | 18 505           | 18 506           |
| Töhusa koostootmise toetus   | 195 558        | 195 558        | 195 558        | 195 558        | 195 558        | 195 558          | 195 558          | 195 558          | 195 558          | 195 558          | 195 558          | 195 558          | 0                | 0                | 0                |
| <b>Kulud</b>   | <b>116 432</b> | <b>168 587</b> | <b>175 997</b> | <b>133 960</b> | <b>139 880</b> | <b>146 065</b>   | <b>152 526</b>   | <b>159 277</b>   | <b>166 330</b>   | <b>173 698</b>   | <b>181 397</b>   | <b>189 441</b>   | <b>197 845</b>   | <b>206 627</b>   | <b>215 803</b>   |
| - Kütusekulude suurendamine/vähendamise<br>gaasikütuse kasutamise korral | 102 032        | 106 154        | 110 443        | 81 003         | 84 276         | 87 680           | 91 223           | 94 908           | 98 742           | 102 732          | 106 882          | 111 200          | 115 692          | 120 366          | 125 229          |
| - Seadme hoolduskulud  | 14 400         | 62 433         | 65 555         | 52 956         | 55 604         | 58 384           | 61 304           | 64 369           | 67 587           | 70 967           | 74 515           | 78 241           | 82 153           | 86 260           | 90 573           |
| Laenu tagasimakse  | 395 344        | 395 344        | 395 344        | 395 344        | 395 344        |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| <b>CHP-st tulenev kokkuhoid</b>  | <b>137 880</b> | <b>94 278</b>  | <b>95 592</b>  | <b>146 528</b> | <b>149 684</b> | <b>548 101</b>   | <b>551 083</b>   | <b>553 964</b>   | <b>556 736</b>   | <b>559 389</b>   | <b>561 911</b>   | <b>564 293</b>   | <b>370 965</b>   | <b>373 030</b>   | <b>374 919</b>   |
| <b>Kumulatiivne kokkuhoid</b>  | <b>137 880</b> | <b>232 159</b> | <b>327 751</b> | <b>474 279</b> | <b>623 963</b> | <b>1 172 065</b> | <b>1 723 147</b> | <b>2 277 112</b> | <b>2 833 848</b> | <b>3 393 236</b> | <b>3 955 148</b> | <b>4 519 441</b> | <b>4 890 406</b> | <b>5 263 437</b> | <b>5 638 355</b> |

Lisa 2. Koostootmisjaama iga-aastased rahavood auruturbiiniga koostootmisjaama (Stsenaarium 2) korral.

| Aastad   | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10              | 11              | 12              | 13              | 14              | 15              |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Rahavood, €</b>   | <b>2 015</b>   | <b>2 017</b>   | <b>2 018</b>   | <b>2 019</b>   | <b>2 020</b>   | <b>2 021</b>   | <b>2 022</b>   | <b>2 023</b>   | <b>2 024</b>   | <b>2 025</b>    | <b>2 026</b>    | <b>2 027</b>    | <b>2 028</b>    | <b>2 029</b>    | <b>2 030</b>    |
| <b>Tulud</b>   | <b>50 786</b>  | <b>51 464</b>  | <b>52 156</b>  | <b>52 861</b>  | <b>53 580</b>  | <b>54 314</b>  | <b>55 062</b>  | <b>55 826</b>  | <b>56 604</b>  | <b>57 398</b>   | <b>58 208</b>   | <b>59 035</b>   | <b>44 399</b>   | <b>45 258</b>   | <b>46 135</b>   |
| Kokkuvõetud elektritootmisest (ilma töhüsa koostootmise toetuseta) | 33 844         | 34 521         | 35 212         | 35 916         | 36 634         | 37 367         | 38 114         | 38 877         | 39 654         | 40 447          | 41 256          | 42 081          | 42 923          | 43 781          | 44 657          |
| Elektrienergia müük (€)  | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               |
| Maagaasi maksvõlvastus osalt, mida kasutati elektritootmiseks      | 1 464          | 1 465          | 1 466          | 1 467          | 1 468          | 1 469          | 1 470          | 1 471          | 1 472          | 1 473           | 1 474           | 1 475           | 1 476           | 1 477           | 1 478           |
| Töhüsa koostootmise toetus   | 15 478         | 15 478         | 15 478         | 15 478         | 15 478         | 15 478         | 15 478         | 15 478         | 15 478         | 15 478          | 15 478          | 15 478          | 15 478          | 15 478          | 15 478          |
| <b>Kulud</b>   | <b>-81 983</b> | <b>-75 295</b> | <b>-78 241</b> | <b>-81 301</b> | <b>-84 479</b> | <b>-87 781</b> | <b>-91 211</b> | <b>-94 773</b> | <b>-98 474</b> | <b>-102 317</b> | <b>-106 309</b> | <b>-110 455</b> | <b>-114 761</b> | <b>-119 233</b> | <b>-123 877</b> |
| - Kütuse kulu suurenenne CHP-gaasikatel maagaasi korral            | -81 983        | -85 295        | -88 741        | -92 326        | -96 056        | -99 936        | -103 974       | -108 174       | -112 545       | -117 091        | -121 822        | -126 743        | -131 864        | -137 191        | -142 734        |
| - Seadme hoolduskulud maagaasi korral                              |                | 10 000         | 10 500         | 11 025         | 11 576         | 12 155         | 12 763         | 13 401         | 14 071         | 14 775          | 15 513          | 16 289          | 17 103          | 17 959          | 18 856          |
| Laenu tagasimakse  | 130 319        | 130 319        | 130 319        | 130 319        | 130 319        | 130 319        | 130 319        | 130 319        | 130 319        | 130 319         | 130 319         | 130 319         | 130 319         | 130 319         | 130 319         |
| CHP-st tulenev kokkuvõetud   | 2 451          | -3 559         | 78             | 3 843          | 7 741          | 11 777         | 15 955         | 20 281         | 24 759         | 29 397          | 164 517         | 169 489         | 159 159         | 164 491         | 170 012         |
| <b>Kumulatiivne kokkuvõetud</b>                                    | <b>2 451</b>   | <b>-1 109</b>  | <b>-1 031</b>  | <b>2 812</b>   | <b>10 554</b>  | <b>22 331</b>  | <b>38 286</b>  | <b>58 566</b>  | <b>83 326</b>  | <b>112 723</b>  | <b>277 240</b>  | <b>446 729</b>  | <b>605 888</b>  | <b>770 379</b>  | <b>940 391</b>  |



Lisa 3. Koostootmisjaama iga-aastased rahavood orgaanilise Rankine`ringprotsessil põhineva koostootmisjaama (Stsenaarium 3) korral.

| Ausand  | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               | 6               | 7               | 8               | 9               | 10              | 11              | 12              | 13              | 14              | 15              |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Rahavood, €</b>  | <b>2 015</b>    | <b>2 017</b>    | <b>2 018</b>    | <b>2 019</b>    | <b>2 020</b>    | <b>2 021</b>    | <b>2 022</b>    | <b>2 023</b>    | <b>2 024</b>    | <b>2 025</b>    | <b>2 026</b>    | <b>2 027</b>    | <b>2 028</b>    | <b>2 029</b>    | <b>2 030</b>    |
| <b>Tulud</b>  | <b>204 280</b>  | <b>207 004</b>  | <b>209 782</b>  | <b>212 615</b>  | <b>215 506</b>  | <b>218 454</b>  | <b>221 461</b>  | <b>224 528</b>  | <b>227 657</b>  | <b>230 848</b>  | <b>234 103</b>  | <b>237 422</b>  | <b>178 550</b>  | <b>182 004</b>  | <b>185 527</b>  |
| Kokkuvõetud elektritootmisest (hlm tõhusa koostootmise toetusena) | 136 134         | 138 856         | 141 633         | 144 466         | 147 355         | 150 303         | 153 309         | 156 375         | 159 502         | 162 692         | 165 946         | 169 265         | 172 650         | 176 103         | 179 625         |
| Elektrienergia müük (€)   | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               |
| Maa gaasi maksuvabastus osalt, mida kasutatakse elektritootmiseks | 5 887           | 5 889           | 5 889           | 5 890           | 5 891           | 5 892           | 5 893           | 5 894           | 5 895           | 5 896           | 5 897           | 5 898           | 5 899           | 5 900           | 5 901           |
| Tõhusa koostootmise toetus  | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          | 62 259          |
| <b>Kulud</b>  | <b>-218 306</b> | <b>-217 126</b> | <b>-225 802</b> | <b>-234 823</b> | <b>-244 204</b> | <b>-253 959</b> | <b>-264 102</b> | <b>-274 650</b> | <b>-285 617</b> | <b>-297 021</b> | <b>-308 878</b> | <b>-321 208</b> | <b>-334 029</b> | <b>-347 359</b> | <b>-361 220</b> |
| - Kütuse kulu suurenenne CHP-gaasikatel maagaasi korral           | -218 306        | -227 126        | -236 302        | -245 848        | -255 781        | -266 114        | -276 865        | -288 051        | -299 688        | -311 795        | -324 392        | -337 497        | -351 132        | -365 318        | -380 077        |
| - Seadme hoolduskulud   | 10 000          | 10 000          | 10 500          | 11 025          | 11 576          | 12 155          | 12 763          | 13 401          | 14 071          | 14 775          | 15 513          | 16 289          | 17 103          | 17 959          | 18 856          |
| Laenu tagasimakse   | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         | 432 935         |
| CHP-st tulenev kokkuvõide   | -10 349         | -8 806          | 2 648           | 14 504          | 26 775          | 39 478          | 52 628          | 66 283          | 80 478          | 95 288          | 110 701         | 127 631         | 145 981         | 165 841         | 187 297         |
| <b>Kumulatiivne kokkuvõide</b>                                    | <b>-10 349</b>  | <b>-19 154</b>  | <b>-16 506</b>  | <b>-2 002</b>   | <b>24 773</b>   | <b>64 251</b>   | <b>116 879</b>  | <b>161 057</b>  | <b>209 330</b>  | <b>261 618</b>  | <b>317 731</b>  | <b>377 996</b>  | <b>442 519</b>  | <b>512 660</b>  | <b>589 957</b>  |