

TalTech Energiatehnoloogia instituut

**BIOKÜTUSTE KASUTAMISE KASVU VÕIMALUSED
KAUGKÜTTES**

**POSSIBILITIES TO INCREASE BIOMASS USAGE IN
DISTRICT HEATING**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Anna Mikityuk

Üliõpilaskood 183270MASM

Juhendaja: Eduard Latõšov, dotsent

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Anna Mikityuk, 183270MASM
Õppekava, peeriala: MASM, Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika
Juhendaja(d): Eduard Latõšov, dotsent, 53359298
Konsultant:

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Biokütuste kasutamise kasvu võimalused kaugküttes

(inglise keeles) Possibilities to Increase Biomass Usage in District Heating

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida Eesti metsasektor ning hakkpuidu kasutamise võimalused.
2. Välja töötada metoodikat, mis aitaks saavutada lõputöö eesmärki.
3. Viia läbi arvutused.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Uurida olemasolevate hakkpuite kasutamise võimalused ning kaardistada hakkpuidu kasutamise tõusu potentsiaaliga asukohad.	15.09. 2019
2.	Viia läbi arvutusi hakkepuidu osakaalu suurendamise otstarbekuse hindamiseks.	01.10. 2019
3.	Lua metoodikat ja koostada metoodilise lähenemise skeemi.	01.11. 2019
4.	Viia läbi soojuse toodangu arvutused	23.11. 2019
5.	Kirjeldada tehnilised ja majanduslikud näitajad.	01.01. 2020
6.	Teha tehnilis-majanduslikud arvutused	15.02. 2020
7.	Koostada tundlikkuse ja tulemuste analüüs	17.04. 2020
8.	Lõputöö vormistamine	15.05. 2020

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "27"mai 2020a

Üliõpilane: ".....".....202....a

/allkiri/

Juhendaja: /allkiri/ ".....".....202...a

Konsultant: /allkiri/ ".....".....202...a

Programmijuht: /allkiri/ ".....".....202...a

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	8
SISSEJUHATUS	9
1. ÜLEVAADE HAKKPUIDU KASUTAMISEST ENERGEETIKAS	11
1.1 Metsastatistika	11
1.2 Metsa raiemahu statistika.....	12
1.3 Raiemahu prognoosid ja eeldatud biomassi kasutus soojuse tootmiseks	13
2. HAKKEPUIDU KASUTAMISE TÕUSU POTENTIAAL.....	14
2.1 Potentsiaalsed asukohad	14
2.1 Tippkoormuse katmine	17
2.2 Potentsiaalne kogus.....	17
3. METOODIKA KIRJELDUS.....	19
4. SOOJUSE TOODANGU ARVUTUSED	21
4.1 Baastemperatuur	21
4.2 Kraadpäevad	21
4.3 Välisõhutemperatuuri andmed	22
4.4 Soojuse tootmine ja tarbimine	23
4.4.1 Soe tarbevesi.....	23
4.4.2 Soojuskaod	23
4.5 Soojuskoormuse kestusgraafikud	24
4.6 Olemasoleva biokütuste katla toodang	26
5. KATELDE TEHNILISED NÄITAJAD.....	29
5.1 Katla kasutegur	29
5.2 Tehniline eluiga	29
6. MAJANDUSLIKUD NÄITAJAD	30
6.1 Investeering.....	30
6.2 Kütuse maksumus	31
6.3 Kapitalikulu arvutamine	32
6.4 Käidukulud.....	33
6.5 Kütusekulu	33
6.6 Katlaga toodetud soojusehind	33
6.7 Referentshind	34

7. TEHNILIS-MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED	35
7.1 Sisendandmed arvutamiseks	35
7.2 Baasalternatiivi arvutustulemused	35
8. TUNDLIKKUSE ANALÜÜS	38
9. TULEMUSTE ANALÜÜS JA DISKUSSIOON	42
KOKKUVÕTE	44
SUMMARY	46
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	48
LISAD	52
Lisa 1. Soojuskoormuse kestusgraafikute koostamiseks andmed	52
Lisa 2. Biokütuste katla poolt toodetud energia graafiku andmed	55

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema meeldis autorile, kuna see on seotud taastuenergiaallikatega, ning lahendab aktuaalset probleemi meie riigis. Autor avaldab suur tänu oma juhendajale Eduardi Latõšovile, kes on Energiatehnoloogia Instituudi dotsent ja kes väga aitas lõputöö kirjutamisel ja andis häid nõuandeid töö teostamisel.

SISSEJUHATUS

Tänapäeval Eestis kasutatakse palju biomassi kaugküttes ja protsentuaalselt selle kasutamine kasvab iga päev. See on aga väga hea näitaja Eesti jaoks, sest kasutatakse vähem fossiilkütuseid ning CO₂ gaasi heidised on vähem. Sellest järgneb see et kütuse hinnad on stabiilsem ja madalamad.

Selles magistritöö uuringus autor tahab hinnata biomassi kasutamise kasvu võimalused kaugküttes ning vaadata kas on selleks võimalused.

Kui vaadata soojusmajanduse arengukavad siis paljud suured piirkonnad on juba biomassile üle läinud. Aga probleem on selles et mõnedel kohtadel terve soojus toodetakse biomassil aga paljudel kohtadel kasutatakse seda ainult baaskoormusel.

Sellest tuleb magistritöö peaesmärk: uurida võimalused ja tingimused millede korral on otstarbekas teha katla üleminek 100% biomassile sellistes piirkondades, kus seda tehakse ainult osaliselt.

Magistritöö alameesmärgid:

- Olemasolevate hakkpuite kasutamise ülevaade ja analüüs.
- Kaardistada hakkepuidu kasutamise tõusu potentsiaaliga asukohad.
- Viia läbi arvutusi hakkepuidu osakaalu suurendamise otstarbekuse hindamiseks.
- Koostada metoodilise lähenemise skeemi ning kirjeldada metoodikat, mis aitaks aru saada kas on otstarbekas lisa biomassil töötava katla paigaldamine.
- Viia läbi soojuse toodangu arvutused, ning analüüsida olemasoleva biokütuste katelde toodang.
- Kirjeldada katelde tehnilised ning majanduslikud näitajad, ning teha tehnilis-majanduslikud arvutused.
- Koostada tundlikkuse ja tulemuste analüüs.

Lõputöö koosneb kümnest peatükist. Esimesed kaks peatükki sisaldavad endas informatsiooni kuidas hakkpuidu kasutatakse Eestis, kuidas suurendada hakkepuidu kasutamise potentsiaali, metsastatistikast, potentsiaalsetest asukohtadest, vaadeldakse lähemalt mis on soojuskoormuse kestusgraafik.

Peatükid kolm kuni kuus kirjeldavad metoodikat, mis aitaks aru saada kas on otstarbekas biomassil töötava katla paigaldamine või mitte. Seal on lähedalt kirjeldatud metoodilise lähenemise skeem, läbi viidud soojuse toodangu arvutused, ning koostatud soojuskoormuse kestusgraafikud ja näidatud olemasoleva biokütuste katelde toodang.

Peatükis viis on kirjeldatud katelde tehnilised näitajad nagu katla kasutegur ja tehniline eluiga. Peatükk kuus lähedalt vaatleb majanduslikud näitajad ja valmistab lugejaid magistritöö uurimisosale (peamised arvutused).

Peatükid seitse kuni üheksa sisaldavad endas tehnilis-majanduslikud arvutused, tundlikkuse analüüsi ning tulemuste analüüsi.

1. ÜLEVAADE HAKKPUIDU KASUTAMISEST ENERGEETIKAS

1.1 Metsastatistika

Statistilist metsainventeerimist (SMI) teostab Keskkonnaministeeriumi kuuluv Keskkonnaagentuur. Tegemist valikuuringuga, millest saab informatsiooni Eesti metsavarude olemuse ja muutuste kohta ning muude metsadega seotud aspektide kohta.

SMI hindab Eesti metsi alates 1999. aastast. Hindamismetoodika on pidevalt arenenud ja muutunud. Täiendavat hindamismetoodikat pakuti 2015. aastal ning täpsustatud metoodikat tutvustati avalikkusele 20. detsembril 2016. aastal. Varasemalt uuringu koostamise algandmed ei olnud kahjuks kõik Eestist pärit. Aga praegu uus metoodika võrdleb Eestit ka naaberriikide Läti, Leedu ja Lõuna-Soome näitajatega ja Eesti varasemad numbrid jäid neile oluliselt alla. [1]

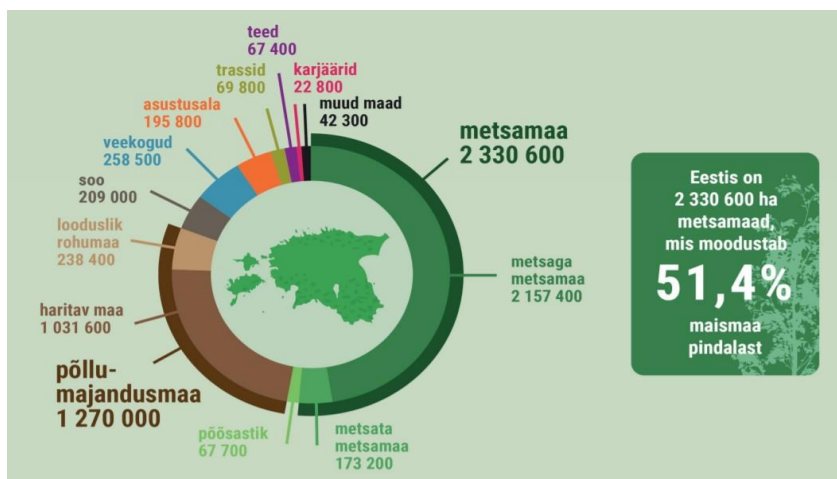
Metsaseaduses on kirjutatud et mets on ökosüsteem, mis koosneb metsamaast, sellel kasvavast taimestikust ja seal elunevast loomastikust. [2]

Taimestiku vanust seadus ei määratle. Metsamaa puhul on oluline see, et sinna kasvaks alati ka uus mets. Metsa uuendamise kohustus tuleneb metsaseadusest. [1]

Metsamaa on maa, mis vastab vähemalt ühele järgmisest nõuetest:

- On kantud metsamaana maakatastrisse;
- On maatükk pindalaga vähemalt 0,1 hektarit, kus kasvavad vähemalt 1,3 meetri kõrgused puittaimed, mille võrad katavad vähemalt 30% maatüki pindalast. [3]

Eestis on 2 330 600 ha metsamaad, mis moodustab 51,4% maismaa pindalast. See on rohkem kui pool Eesti pindalalt. Eesti pindala jagunemist maakatégorieate järgi iseloomustab joonis 1.1.

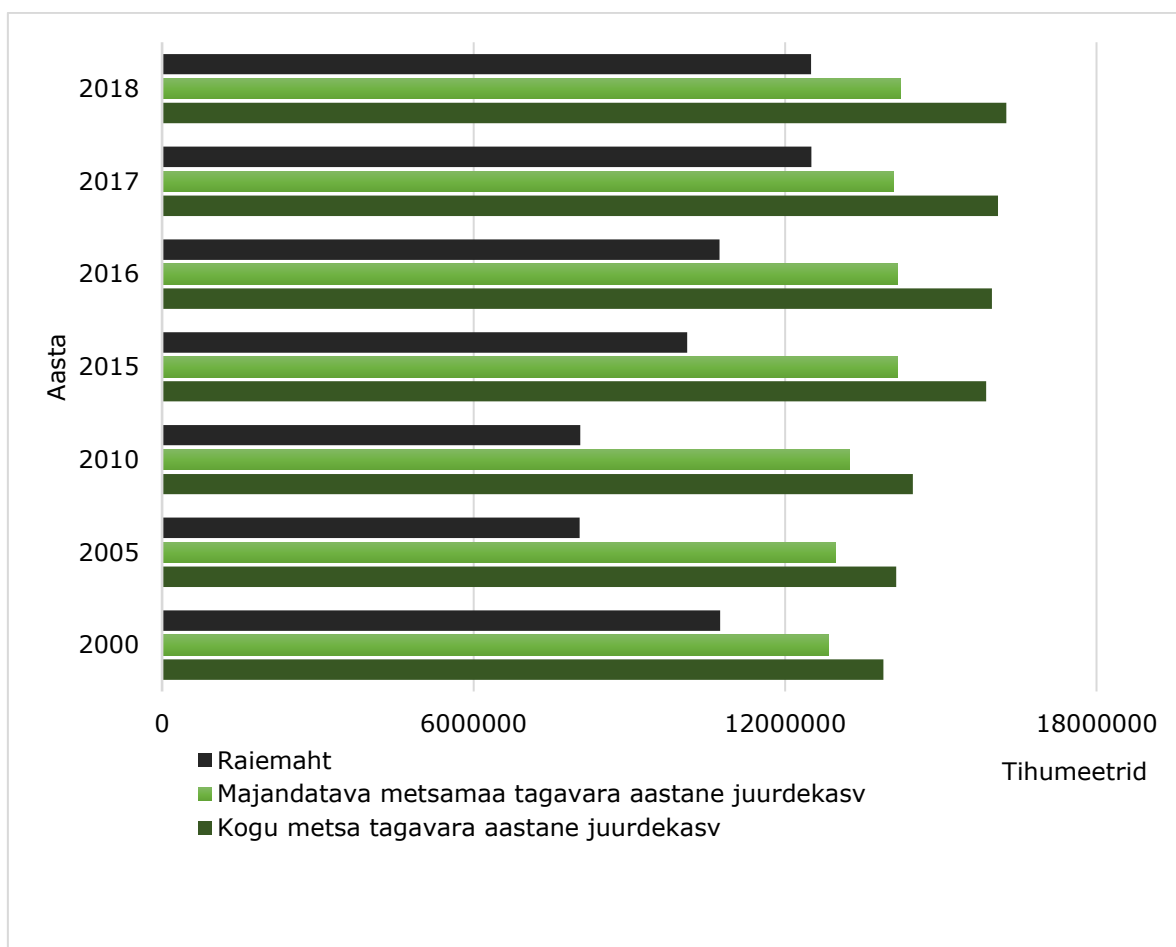


Eestis on 2 330 600 ha metsamaad, mis moodustab **51,4%** maismaa pindalast

Joonis 1.1 Eesti pindala jagunemine maakateooriate järgi (hektarites). [3]

1.2 Metsa raiemahu statistika

Raiemaht Eestis aastatel 2000-2018 oli väiksem kui juurdekasv (vt Joonis 1.2).



Joonis 1.2. Metsamaa juurdekasv ja raiemaht aastatel 2000-2018 [1]

Seega Eesti täidab oma eesmärgi – juurdekasv peab alati olema suurem kui raiemaht. Seega meie saame kasutada oma puidu erinevateks eesmärkideks. [1]

1.3 Raiemahu prognoosid ja eeldatud biomassi kasutus soojuse tootmiseks

Puiduenergia Eestis areneb väga kiiresti. Rohkem tavalisi katlamaju vahetatakse ümber biokütustel töötavateks katlamajadeks (hakkpuit). Ehitatakse elektri- ja soojuse koostootmisjaamasid. Metsaomanike jaoks tähendab see, et nõudlus hakkepuidu järele on kasvamas ja see annab lisavõimalusi tõsta madalakvaliteetse kütuse kasutamist.

Puidutöötlemise ja puittoodete tootmisega tegeleb Eestis üle tuhande ettevõtteid, kus töötab üle 16 000 inimest. Selle sektori suurimad ettevõtted kasutavad kaasaegset tehnoloogiat ja müüvad oma kaupu nii sise- kui ka välisurgudel. Sellised ettevõtted stimuleerivad Eesti regionaalarengut ja majanduskasvu väljaspool pealinna olles maapiirkondade olulised tööandjad. [4]

Energiapuit jaguneb järgmiselt: küttepuit (palgid, tükid, hakkepuit ja puidujäätmed) 4,4–4,6 miljonit tihumeetrit, puidugraanulid 1,2–4,6 miljonit tihumeetrit (täheledatakse kasvutendentsi), puidusüsi 182 800 tihumeetrit, puitbrikett 30 300 tihumeetrit.

2030. aastaks toodetakse Eestis biomassist 80% soojusest. Koos kombineeritud tootmise tööstusjaamadega suureneb puidu tarbimine kokku 2,2 miljoni kuupmeetri võrra. [5]

Omakorda Keskkonnaagentuuris analüüsiti puidutootmiseks kasutatavat metsavaru, et anda ülevaade selle suurusest, iseloomust ja võimalikust kasutusmäärast lähimal kümnenndil (2019-2028).

Aasta keskmine uuendusraiate pindala perioodil 2019-2028 oleks 33,3 tuhat ha väljaraiega 10,4 miljonit tihumeetrit. Sellest 35% (3,6 miljonit tm) oleks RMK ja 65% (6,8 miljonit tm) teiste valdajate maht. Harvendusraiate soovitatav pindala on 21,1 tuhat ha aastas kasvava metsa väljaraiega 1,25 miljonit tihumeetrit.

Aastaraie mahust moodustaks jäme- ja peenpalk 4,2 mln tm (44,1%), küttepuit 2,8 mln tm (28,9%) ja paberipuit 2,6 mln tm (27%). Raidmete maht oleks 1,3 mln tm/a, moodustades uuendusraiate likviidse puidu mahust 15%. [6]

Järelduseks on see, et Eestis piisab biomassist, et katta tippkoormused ning seda piisab ka selleks et toetada autori uuringut.

2. HAKKEPUIDU KASUTAMISE TÕUSU POTENTSAAL

2.1 Potentsiaalsed asukohad

Hakkepuidu kasutamise tõusu potentsiaali omavad nii need piirkonnad ja asukohad kus ei ole hakkepuidu kasutamine kaugküttes veel rakendatud (kasutatakse maagaasi või kütteõli), kui ka need, kus tahkekütuste katel katab osa kogu soojuse väljastusest.

Sellist lähenemist peetakse klassikaliseks ja mitmetes soojusmajanduse arengukavades pakutakse peamise valikuna. Valik asukohtadest kus on plaanis rakendada hakkepuidu katlaid baaskoormuse katmiseks on toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Potentsiaalsed asukohad

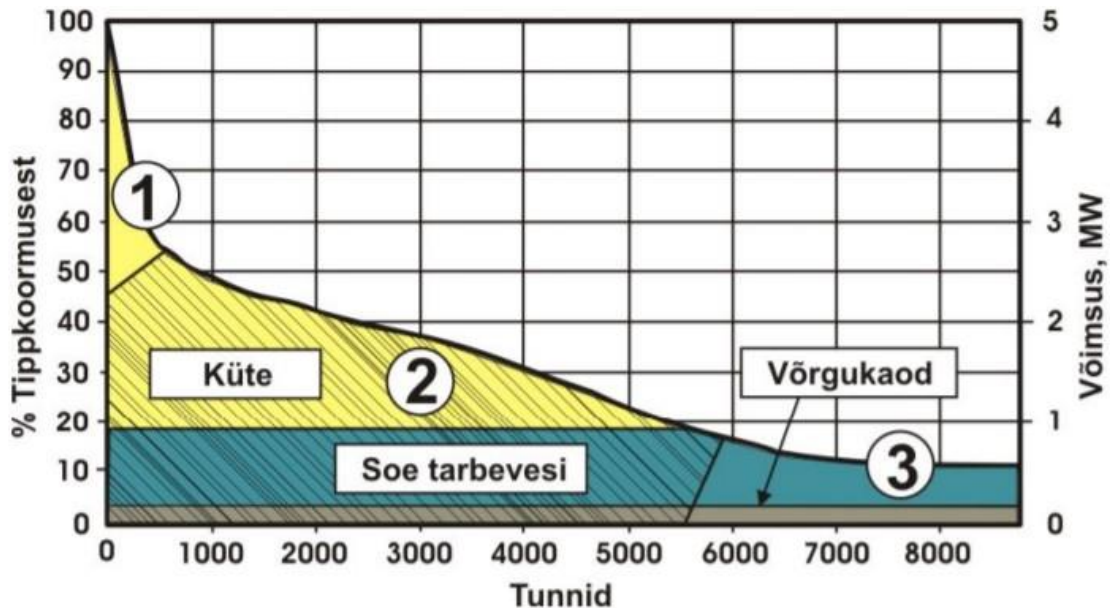
Nr	Asukoht	Taastuvkütuste osakaal	Aastane soojuse tootmine	Sooja tarbevee tootmine	Allikas
1	Jõgeva	95,6%	27000	Ei	[7]
2	Keila	77-82%	38000	Ei	[8]
3	Rapla	70%	4800	Jah	[9]
4	Kolga-Jaani	77-82%	2800	Ei	[10]
5	Paldiski	94%	25700	Jah	[11]
6	Laagri	85%	16200	Jah	[12]
7	Loo	85%	9800	Jah	[13]
8	Võru	80%	63500	Jah	[14]
9	Kuusalu	74%	3100	Jah	[15]
10	Nõo	80%	4500	Jah	[16]

Veel üheks potentsiaalseks asukohaks on ka Tallinn, kus tippkoormust siimaani kattakse maagaasil töötavate kateldega. Maagaasi osakaal pidevalt langeb tänu uutele biomassil töötavatele koostootmisjaamadele (näiteks aastal 2019 avatud Mustamäe koostootmisjaam).

Tabelist on näha, et mõnedes kohtades rakendatakse sooja tarbevee tootmist, mõnedes mitte. See hakkab mõjutama soojuskoormusgraafikut.

Soojuskoormuse kestusgraafik (Joonis 2.1) on diagramm, mis näitab koormuste muutumist. Sellise graafiku kuju kasutamine on kasulik katelde töökoormuse iseloomustamiseks.

Selleks et koostada graafikut on vaja andmeid katla töö kohta: tippkoormust ja võimsust, mis kantakse kahanevasse järjekorda graafikule vertikaalteljel. Horisontaalteljel kantakse ühe aasta tunnid (8760). Tulemuseks on graafik, mis näitab võimsuste kasutuskestust ühe aasta jooksul. Kõverjoone aluspinna suurus näitab soojuse kogust energiaühikutes, mis oli toodetud sellel perioodil. Koormusgraafiku kuju võib olla väga erinev. See sõltub asukoha kliimast, tarbijate soojusvajadustest ning mitmest muust tegurist. [17]



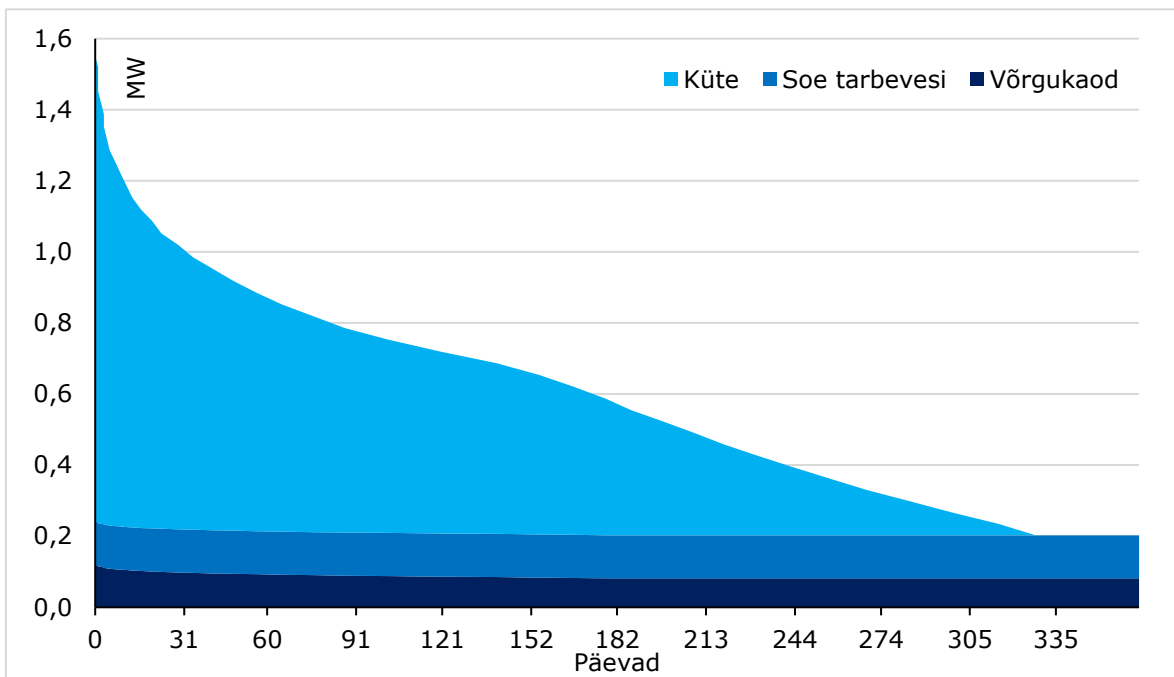
Joonis 2.1 Kaugküttekatalamaja tüüpiline koormuste kestuskõver

Nii nagu oli kirjutatud varem selles peatükis, mõnedes Eesti kaugküttevõrkudes rakendatakse sooja tarbevee tootmist, mõnedes mitte.

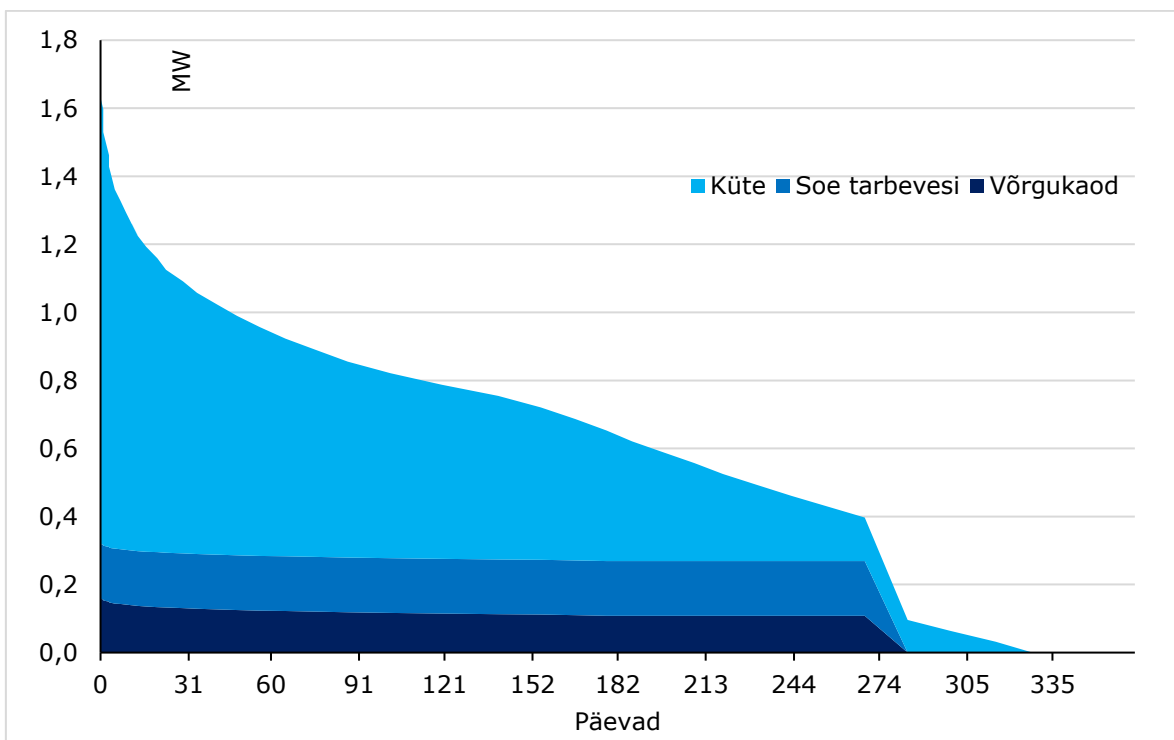
Nende iseloomustamiseks toome välja näidispiirkonna soojuskoormuse kestusgraafikuid (Joonis 2.2 ja Joonis 2.3).

Graafikud on koostatud alljärgnevatel eeldustel:

- Tootmise baaskoormus on 5 000 MWh.
- Soojuskadu kaugküttevõrgus on 15%.
- Sooja tarbevee vajadus on 25% tarbimisest.
- Baastemperatuur 17°C.



Joonis 2.2 Soojuskoormuse keskusgraafik, kus kasutatakse soe tarbevesi



Joonis 2.3. Soojuskoormuse kestusgraafik, kus soe tarbevesi ei kasutata.

2.1 Tippkoormuse katmine

Kuna katlad, mis töötavad biomassil on suhteliselt kallid, siis on vaja ja oluline valida katlad nii, et nende nimikoormusele taandatud töötundide arv oleks maksimaalne. Reeglina biokütust kasutatava katla võimsuseks soovitakse valida tippkoormusest 40%-50% madalam. Selle võimsusega katel oleks võimeline katta 80-90% kogu katlamaja soojuse väljastusest. [17]

Tippkoormuse katmiseks (Joonis 2.2. esimene piirkond) tavaliselt kasutatakse investeeringute seisukohalt soodsaid lahendusi (näiteks maagaas või kütteõli).

2.2 Potentsiaalne kogus

Aga selleks, et taastuvast biomassist kütust varuda, töödelda, ladustada ja vedada on vajalik fossiilset päritolu energiat. Näiteks, puitbrikkide tootmiseks ja transpordiks kulutatakse umbes 10-15% selle energiasisaldusest. Kui niisket hakkpuitu kasutada soojuse tootmiseks kaugküttekatalamajades ilma eeltötlust ja kuivatamiseta, siis on vajalik selle energiasisaldusest ainult 4% varumise ja veo kuludeks (kütteõli ja maagasi korral see on 14%). See tähendab, et hakkpuidu saamise alates kuni kaugküttesüsteemi muundamisprotsessis saadud energia edasi tarbijale edastamiseni läheb kaduma ainult 10-15% energiast ja tarbija saab soojusena kätte 85-90% puidu primaarenergiast. Kahjuks, kaod on veelgi suuremad kui kasutatakse fossiilset mineraalkütust (tarbijani jõuab ainult 20-30%). Reeglina on fossiilsete kütuste energeetilisel eesmärgil kasutamise mõju keskkonnale suurem ja kallimalt välditav, kui taastuvate põlevloodusvarade kasutamine samal eesmärgil. [18]

Tabel 2.2 Katla liik, toodetud soojus, GWh

Aasta	2016	2017	2018
Kivisöel töötavad katlad	5	3	4
Põlevkivil töötavad katlad	13	2	23
Turbal töötavad katlad	176	188	61
Puidul (k.a puiduhake ja -jäätmel) töötavad katlad	1742	1759	1492
Raskel kütteõlil töötavad katlad	9	5	22
Põlevkiviõlil töötavad katlad	304	276	166
Kergel kütteõlil ja diislikütusel töötavad katlad	95	136	73
Gaaskütusel (maagaas, vedelgaas) töötavad katlad	2154	2157	1836
Elektrienergial töötavad katlad	11	12	6
Muul kütusel (biogaas, generaatorigaas jt) töötavad katlad
Põlevkivi- ja biogaasil töötavad katlad	10	21	818
Rohtsel biomassil töötavad katlad	9	0	9

Siin tabelis on toodud katlad, nende toodetud soojus ning katla liik. Siin arvutatud kõik majandusharude tegevusalad: tööstussektor, energiasektor, põllumajandus, metsamajandus, maismaaveondus, torustransport, veetransport ja õhustransport, äri ja avaliku teeninduse sektor.

Hinnanguliselt teoreetiliseks fossiilkütuste asendamise puidukoguseks soojuse tootmisel võiks olla ~ 2000 GWh.

3. METOODIKA KIRJELDUS

Joonisel 3.1 on näidatud töös kasutatud meetoodilise lähenemise skeem.

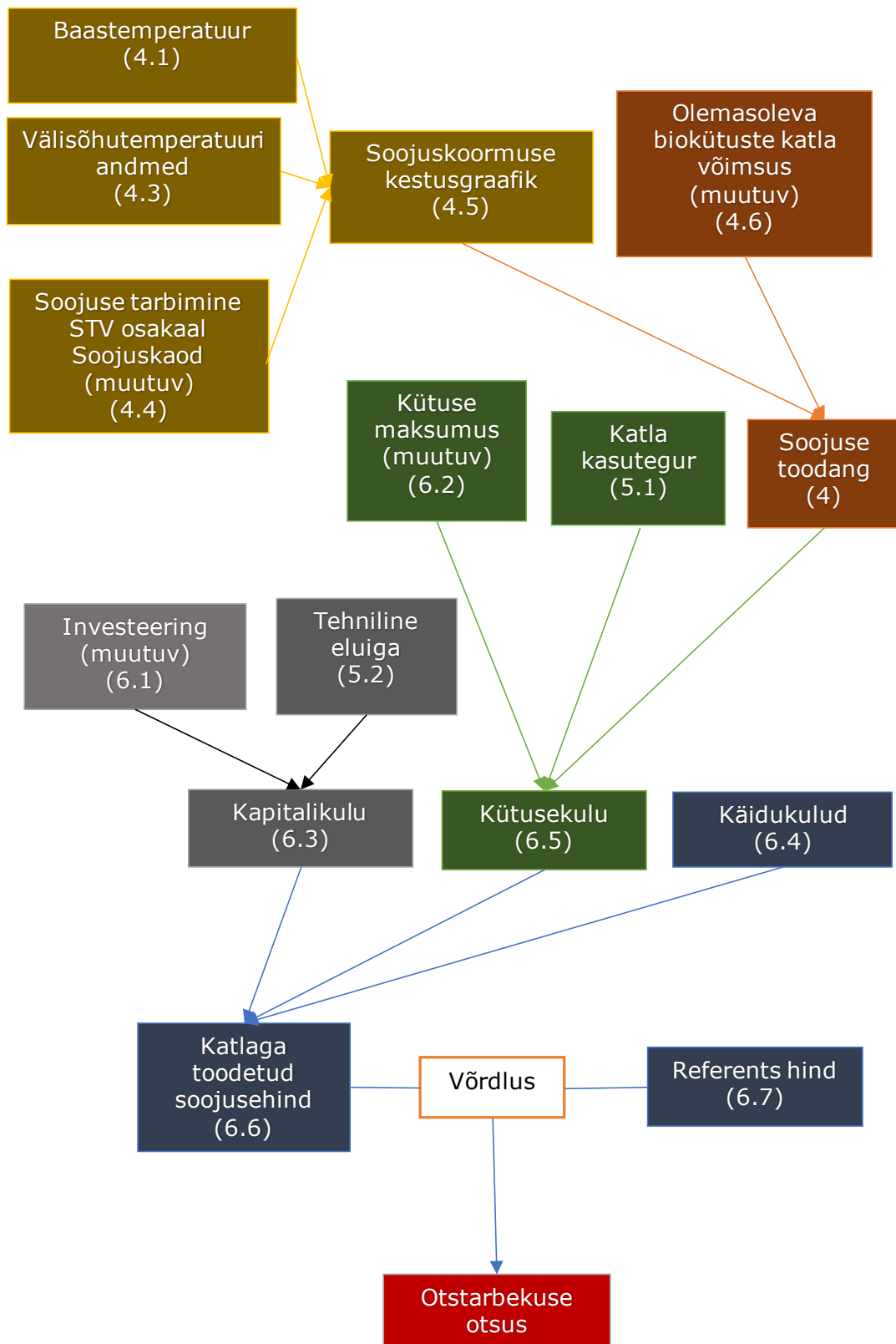
Analüüsiprotsessi etappide kirjeldused on toodud allpool.

Selleks et saavutada magistritöö eesmärki – kas on otstarbekas biomassil töötava katla paigaldamine, kasutatakse meetoodikat mille skeem on näidatud joonisel 3.1. Skeemi elementide plokkides on näidatud peatükkide numbrid, kus need elemendid on ammendavalt kirjeldatud.

Otstarbekuse otsus sõltub sellest kas katla toodetud soojuse hind on madalam või kõrgem kui referentshind. Referentshind on keskmine soojuse maksumus, mis on toodetud gaasist või kerge kütteõlist. Katla toodetud soojuse hind ja referentshind on lähemalt kirjeldatud peatükides 6.5 ja 6.7. Selleks et arvutada katla soojusehind on vajalikud sellised näitajad nagu kapitalikulud, kütuse kulud ja käidukulud. Need on lähemalt kirjeldatud peatükides 6.3, 6.6 ja 6.4.

Kapitalikulud sõltuvad investeringutest ja katla tehnilisest elueast. Investeeringuid on koostatud ja võetud Euroopa struktuuri- ja investeerimisfondidest toetatud projektidest. On kirjeldatud 21 alapid, projektidest võetud katla maksumus ja selle võimsus. Lähemalt kõik kirjeldatud peatükis 6.1. Katla tehniline eluiga on tavaliselt 20 aastat (peatükk 5.2). Kütusekulud sõltuvad kütuse maksumusest, katlakasutegurist ja soojuse toodangust.

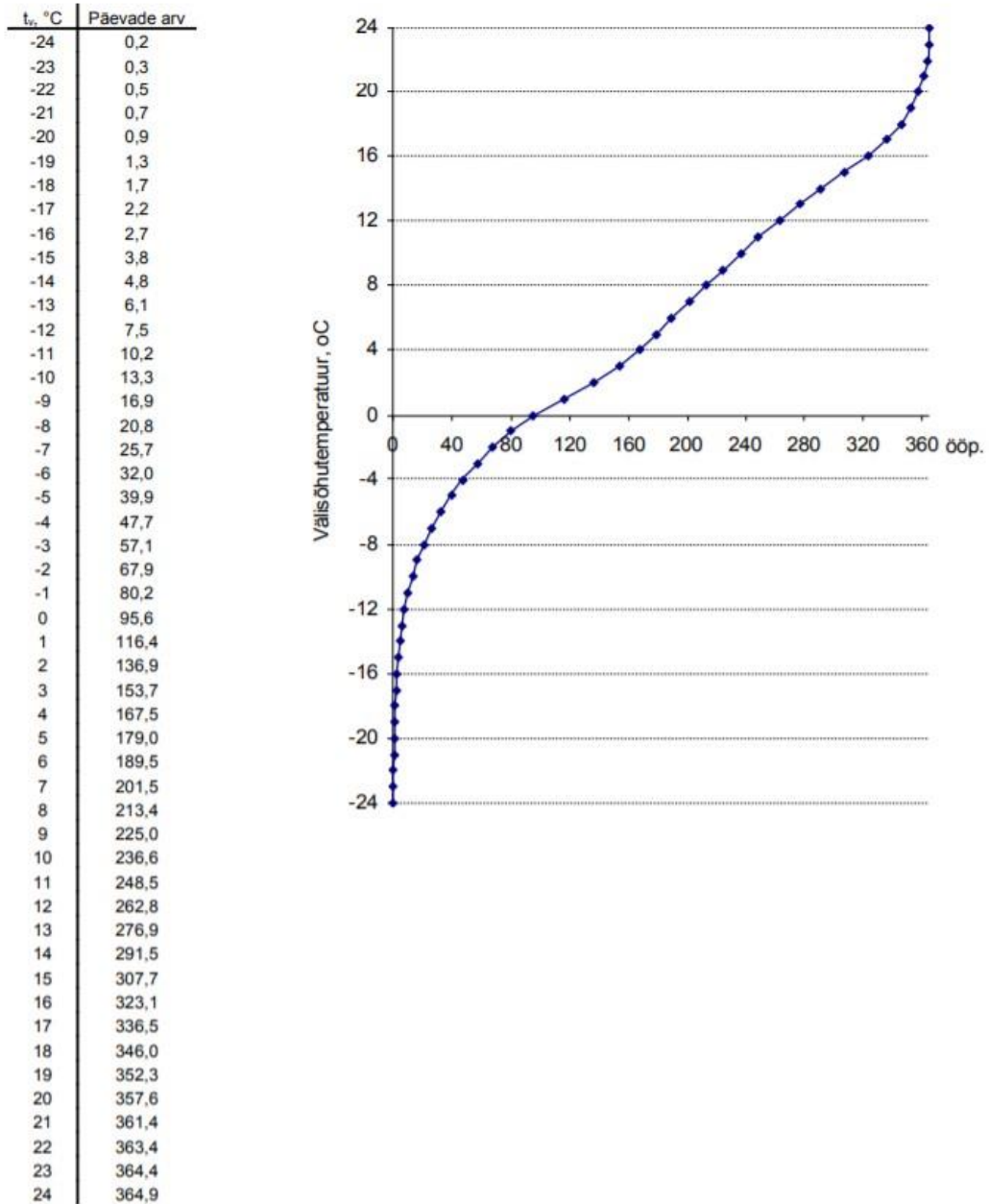
Kütuse maksumus magistritöös on võetud 14,5 €/MWh puiduhakkele, 29,0 €/MWh põlevkiviõlile ja 39,0 €/MWh maagaasile (peatükk 6.2). Magistritöös vaadeldakse restpõletustehnoloogia, ja kasutegur on sellel korral 85%, lähemalt kasutegur on kirjeldatud peatükis 5.1. Selleks et leida uue biokütuste katla võimsust ja toodangut on oluline koostada konkreetse piirkonna soojuskoormuse kestusgraafikut ja teada olemasoleva biokütuste katla võimsust. Need on muutuvandmed ja nende analüüs annab paremini mõista uue biokütuste katla soojuse maksumuse kujundamist. Sellega saab mängida olenevalt situatsioonist (peatükk 4.3) Omakorda selleks et koostada soojuskoormuse kestvusgraafik on vajalikud sellised näitajad nagu baastemperatuur (peatükk 4.1.1), välisõhutemperatuuri andmed (peatükk 4.1.3), soojuse tarbimine, soe tarbevee osakaal ning soojuskaod. Need näitajad lähemalt kirjeldatud peatükis 4.2.



Joonis 3.1. Metoodilise lähenemise skeem.

4.3 Välisõhutamperatuuri andmed

Andmed on võimalik saada erinevatest kirjandustest. Sellisel tööl kasutatakse Tallinna keskmise aasta välisõhutamperatuuri kestuskõverat (vt joonis 4.2).



Joonis 4.2. Tallinna keskmise aasta välisõhutamperatuuri kestuskõver ja antud välisõhutamperatuurist madalamate temperatuuride kestus (päevade arv). [19]

4.4 Soojuse tootmine ja tarbimine

4.4.1 Soe tarbevesi

Energiat, mis on vajalik sooja tarbevee ettevalmistamiseks, määratakse elamute jaoks, ühe inimese ööpäevase arvestusliku soojaveevajaduse ning soojendatava vee alg- ja lõpptemperatuuri kaudu.

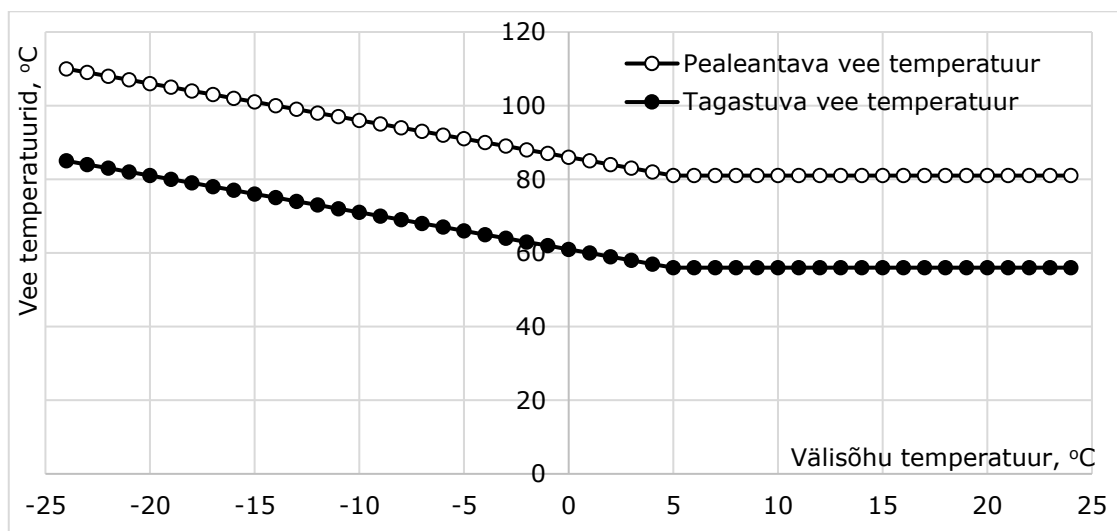
Kuna sooja tarbevett ei tarbita ühtlaselt kogu ööpäeva kestel, tavaliselt arvutatakse sooja vee valmistamiseks vajalik soojusvõimsus ööpäevase keskmise tarbimise alusel. Reeglina mida kehvem on hoone energiatõhusus seda madalam on sooja tarbevee osakaal (umbes 20%) ja vastupidi (hästi soojustatud maja korral osakaal võib moodustada 40%).[17] [20]

Selles magistritöös võetakse 25% tarbevee soojendamiseks kogu soojuse tarbimisest. Selle arvestatakse ligikaudu suvekuude keskmise tarbimisvõimsuse järgi.

4.4.2 Soojuskaod

Kõikides kaugkütte võrgupiirkondades tuleb alates 2010 aastast kehtestatud hinnad kooskõlastada Konkurentsiametiga. Tehnilised nõuded soojuskadudele on alates 2017. aastast mitte üle 15% kogu soojuse väljastusest. Magistritöös võetakse selle väärtust. Soojuskadu sõltub Konkurentsiameti käsitluses soojuse tarbimistihedusest: mida kõrgem on tarbimistihedus, seda väiksem on protsentuaalne soojuskadu ja vastupidi. [21]

Soojuskadude sõltuvuse leidmiseks välisõhu temperatuurist arvestame joonisel 4.3 toodud temperatuuri graafikuga. Pinnase temperatuuriks võtame aastaringiselt 6°C.



Joonis 4.3 Soojuskadude sõltuvus välisõhu temperatuurist

4.5 Soojuskoormuse kestusgraafikud

Graafiku koostamiseks võetakse kolm erinevat soojuse toodangu väärtust : 5000, 10 000 ja 20 000 MWh. Selliste väärtustega meie katame peamised perspektiivsed kohad kuhu on võimalik rakendada selle magistritöö tulemusi.

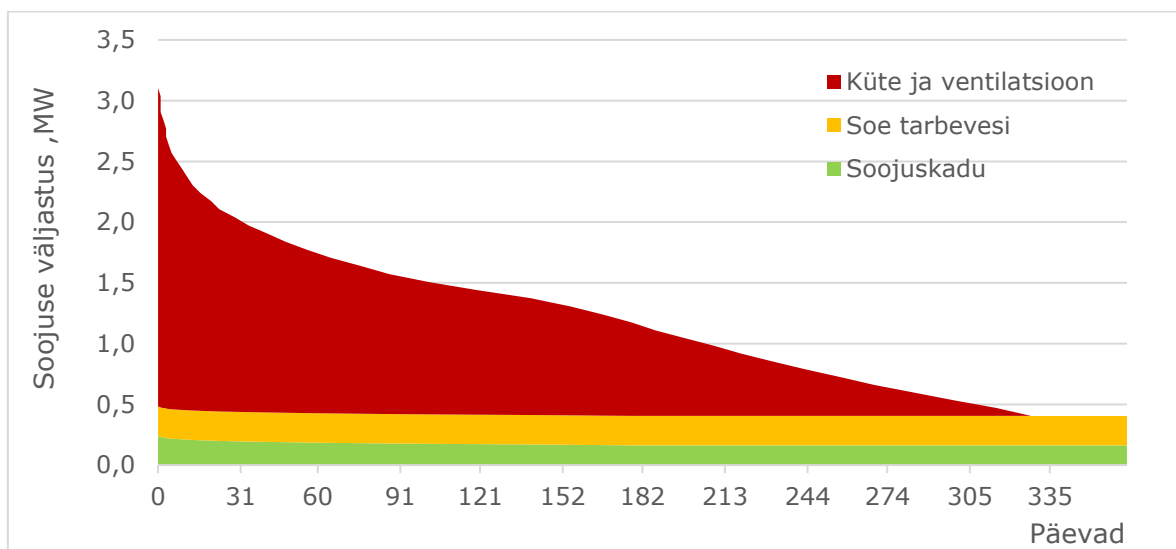
Järgnevalt on toodud peamised momendid kuidas koostada soojuskoormuse graafikut soojuse toodanguga 10 000 MWh (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Aastase toodetud soojuse kulu jaotus toodangule 10 000 MWh.

Tootmine (baaskoormus) (MWh)	10000
Soojuskaod (MWh)	1500
Tarbimine (MWh)	8500
Soe tarbevesi (MWh)	2125
Küte ja ventilatsioon (MWh)	6375

Kui toodeti 10 000 MWh, siis kaod moodustavad 1 500 MWh (15%). Selles jääb 8 500 MWh tarbimiseks. Tarbimisest 25% moodustab soe tarbevesi – 2 125 MWh, muu on küte ja ventilatsioon, st soojuse koormus sõltub välisõhutemperatuurist (vt tabel 4.1).

Soojuse toodangu kestusgraafik (toodang 10 000 MWh) on toodud joonisel 4.4.



Joonis 4.4. Soojuse toodangu (10 000 MWh) kestusgraafik

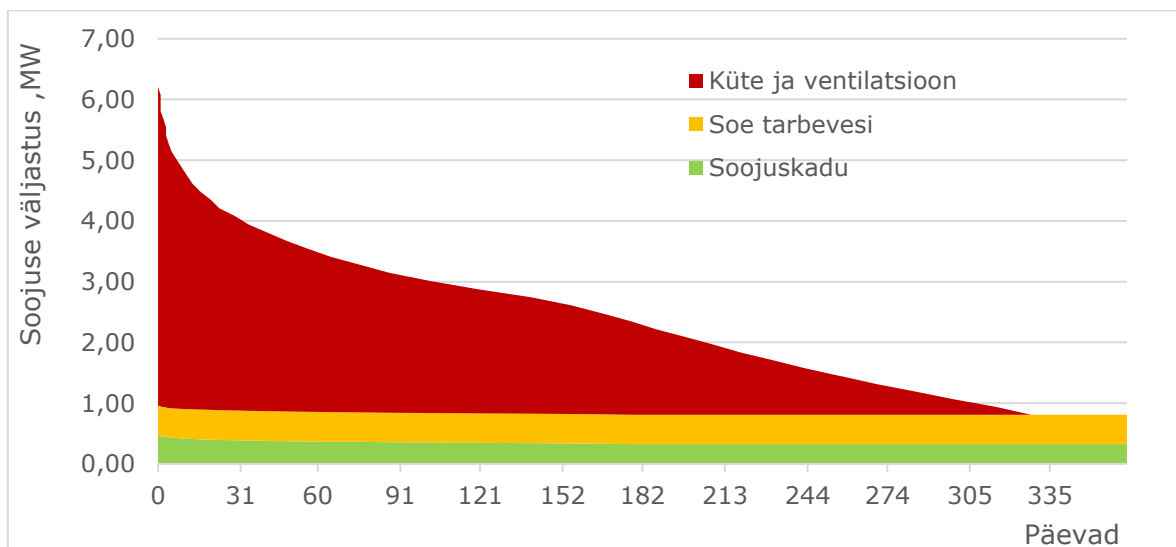
Koormus 5000 MWh:

Tabel 4.2. Aastase toodetud soojuse kulu jaotus toodangule 5 000 MWh.

Tootmine (baaskoormus) (MWh)	5000
Kaad (MWh)	750
Tarbimine (MWh)	4250
Soe tarbevesi (MWh)	1062,5
Küte ja ventilatsioon (MWh)	3187,5

Kui toodeti 5000 MWh, siis kaod moodustavad 750 MWh (15%). Selles jääb 4250 MWh tarbimiseks. Tarbimisest 25% moodustab soe tarbevesi – 1062,5 MWh, muu on küte ja ventilatsioon, st soojuse koormus sõltub välisõhutemperatuurist (vt tabel 4.2).

Soojuse toodangu kestusgraafik (5000 MWh) on toodud joonisel 4.5



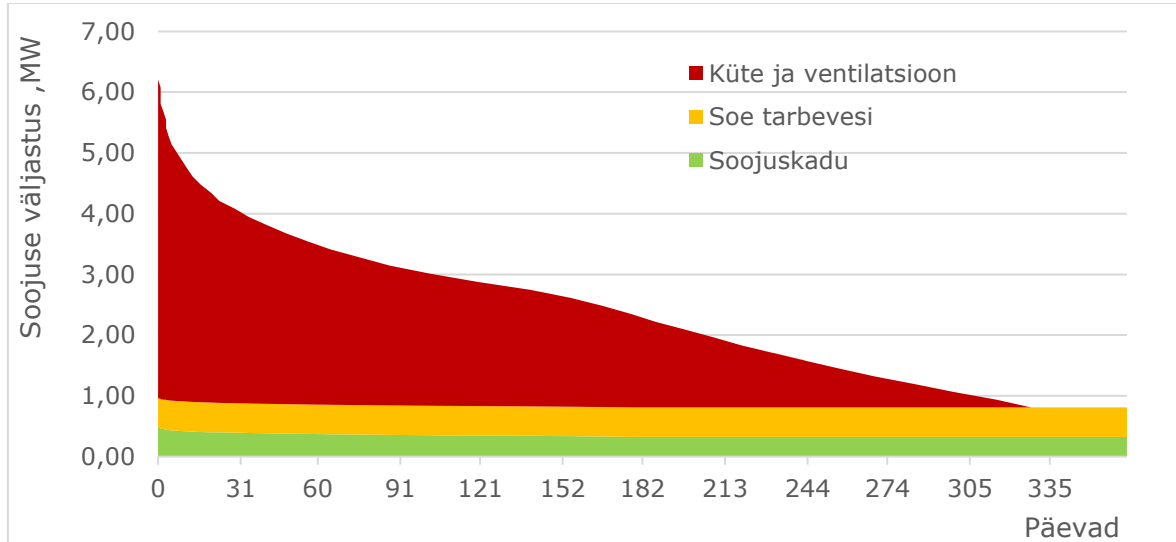
Joonis 4.5. Soojuse toodangu (5000 MWh) kestusgraafik.

Koormus 20 000 MWh:

Tabel 4.3. Aastase toodetud soojuse kulu jaotus toodangule 20 000 MWh.

Tootmine (baaskoormus) (MWh)	20000
Kaad (MWh)	3000
Tarbimine (MWh)	17000
Soe tarbevesi (MWh)	4250
Küte ja ventilatsioon (MWh)	12750

Kui toodeti 20 000 MWh, siis kaod moodustavad 3000 MWh (15%). Sellest jääb 17000 MWh tarbimiseks. Tarbimisest 25% moodustab soe tarbevesi – 4250 MWh, muu on kütte ja ventilatsioon, st soojuse koormus sõltub välisõhutemperatuurist (vt tabel 4.3). Soojuse toodangu kestusgraafik (20 000 MWh) on toodud joonisel 4.6



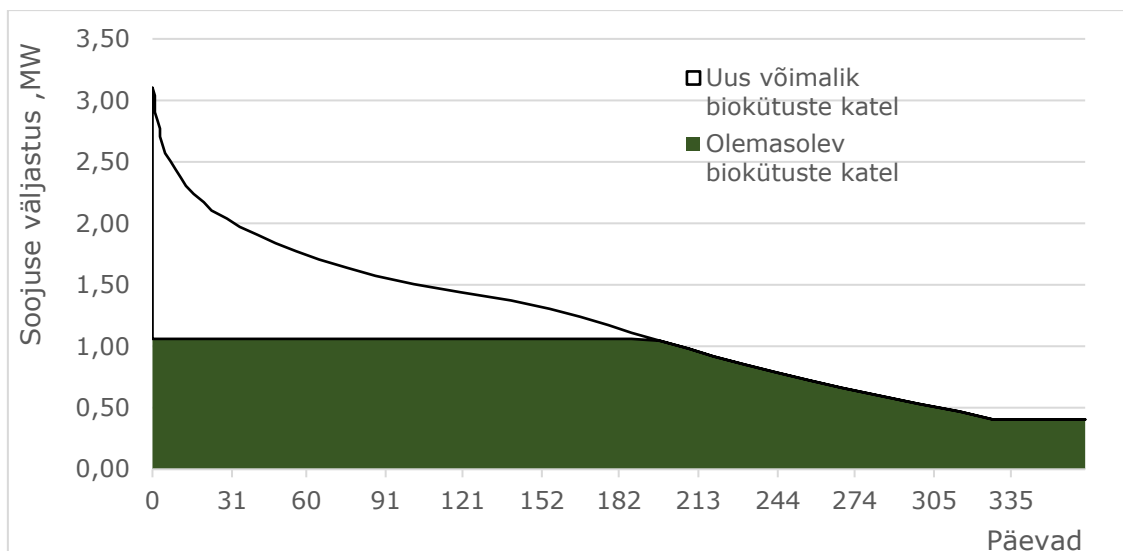
Joonis 4.6. Soojuse toodang (20 000 MWh)

Lisa informatsioon graafikute koostamiseks andmete kohta on Lisas 1.

4.6 Olemasoleva biokütuste katla toodang

Lisa biokütuste katelde paigaldamise potentsiaaliga asukohtades olemasoleva biokütuste katlaga toodetakse 75 – 95% kogu võrku väljastatud soojusest (vt tabel 2.1). Edaspidi kasutame arvutustes kolm olemasoleva biokütuste katla poolt toodetud soojuse osakaalu väärtust: 75%, 85% ja 95%.

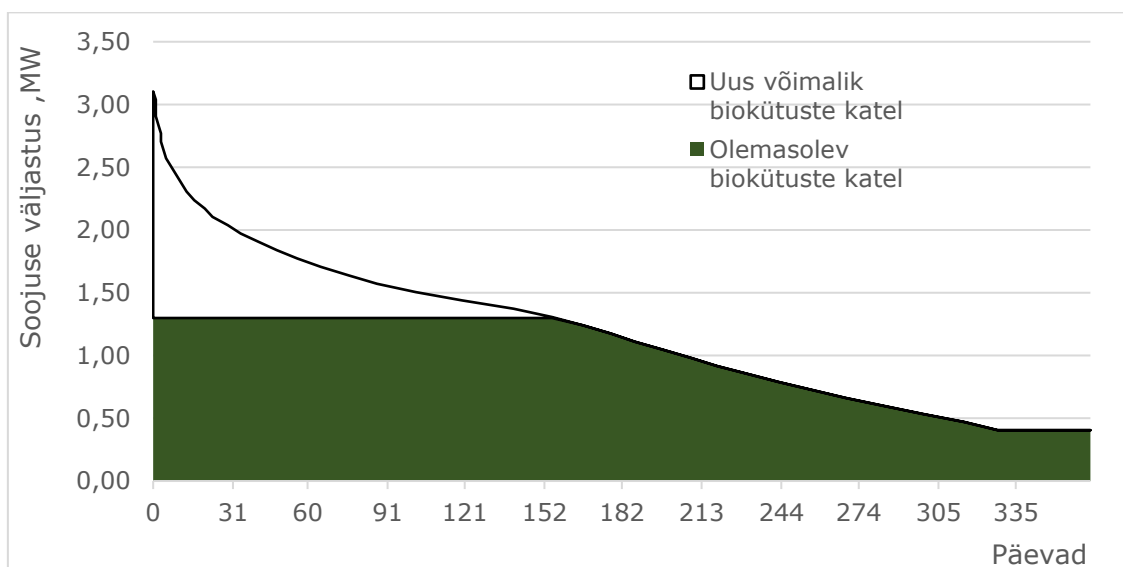
Piirkonnas soojuse tootmisega 10 000 MWh ja biokütuste katla poolt toodetud soojuse osakaalu väärtusega 75% on näidatud joonisel 4.5.



Joonis 4.7 Biokütuste katla poolt toodetud osakaalu väärtusega 75%

Vastavalt joonisele uue biokütuste katla eeldatavaks võimsuseks on umbes 2 MW mis on oluliselt kõrgem kui olemasoleva biokütuste katla võimsus (1,1 MW).

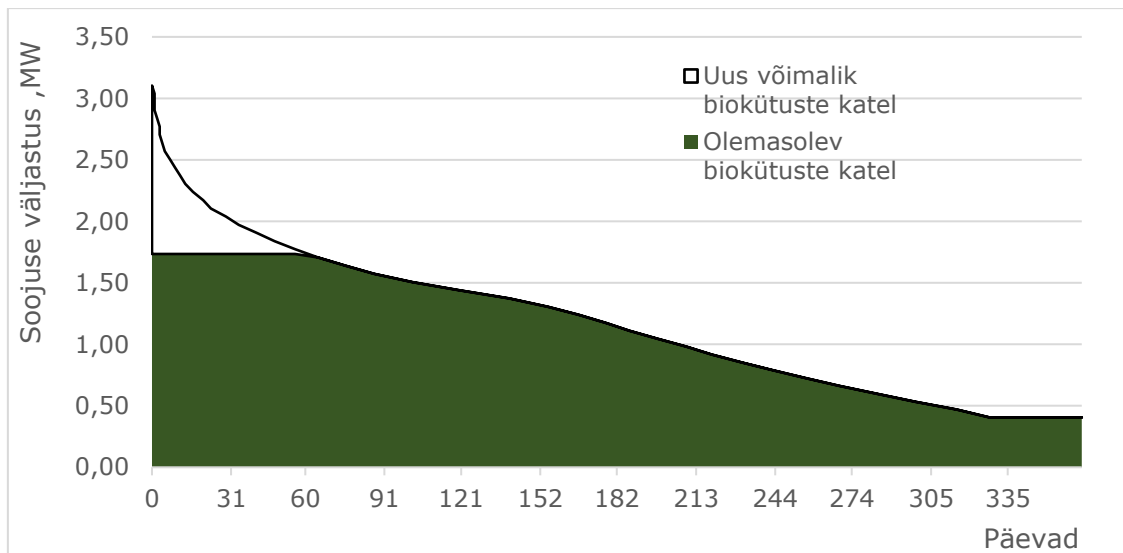
Piirkonnas soojuse tootmisega 10 000 MWh ja biokütuste katla poolt toodetud soojuse osakaalu väärtusega 85% on näidatud joonisel 4.6.



Joonis 4.8 Biokütuste katla poolt toodetud osakaalu väärtusega 85%

Vastavalt joonisele uue biokütuste katla eeldatavaks võimsuseks on 1,8 MW, mis on oluliselt kõrgem kui olemasoleva biokütuste katla võimsus (1,3 MW).

Piirkonnas soojuse tootmisega 10 000 MWh ja biokütuste katla poolt toodetud soojuse osakaalu väärtusega 95% on näidatud joonisel 4.7



Joonis 4.9 Biokütuste katla poolt toodetud osakaalu väärtusega 95%

Vastavalt joonisele uue biokütuste katla eeldatavaks võimsuseks on 1,4 MW, mis on oluliselt madalam kui olemasoleva biokütuste katla võimsus (1,7 MW).

Lisa informatsioon graafikute koostamiseks andmete kohta on Lisas 2.

5. KATELDE TEHNILISED NÄITAJAD

5.1 Katla kasutegur

Katlamaja soojuslik kasutegur näitab ajaühikus kütusega katlakoldesse antud soojushulga ja kasulikult kasutatava soojushulga suhet (%- des). Katlamaja soojuslik kasutegur on oluline, sest mida madalam on soojuslik kasutegur, seda suuremaks kujuneb ühe MWh soojuse tootmiseks vajamineva primaarenergia kogus ja kütuse kulu ning seda kõrgemaks kujuneb soojuse referentshind. Majanduslikult efektiivseima referentshinna arvutusmudelis kasutatud restpõletustehnoloogia korral kasutegurit 85% ja keevkihttehnoloogia korral kasutegurit 88%. [22]

Üks levinumatest hakkepuidul töötavatest kaugküttekatelde tehnoloogiatest on restpõletus. Järgnevalt hakkepuidukatla kasuteguriks võtame 85%. [23]

5.2 Tehniline eluiga

Baaskoormuse katla tehniliseks elueaks on võetud 20 aastat. See number on toodud SusDev Consulting OÜ töös nr 2 ja vastab uue puiduhaket kütuseks kasutava restkoldega veekuumuskatla tehnilisele elueale. Selles töös puiduhaket ja turvast kütuseks kasutava katla tehniline eluiga on 16 kuni 21 aastat ja seda eluiga on võimalik pikendada remondiga veel viieks aastaks. [22]

6. MAJANDUSLIKUD NÄITAJAD

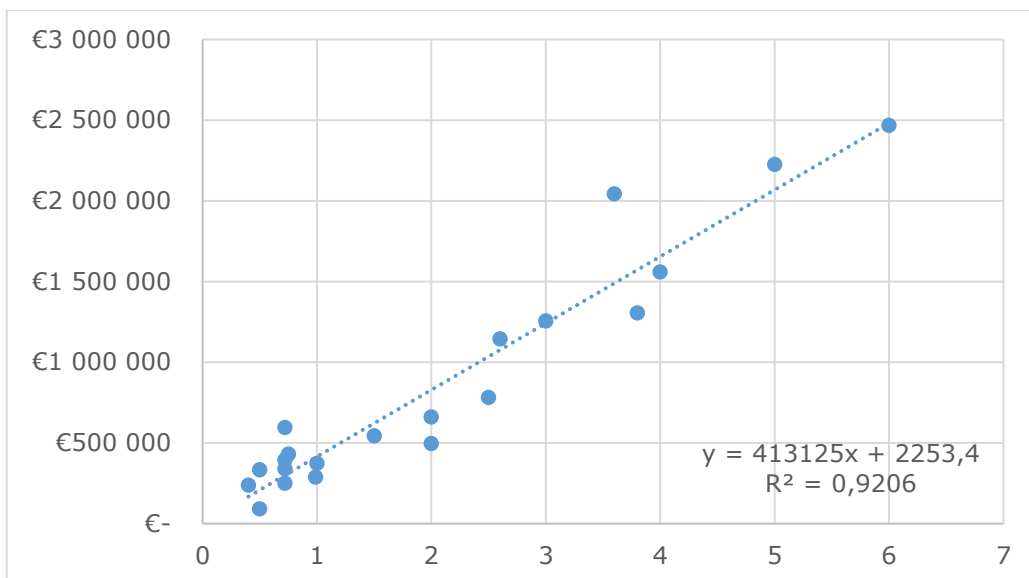
6.1 Investeering

Investeeringute hindamiseks sai uuritud Euroopa Struktuuri- ja investeerimisfondidest toetatud projektid. Nende maksumus ning katlamajade katelde võimsused. Suurtes osades projektide eesmärkideks oli kaugkütte soojustorustikke renoveerimine või absoluutselt uue taastuenergiat tootva kaasaegse nõuetele vastavat, energiatõhusat katlamaja installeerimine. See uuring oli tehtud selleks et analüüsida, uurida ja tuletada võrrandit, mis näitaks katla võimsuse seost katla maksumusega ning edaspidi kasutada selle arvutamiseks.

Tabel 6.1 Euroopa Struktuuri- ja investeerimisfondidest toetatud projektid

Nr	Asukoht (Katlamaja)	Võimsus [MW]	Maksumus [€]	Allikas
1	Adavere	0,99	288 818	[24][25]
2	Aruküla	0,72	395 000	[24][26]
3	Haaberneeme	6	2 466 748	[24][27]
4	Kanepi	0,5	333 511	[24][28]
5	Kehra	5	2 224 873	[24][29]
6	Kunda	3	1 255 382	[24][30]
7	Laagri	3,8	1 306 144	[24][31]
8	Loo	2	661 171	[24][31]
9	Luunja	0,72	340 000	[24][32]
10	Martna küla	0,5	92 520	[24]
11	Narva-Jõesuu	2,6	1 144 351	[24][33]
12	Orissaare	2	495 390	[24][34]
13	Otepää	2,5	780 885	[24][35]
14	Pärsama	0,4	238 780	[24][36]
15	Püssi	1	373 859	[24][37]
16	Raasiku	0,72	250 000	[24][38]
17	Saku Tehnika	4	1 559 298	[24]
18	Saue	3,6	2 043 773	[24][37]
19	Taagepera loss	0,75	431 000	[24][39]
20	Vaida aleviku	0,72	594 773	[24]
21	Väike-Maarja	1,5	543 661	[24][25]

Allpool on toodud katelde võimsuse ja katelde maksumuse suhe ning tuletatud põhivõrrand mis aitab magistritöö autorile teha edasi arvutusi.



Joonis 6.1. Katelde võimsuse ja maksumuse suhe

6.2 Kütuse maksumus

Puiduhakke primaarenergia hind. Puiduhake hindande dünaamikat iseloomustab tabel 6.2. Kütuse energiahinna arvutamiseks on võetud puiduhake kütteväärtus puistekuupmeetri kohta 0,8 MWh/m³. [22]

Tabel 6.2. Ettevõtetes tarbitud puiduhake ja energia keskmine maksumus.

Aasta	€/m ³	€/MWh
2003	4,15	5,19
2004	4,35	5,44
2005	4,47	5,59
2006	6,20	7,75
2007	7,29	9,11
2008	9,97	12,46
2009	12,40	15,50
2010	12,53	15,66
2011	12,97	16,21
2012	15,84	19,80
2013	12,42	15,53
2014	11,58	14,48
2015	11,23	14,04
2016	12,17	15,21
2017	11,23	14,04
2018	11,31	14,14

Edaspidiselt arvestame puiduhakke baas primaarenergia hinnaga 14,50 €/MWh.

Maagaasi primaarenergia hind. Maagaasi keskmine kütteväärtus on 9,3 MWh/tuh m³. Võtame selle et arvutada kütuse energiahinda. [22]

Maagaasi hindade dünaamikat iseloomustab tabel 6.3.

Tabel 6.3. Ettevõtetes tarbitud maagaasi ja energia keskmine maksumus.

Aasta	€/tuhat m ³	€/MWh
2003	87,9	9,4
2004	86,4	9,3
2005	89,2	9,6
2006	109,9	11,8
2007	145,4	15,6
2008	240,7	25,9
2009	248,9	26,8
2010	283,4	30,5
2011	312,8	33,6
2012	369,7	39,8
2013	370,4	39,8
2014	373,2	40,1
2015	335,1	36,0
2016	261,7	28,1
2017	289,8	31,2
2018	325,5	35,0

Edaspidiselt arvestame puiduhake baas primaarenergia hinnaga 39,00 €/MWh. [22]

6.3 Kapitalikulu arvutamine

Kapitalikulu ja põhjendatud tulukus arvutatakse põhjendatud ja soojustootmiseks vajalike investeeringute maksumuse, kaalutud keskmise kapitali hinna ja investeeringu tehnilise eluea alusel. [21]

Näiteks, 3 MW hakkepuidu katla indikatiivseks investeeringuks on 1 250 000 € (vt joonis 6.1). Arvestades, et katla eelduslik tehniline eluiga on 20 aastat, ning WACC on 6% siis kasutame Excelis funktsiooni PMT mis arvutab perioodilist rahavoogu. Tulemuseks on 108981 € (vt tabel 6.3.).

Tabel 6.3. Annuiteet

Investeering	1250000	€
Tehniline eluiga	20	aastat
WACC	6%	
Perioodiline rahavoog	108981	€

Kapitali kaalutud keskmine hind (weighted average cost of capital - WACC) on ettevõtte kõikide finantseeringute allikate keskmine tulumäär. [40]

6.4 Käidukulud

Selles magistritöös vaadeldakse **muutuivad käidukulud** ja **püsivad käidukulud**.

Referentshinna arvutusmudelil on kasutatud **muutuvkulude** keskmine maksumus 0,5 €/MWh, mis on ajas muutuv. [22] Ettevõtte kulud, mis sõltuvad otseselt toodangu mahust nimetatakse muutuvkuludeks. [41]

Püsivad käidukulud koostavad 5% investeringutest aastast, sest nimetatud kulude suuruseks arvestatakse 5% põhjendatud ja soojuse tootmiseks vajalike investeringute soetusmaksumustest. [22] Ettevõtte kulud, mis ei ole ettevõtte toodangu mahuga otseses seoses nimetatakse püsikuludeks. [42]

6.5 Kütusekulu

Uue katla kütusekulu arvutamiseks on arvestatud uue katla potentsiaalse toodanguga, katla kasuteguriga ja kütuse maksumusega.

Kütusekulu komponendi arvutamiseks kasutame valemi 6.1

$$Kulu_{kütus} = Q_{toodang} / \eta_{hake} * P_{hake} \quad (6.1)$$

kus $Q_{toodang}$ – aastane eeldatav uue katla soojuse toodang, MWh,
 η_{hake} – uue katla kasutegur, %,
 P_{hake} – puiduhake maksumus, €/MWh. [22]

6.6 Katlaga toodetud soojusehind

Katlaga toodetud soojusehind koosneb kolmest komponendist ja arvutatav valemiga 6.2:

$$P_{soojus} = (Kulu_{kütus} + Kulu_{käit} + Kulu_{kapital}) / Q_{toodang} \quad (6.2)$$

kus $Kulu_{käit}$ – käidukulu, €/MWh,
 $Kulu_{kapital}$ – kapitalikulu, €/MWh,
 $Kulu_{kütus}$ – kütusekulu, kg/s,
 $Q_{toodang}$ - aastane eeldatav uue katla soojuse toodang, MWh. [22]

6.7 Referentshind

Uue biokütuste katla ehitamine on majanduslikult otstarbekas kui sellega toodetud soojuse hind on madalam võrreldes alternatiivkütustega toodetud soojuse hinnaga. Reeglina selleks on pigem maagaas (harvem kerge kütteõli). Maagaasiga toodetud soojuse maksumuse peamiseks komponendiks on maagaasi maksumus. Indikatiivse referentshinda arvutamiseks võtame ainult maagaasi maksumuse komponendi referentshinna määramiseks (valem 6.3).

$$P_{\text{ref}} = P_{\text{gaas}} / \eta_{\text{gaas}} \quad (6.3)$$

kus P_{gaas} – maagaasi maksumus, €/MWh,

η_{gaas} – gaasil töötaval katla kasutegur, %. [22]

7. TEHNILIS-MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED

Sellest peatükis on käsitletud uue biokütuste katla poolt toodetud soojusehinna arvutamise põhietappe vastavalt pakutud metoodikale. Põhjalikult lahti seletatud arvutused on tehtud ühele alternatiivile (baasalternatiiv) mille fikseeritud sisendandmed on käsitletud peatükis 7.1. Vastavad tabelarvutuste vahetappide tulemused ja lõplikud tulemused on toodud peatükis 7.2.

Sama metoodika ja arvutamise põhimõtted on rakendatud ka teistele huvi pakkuvatele sisendandmete. Need tulemused on analüüsitud peatükis 8 (tundlikkuse analüüs).

7.1 Sisendandmed arvutamiseks

Peamised fikseeritud sisendandmed arvutuste läbiviimiseks on koondatud tabelis 7.1.

Tabel 7.1. Fikseeritud sisendandmed

Soojuse toodang	10 000	MWh
Olemasoleva biokütuste katla soojustoodangu osakaal	85	%
Katla tehniline eluiga	20	aastat
Hakkepuidu maksumus	14,50	€/MWh
Uue biokütuste katla kasutegur	85	%

Teised andmed (baastemperatuur, välisõhutemperatuuri andmed, sooja tarbevee osakaal soojuse tarbimisest, soojuskaod, käidukulud) vastavad eelmistes peatükkides pakutud väärtustele.

Investeeringu arvutamiseks kasutatakse seos mis on näidatud joonisel 6.1.

7.2 Baasalternatiivi arvutustulemused

Soojuskoormuse kestusgraafik. Soojuse tootmis- ja tarbimisandmete leidmiseks ning piirkonna soojuskoormuse kestusgraafiku koostamiseks kasutame peatükis 4 käsitletud arvutamisloogikat.

Arvutused on tehtud piirkonnale aastase soojustoodanguga 10 000 MWh. Sellele vastab joonisel 4.4 näidatud soojuskoormuse kestusgraafik.

Soojuse toodang uue katlaga. Olukorras, kus vastavalt baasstsenaariumile olemasoleva katla soojuse toodang moodustab 85% kogu soojuse väljastusest, uue biokütuste katla võimsuseks kujuneb 1,8 MW. Uus katel saaks toota 1501 MWh aastas.

Kapitalikulu. Kui soojustoodang on 10 000 MWh (Joonis 4.6), katla võimsus on 1,8 MW, siis katla maksumus on 745 878 €. Katla eelduslik tehniline eluiga on 20 aastat ning WACC on 6% siis aastane kapitalikuluga seotud rahavoog on 65 029 €.

Kütusekulu. Selleks et arvutada uue katla kütuse kulu kasutame valemit 6.1. Aastane eeldatav uue katla soojuse toodang on 1501 MWh, uue katla kasutegur eeldame et 85% nagu näidatud joonisel 4.6. Puiduhake maksumus on 14.5 €/MWh. Uue katla kütuse kulu on 25 605 €.

Käidukulud. Fikseeritud aasta kulu (püsikulu) on 37 294 € (5% investeringutest aastast) ja siis muutuvkulu on 750,5 € (0,5 €/MWh X katla soojuse toodang, mis on 1511 MWh). Kokku aastane käidukulu on 38044,5 €.

Uue biokütuste katlaga toodetud soojuse omahind. Nagu oli öeldud alapeatükis 6.6 ja kirjutatud valemis 6.2 katlaga toodetud soojusehind koosneb kolmest komponendist. Eeldame et käidukulud on 38044,5 €, kapitalikulu on 65 029 €, kütusekulu on 25 605 € ja aastane uue katla soojuse toodang on 1501 MWh (kasutegur on 85%) siis uue biokütuste katlaga toodetud soojuse omahind on 86 €.

Allpool on toodud tabel 7.2 mille abil oli tehtud arvutused ja kus on näidatud peamised näitajad.

Tabel 7.2 Baasalternatiivi soojuse omahinda arvutamistabel

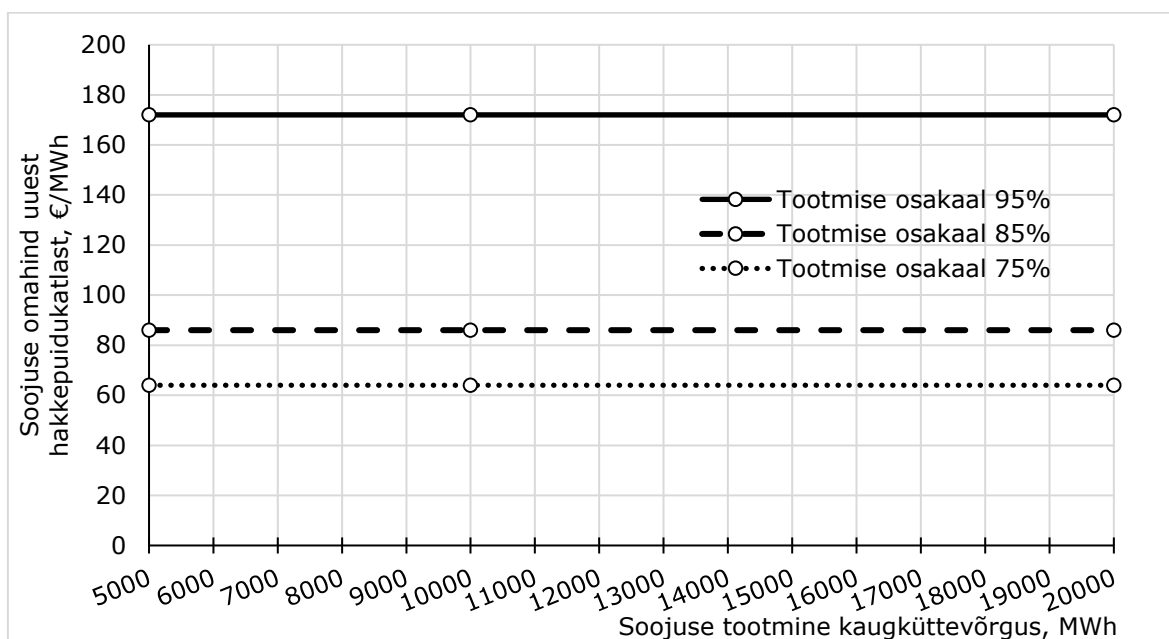
Katla võimsus	1,80	MW
Katla maksumus	745 878	€
Toetus	0%	
Toodang	1501	MWh
Puiduhake maksumus	14,5	€/MWh
Hakkepuidukatla kasutegur	85%	
Muutuvkulud	0,5	€/MWh
Püsikulud	5%	
Tehniline eluiga	20	a
WACC	6%	
Aastane kütuse kulu	25 605	€
Aastane käidukulu	38044	€
Aastane kapitalikulu	65 029	€
Aastased kulud kokku	128 679	€
Soojuse omahind	86	€/MWh

Arvutustest on nähtav, et 86 €/MWh on liiga kõrge hind. Ideaalses variandis soojuse omahind peab olema: gaasi hind/kasutegur = 39 (€/MWh) / 0,92 liigikaudu = 42 €/MWh (referentshind).

Baasvariandis see ei ole konkurentsivõimeline. Järgmises peatükis (vt peatükk 8) on analüüsitud soojuse omahinna moodustamist teiste sisenditega, ehk on tehtud tundlikkuse analüüs.

8. TUNDLIKKUSE ANALÜÜS

Erinevate tegurite mõju soojuseomahinnale illustreerib tundlikkusanalüüsi graafiline esitus. Joonistel 8.1, 8.2 ja 8.3 toodud graafikud iseloomustavad soojuseomahinda tundlikkust tootmise osakaalu suhtes vastavalt soojuse tootmise piirkondade (5 000 MWh, 10 000 MWh ja 20 000 MWh) suurustele.



Joonis 8.1. Soojuse omahinda tundlikkuse seos

Joonisel 8.1 toodud soojuse omahinda muutusi kajastab alljärgnev tabel (tabel 8.1):

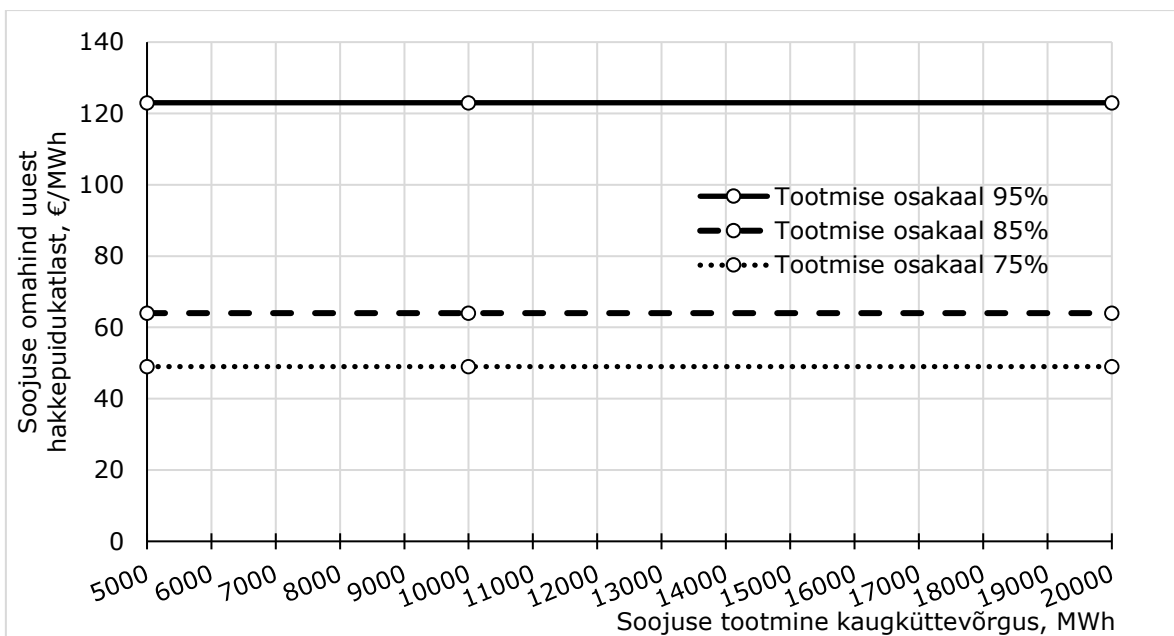
Tabel 8.1 Tundlikkuse tabel

Tootmise osakaal	95%	95%	95%	85%	85%	85%	75%	75%	75%
Soojuse tootmine piirkonnas, MWh	5000	10000	20000	5000	10000	20000	5000	10000	20000
Soojuse omahind, €/MWh	172	172	172	86	86	86	64	64	64

Selleks et arvutada soojuse omahinda, autor tegi muudatusi baasalternatiivi soojuse omahinda arutamistabeli järgmiste näitajatega: katla võimsus ja toodang. Näiteks, arvutame katla võimsust ja toodangut, kus tootmise osakaal on 95% ning soojuse tootmine piirkonnas on 5000 MWh. Saame katla võimsust 0,68 MW ja toodang on 251 MWh, sellega soojuse omahind on 172 €/MWh. Teeme samamoodi teiste näitajatega ja saame esimeses stsenaariumis, et kõige lähedasem väärtus baasalternatiivi väärtusele 42 € on 64 €, kus tootmise osakaal on 75%.

Tabel 8.2. Muudetud baasalternatiivi soojuste omahinda arvutamistabel

Katla võimsus	0,68	MW
Katla maksumus	283 178	€
Toetus	0%	
Toodang	251	MWh
Puiduhake maksumus	14,50	€/MWh
Hakkepuudukatla kasutegur	85%	
Muutuvkulud	0,5	€/MWh
Püsikulud	5%	
Tehniline eluiga	20	a
WACC	6%	
Aastane kütuse kulu	4 278	€
Aastane käidukulu	14284	€
Aastane kapitalikulu	24 689	€
Aastased kulud kokku	43 251	€
Soojuste omahind	172	€/MWh



Joonis 8.2. Soojuste omahinda tundlikkuse seos kus 50% ettevõtte finantseerib ja 50% laenab (võimalik toetus)

Joonisel 8.2 toodud soojuste omahinda muutusi kajastab alljärgnev tabel (tabel 8.3):

Tabel 8.3 Tundlikkuse tabel, kus 50% finantseerib ettevõtte

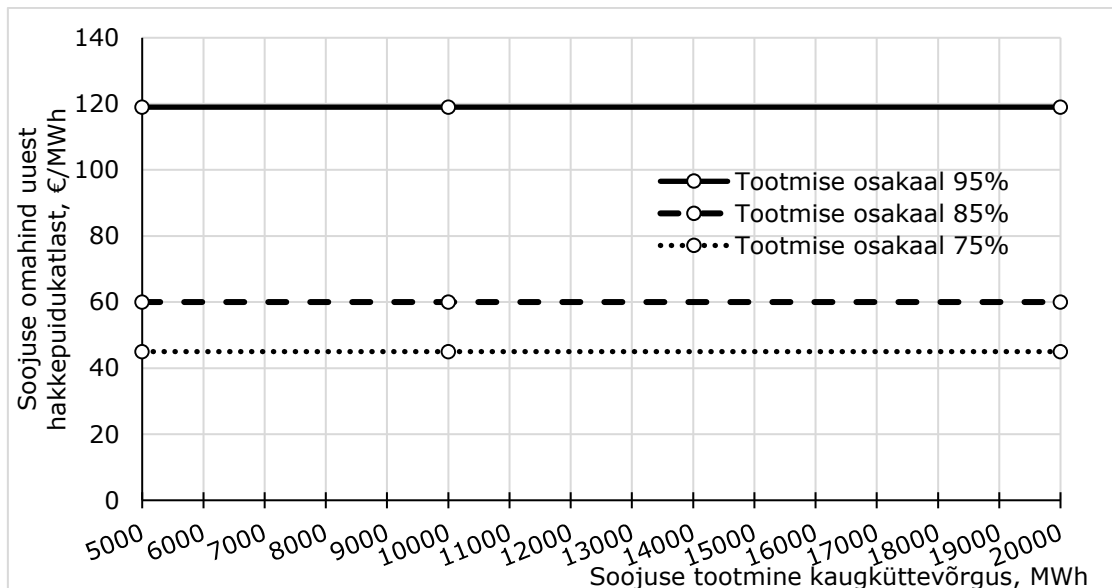
Finantseerimisprotsent	95%	95%	95%	85%	85%	85%	75%	75%	75%
Tootmise osakaal	95%	95%	95%	85%	85%	85%	75%	75%	75%
Soojuste tootmine piirkonnas, MWh	5000	10000	20000	5000	10000	20000	5000	10000	20000
Soojuste omahind, €/MWh	123	123	123	64	64	64	49	49	49

Selle stsenaariumi puhul arvutused on samad nagu eelmisel aga baasalternatiivi soojuse omahinda arvutamistabelis on muudetud toetust 50%-iks.

Tabel 8.4 Muudetud baasalternatiivi soojuse omahinda arvutamistabel, kus toetus on 50%

Katla võimsus	0,68	MW
Katla maksumus	283 178	€
Toetus	50%	
Toodang	251	MWh
Puiduhake maksumus	14,50	€/MWh
Hakkepuidukatla kasutegur	85%	
Muutuvkulud	0,5	€/MWh
Püsikulud	5%	
Tehniline eluiga	20	a
WACC	6%	
Aastane kütuse kulu	4 278	€
Aastane käidukulu	14284	€
Aastane kapitalikulu	12 344	€
Aastased kulud kokku	30 907	€
Soojuse omahind	123	€/MWh

Siin kõige lähedasem väärtus baasalternatiivi väärtusele 42 €/MWh on 49 €/MWh, kus tootmise osakaal on 75%.



Joonis 8.3 Soojuse omahind eeldusel, et investeeringute toetus moodustab 50% kogumaksumusest ja hakkepuidu maksumus on 25% odavam baasmaksumusest

Joonisel 8.3 toodud soojuse omahinda muutusi kajastab alljärgnev tabel (tabel 8.5):

Tabel 8.5 Soojuse omahind eeldusel, et investeeringute toetus moodustab 50% kogumaksumusest ja hakkepuidu maksumus on 25% odavam baasmaksumusest

Tootmise osakaal	95%	95%	95%	85%	85%	85%	75%	75%	75%
Soojuse tootmine piirkonnas, MWh	5000	10000	20000	5000	10000	20000	5000	10000	20000
Soojuse omahind, €/MWh	119	119	119	60	60	60	45	45	45

Kolmas juhtum koondab esimest kaks, kus muutub toetuse protsent, katla võimsus, toodang ning veel hakkepuidu maksumus on 25% odavam ehk 10,9 €/MWh.

Tabel 8.6 Muudetud baasalternatiivi soojuse omahinda arvutamistabel, kus toetus on 50%, ning hakkepuidu maksumus on 25% odavam

Katla võimsus	0,68	MW
Katla maksumus	283 178	€
Toetus	50%	
Toodang	251	MWh
Puiduhake maksumus	10,90	€/MWh
Hakkepuidukatla kasutegur	85%	
Muutuvkulud	0,5	€/MWh
Püsikulud	5%	
Tehniline eluiga	20	a
WACC	6%	
Aastane kütuse kulu	3 216	€
Aastane käidukulu	14284	€
Aastane kapitalikulu	12 344	€
Aastased kulud kokku	29 845	€
Soojuse omahind	119	€/MWh

Tulemuseks on ka nagu kahes eelmises stsenaariumites kõige lähedasem väärtus baasalternatiivi väärtusele 42 €/MWh on 45 €/MWh, kus tootmise osakaal on 75%.

9. TULEMUSTE ANALÜÜS JA DISKUSSIOON

Oma uurimustöö alguses, magistritöö autor püstitas endale uurimusprobleemi, kas on otstarbekas teha katla üleminek 100% biomassile sellistes piirkondades, millistes seda tehakse ainult osaliselt. Oli uuritud palju kirjandust, välja töötatud lisa biokütuste katla otstarbekuse hindamise metoodika mis põhineb katla soojuse omahinda leidmisel ja võrdsustamisel referentshinnaga.

Peatükis 7 oli ammendatavalt kirjeldatud tehnilis-majanduslikud arvutused. Selleks et arvutada soojuse omahinda oli nõutud sellised sisendandmed nagu katla võimsus ja katla maksumus, mis sõltuvad olemasolevast katla soojuse toodangust. Toetus oli 0 €, see tähendab et ettevõtte finantseerib täisprojekti. Hakkepuidu maksumus on 14,50 €/MWh, kasutegur 85%, muutuv kulud 0,5 €/MWh, püsikulud 5%, katla tehniline eluiga on 20 aastat, WACC on võetud 6%. Nende andmete põhjal oli leitud aastased kapitalikulud mis moodustasid 65 029 €, kütusekulud 25 605 € ja käidukulud 38 045 €. Lõpuks aastased kulud kokku moodustasid 128 679 € ja soojuse omahinnaks kujunes 86 €/MWh. See hind on liiga kõrge selleks, et uue biokütuste katla poolt toodetud soojuse maksumus oleks konkurentsivõimeline olemasolevate lahendustega (maagaasiga toodetud soojuse eeldatav, ehk referentshind on 42 €/MWh).

Tundlikkuse analüüsi aluseks (peatükk 8) olid võetud olemasoleva biokütuste katla soojuse tootmise osakaalud: 95%, 85% ja 75% ja kolm soojuse tootmise piirkonda (5000 MWh, 10 000 MWh ja 20 000 MWh). Kasutades peatükis 7 saadud baasalternatiivi soojuse omahinda arvutamistabelit oli esitatud kolm stsenaariumit, mille juures esimene on tavaline stsenaarium, teine on 50% finantseerib ettevõtte ja 50% on võimalik toetus ja kolmas, mille juures toetus on 50% ja hakkepuidu maksumus on 25% odavam võrreldes hakkepuidu baasmaksumusega.

Tulemusena soojuse omahind kõikidel lahendustel jäi suuremaks eeldatavast referentshinnast, ehk > 42 €/MWh. Kõige ligilähedased tulemused on saadud ainult siis kui olemasoleva biokütuste katlaga tootmise osakaal oli tagasihoidlikum, ehk 75% (vastavalt stsenaariumidele 64 €/MWh, 49 €/MWh ja 45 €/MWh.). See näitab, et uue biokütuste katla planeerimisel tuleb eelistada ainult neid kohti kus olemasoleva katla poolt toodetud soojuse osakaal on võimalikult väike andes uuele biokütuste katlale rohkem koormust soojuse tootmiseks.

Põhimõtteliselt toetuse saamine omab samuti suurt rolli ja on hädavajalik selliste projektide elluviimisel.

Tuleb mainida ka seda, et olukorras, kus uue biokütuste katla soojuse maksumus jääb mõnevõrra kõrgem võrreldes baasalternatiiviga, omab biokütuste kasutamine ka palju eeliseid võrreldes maagaasiga. Biokütuste kasutamisel ei eraldu CO₂ heitmeid, väheneb import, suureneb kohalikke kütuste kasutamine mis mõjutab positiivselt Eesti metsandussektorile.

Arvan, et arvutustulemused on lootust andvad ja julgustavad kaugküttevõrku ettevõtteid lisa biokütuste katelde ehitamist. Potentsiaalseteks kohtadeks võiksid olla Keila, Rapla, Kolga-Jaani, Kuusalu ja ka Tallinn. Otsus peaks tulema lisauuringute alusel mis arvestaksid konkreetse asukoha spetsiifikaga.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida võimalused ja tingimused mille korral on otstarbekas teha katla üleminek 100% biomassile sellistes piirkondades, kus seda tehakse ainult osaliselt. Oli välja töötatud meetoodika, mille abil oli tehtud uurimistöö ja oli saadud magistritöö tulemused. Kõik alameesmärgid on täidetud.

Puiduenergia Eestis areneb väga kiiresti, palju tavalisi katlamaju vahetatakse ümber biokütustel töötavateks katlamajadeks. Ehitatakse elektri ja soojuse koostootmisjaamasid. Metsaomanike jaoks tähendab see, et nõudlus hakkepuidu järele on kasvamas ja see annab lisavõimalusi tõsta madalkvaliteetse kütuste kasutamise võimalusi. Eestis on 2 330 600 ha metsamaad, mis moodustab 51,4 % maismaa pindalast. See on rohkem kui pool Eesti pindalalt. Raiemaht Eestis on väiksem kui juurdekasv – on võimalik kasutada puidu erinevateks eesmärkideks.

Hakkepuidu kasutamise tõusu potentsiaali omavad nii need piirkonnad ja asukohad, kus ei ole hakkepuidu kasutamine kaugküttes veel rakendatud (kasutatakse maagaasi või kütteõli), kui ka need, kus tahkekütuste katel katab osa kogu soojuse väljastusest. Valik asukohtadest, kus on plaanis rakendada hakkepuidu katelt baaskoormuse katmiseks on Jõgeva, Keila, Rapla, Kolga-Jaani, Paldiski, Laagri, Loo, Võru, Kuusalu ja Nõo. Veel üheks potentsiaalseks asukohaks on ka Tallinn.

Selleks et saavutada magistritöö eesmärki – kas on otstarbekas biomassiga töötava katla paigaldamine, oli välja töötatud meetoodika ja meetoodilise lähenemise skeem. Iga skeemi näitaja on analüüsitud, arvutatud ja leitud.

Selleks et leida uue biokütuste katla võimsust ja toodangut oli oluline koostada konkreetse piirkonna soojuskoormuse kestusgraafikut ja teada olemasoleva biokütuste katla võimsust. Need on muutuvandmed ja nende analüüs annab paremini mõista uue biokütuste katla soojuse maksumuse kujundamist.

Investeeringute hindamiseks sai uuritud Euroopa Struktuuri- ja investeerimisfondidest toetatud projektid. Nende maksumused ning katlamajade katelde võimsused. Suurtes osades projektide eesmärkideks oli kaugkütte soojustorustikke renoveerimine või absoluutselt uue taastuenergiat tootva kaasaegse nõuetele vastavat, energiatõhusat katlamaja installeerimine. See uuring oli tehtud selleks et analüüsida, uurida ja tuletada võrrandit, mis näitaks katla võimsuse seost katla maksumusega ning edaspidi kasutada selle arvutamiseks.

Tehnilis-majanduslikud arvutused näitavad kuidas leida soojuse omahinda uuele katlale, kasutades magistritöös pakutud metoodikat. Selleks olid vajalikud, esiteks, fikseeritud sisendandmed nagu soojuse toodang, olemasoleva biokütuste katla soojustoodangu osakaal, katla tehniline eluiga, hakkepuidu maksumus ja uue biokütuste katla kasutegur ning investeeringu seos (võrrand). Teiseks, olid vajalikud arvutusvalemid, selleks et arvutada soojuse toodang uue katlaga, kapitalikulu, kütusekulu, käidukulud. Kokkuvõtteks kasutades neid andmeid oli leitud uue biokütuste katla toodetud soojuse omahind. Kahjuks, arvutustest on nähtav, et saadud soojuse omahind on liiga kõrge – see ei ole konkurentsivõimeline.

Tundlikkuse analüüs oli tehtud kasutades baasalternatiivi soojuse omahinda arvutamistabelit (tehnilis-majanduslikud arvutused) kolmele stsenaariumile.

Esimesel stsenaariumil muutub olemasoleva biokütuste katla võimsus ja piirkonna suurus, ehk soojuse toodang piirkonnas. Teine stsenaarium eeldab toetuse saamist (50% investeeringust on kaetud toetusega). Kolmas stsenaarium, kus toetus moodustab 50% ja hakkepuidu maksumus on 25% odavam võrreldes kütuse baasmaksumusega (vastavalt 60 € ja 86 €). Igale stsenaariumile tehtud arvutustulemused on koondatud tabelitesse, mis näitavad soojuse tootmise osakaalu olemasolevas biokütuste katlas, soojuse tootmist piirkonnas ja arvutatud soojuse omahinda.

Arvutustulemused näitavad, et isegi kõige soodsamatel eeldatud tingimustel uue biokütuste katla poolt toodetud soojuse omahind jääb maagaasikatlaga toodetud soojuse omahinnast veidi kõrgem (vastavalt 45 € ja 42 €).

Samas, kui oleks võimalik saada investeeringute toetust ja uue biokütuste katla aastane soojuse tootmine oleks suurem kui 25% kogu piirkonna soojusvajadusest, on otstarbekas hinnata uue biokütuste katla paigaldamist tippkoormuse katteks olemasoleva biokütuste katla juurde.

Arvutustulemused on lootust andvad biokütuse katelde ehitamisele tippkoormuse katteks. Potentsiaalseteks kohtadeks võiksid olla, näiteks, Keila, Rapla, Kolga-Jaani, Kuusalu, Tallinn. Otsus peaks tulema lisauuringute alusel mis arvestaksid konkreetse asukoha spetsiifikaga.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to study the possibilities and conditions in which boiler transition to 100% biomass is rational in such areas where the transition is partially done. A methodology has been worked out to be used in the research to obtain the results of the master's thesis. All purposes of the thesis have been fulfilled.

Wood energy in Estonia is developing at a fast pace, plenty of ordinary boilerhouses are being converted into boilerhouses running on biofuel. Combined heat and power plants are being built. For forest owners, this means that the demand for wood chips is growing and this provides additional opportunities to increase the use of low-quality fuels. There are 2,330,600 ha of forest land in Estonia, which is 51.4 % of the area. This is more than half of Estonia's area. The volume of felling in Estonia is smaller than the foresting volume – this produces possibility to use wood for various purposes.

There is potential of wood usage growth at the areas and locations where the use of wood chips for district heating has not yet been implemented (natural gas or fuel oil is used) as well as those areas where the solid fuel boiler's produce covers part of the total heat output. The potential choice of locations where it is planned to use a woodchip boiler to cover the base load is Jõgeva, Keila, Rapla, Kolga-Jaani, Paldiski, Laagri, Loo, Võru, Kuusalu and Nõo. Additional potential location is Tallinn.

In order to achieve the purpose of the master's thesis - whether it is expedient to install a biomass boiler, a methodology and methodological scheme were elaborated. Each scheme indicator has been analysed, calculated and found.

In order to find the capacity and production of a new biofuel boiler, the duration graph of the heat load in a specific area had to be drawn and the capacity of the existing biofuel boiler had to be found. These are variables and their analysis has provided a better understanding of the cost of heat for a new biofuel boiler.

In order to evaluate the investments, the projects supported by the European Structural and Investment Funds were studied. Their costs and the boiler capacities of boilerhouses. Mainly the aim of the projects was to renovate district heating pipelines or to install an absolutely new, energy-efficient boilerhouse, which is able to produce renewable energy that meets the requirements. This research was done in order to analyse, study and derive an equation that would show the ratio of boiler power to the cost of the boiler and further use it in calculations.

Technical and economic calculations, done by using master's thesis methodology, show how to find the net value of heat for a new boiler. In order to conduct the calculations, the fixed input data such as heat production, the share of heat production of the existing biofuel boiler, the technical life of the boiler, the cost of wood chips, the efficiency of the new biofuel boiler and the investment relationship (equation) are required. Also required calculation formulas to calculate heat production with a new boiler, capital cost, fuel consumption, operating costs. In conclusion, using all the above-mentioned data the net value of heat produced by the new biofuel boiler was found. Unfortunately, the calculations show that the net value of heat obtained is too high - it is not competitive.

The sensitivity analysis was performed by using the basic alternative heat cost calculation table (technical and economic calculations). By changing the data in the table, three scenarios were simulated.

In the first scenario, the capacity of the existing biofuel boiler and the size of the area is changed, so heat production in the area. The second scenario requires subsidy (50% of the investment is covered by repayable aid). The third scenario where the subsidy is 50% and the cost of wood chips is 25% cheaper compared to the base cost of fuel (€ 60 and € 86, respectively). The calculation results for each scenario are summarized in tables showing the share of heat production in the existing biofuel boiler, heat production in the area and the calculated net value of the heat.

The calculation results show that even under the most favourable expected conditions, the cost price of heat produced by a new biofuel boiler will be slightly higher than the cost price of heat produced by the natural gas boiler (€ 45 and € 42, respectively).

However, if it is possible to receive investment support and the annual heat production of the new biofuel boiler would exceed 25% of the heat demand of the whole region, it is expedient to assess the installation of a new biofuel boiler to cover the peak load of the existing biofuel boiler.

The calculation results are promising for the construction of biofuel boilers to cover peak load. Potential places could be, for example, Keila, Rapla, Kolga-Jaani, Kuusalu, Tallinn. The decision should be based on additional studies that take into account the specifics of a particular location.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Keskkonnaministeerium, “Metsastatistika,” 2018. [Online]. Available: <https://www.envir.ee/et/metsastatistika>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [2] Riigikogu, “Metsaseadus,” Tallinn, 2019.
- [3] Keskkonnaministeerium, “Eesti metsad 2010.” Tallinn, p. 21, 2012.
- [4] Erametsakeskus, “Лесная и деревообрабатывающая промышленность.” .
- [5] Erametsakeskus, “Энергетическая древесина.” [Online]. Available: <https://www.eramets.ee/drevesnaya-energetika/>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [6] Erametsakeskus, “Valmis puidutootmiseks kasutatava metsavaru analüüs.” [Online]. Available: <https://www.eramets.ee/metsandusuudised/valmis-puidutootmiseks-kasutatava-metsavaru-analuus/>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [7] Å.-C. Jõgeva linnavalitsus, “Jõgeva linna soojusmajanduse arengukava aastateks 2017 – 2026,” p. 68, 2017.
- [8] Keila linnavalitsus ÅF-Consulting AS, “Keila linna soojusmajanduse arengukava aastateks 2016 – 2026,” p. 56, 2016.
- [9] Å.-C. A. Rapla Vallavalitsus, “Rapla linna soojusmajanduse arengukava,” p. 72, 2016.
- [10] Kolga-jaani Vallavalitsus and Å.-C. AS, “Kolga-Jaani kaugküttepiirkonna soojusmajanduse arengukava,” p. 44, 2016.
- [11] I. Krupenski, “PALDISKI LINNA SOOJUSMAJANDUSE ARENGUKAVA AASTATEKS 2016-2026,” no. 096048, p. 39, 2016.
- [12] Å.-C. A. Saue vallavalitsus, “Saue valla Laagri aleviku kaugküttepiirkonna soojusmajanduse arengukava 2015-2025,” p. 50, 2015.
- [13] Å.-C. A. Jõelähtme Vallavalitsus, “Jõelähtme valla Loo aleviku kaugküttepiirkonna soojusmajanduse arengukava 2015-2025,” p. 72, 2015.

- [14] Ä.-C. A. Võru Linnavalitsus, “Võru linna soojusmajanduse arengukava aastateks 2016 – 2027 Osa II Kesklinna võrgupiirkond,” no. 23, p. 39, 2016.
- [15] Ä.-C. A. Kuusalu Vallavalitsus, “Kuusalu valla Kuusalu ja Kolga kaugküttepiirkondade soojusmajanduse arengukavad aastateks 2015-2025,” pp. 1–56, 2015.
- [16] O. Pilvero, “Nõo valla soojusmajanduse arengukava aastateks 2016-2026,” p. 141, 2016.
- [17] V. Vares, P. Muiste, S. Soosaar, and T. V. Vares, *Biokütuse kasutaja käsiraamat*. Tallinn, 2005.
- [18] Ü. Kask, “Kaugküte. Mugav, tõhus ja soodne,” p. 34, 2013.
- [19] A. Loigu, E., Kõiv, “Eesti kraadpäevad,” *TTÜ Keskondatehnika Inst.*, p. 69, 2006.
- [20] J. Kurnitski *et al.*, “Hoonete arvutuslike energiamärgiste vastavus tegelikule tarbimisele.,” *Tallinna Teh.*, p. 50, 2016.
- [21] “Võrgukaod: kaugküte – Energiatalgud.” [Online]. Available: https://energiatalgud.ee/index.php/Võrgukaod:_kaugküte. [Accessed: 07-Feb-2020].
- [22] Konkurentsiamet, “Referentshinna rakendamise võimalused kaugküttesektoris,” 2015.
- [23] V. Vares, “Biomassi tehnoloogiauringud ja tehnoloogiate rakendamine Eestis,” 2008.
- [24] Struktuurifondid, “Euroopa Struktuuri- ja investeerimisfondidest toetatud projektid.” .
- [25] A. Reino, “Tead Adavere ja Väike-Maarja soojusvarustuse kohta,” 2016. [Online]. Available: <https://www.adven.ee/ee/uudised/uudisvoog/teade-adavere-ja-vaike-maarja-soojusvarustuse-kohta/>. [Accessed: 25-Jan-2020].
- [26] K. Koppelmaa, “Raasiku SW Energia uus katlamaja töötab, Arukülas ja Kehras valmivad aprillis,” 2019. [Online]. Available: <https://sonumitooja.ee/raa-si-ku-sw-ener-gia-uus-kat-la-ma-ja-too-tab-ar-ku-las-ja-keh-ras-val-mi-vad-ap-ril-lis/>.

[Accessed: 27-Jan-2020].

- [27] Priit Tiit, “Adven alustas Haabneeme biokütuste katlamaja ehitusega.” [Online]. Available: <https://www.adven.ee/ee/uudised/uudisvoog/adven-alustas-haabneeme-biokutuste-katlamaja-ehitusega/>. [Accessed: 23-Jan-2020].
- [28] Ä.-C. A. Kanepi Vallavalitsus, “Kanepi aleviku soojusmajanduse arengukava aastateks 2016 – 2026,” 2016.
- [29] SW Energia, “Kehra kaugküttevõrgus on peatselt uus biokütuse katlamaja.” [Online]. Available: <https://swenergia.ee/ala/kehra-kaugkuttevorgus/>. [Accessed: 20-Jan-2020].
- [30] Priit Tiit, “Adven alustas Kunda biokütuste katlamaja ehitusega.” [Online]. Available: <https://www.adven.ee/ee/uudised/uudisvoog/adven-alustas-kunda-biokutuste-katlamaja-ehitusega/>. [Accessed: 20-Jan-2020].
- [31] Urmo Heinam, “Adven sõlmis Laagri ja Loo katlamajade seadmete tarne- ja ehituslepingud.” [Online]. Available: <https://www.adven.ee/ee/uudised/uudisvoog/adven-solmis-laagri-ja-loo-katlamajade-seadmete-tarne-ja-ehituslepingud/>. [Accessed: 23-Jan-2020].
- [32] SW Energia, “Luunja uus loodushoidlik katlamaja valmib SW Energia käe all,” 2018. [Online]. Available: <https://swenergia.ee/luunja-uus-loodushoidlik-katlamaja-2/>. [Accessed: 26-Jan-2020].
- [33] A. Reino, “Teade Narva-Jõesuu soojusvarustuse kohta.” [Online]. Available: <https://www.adven.ee/ee/uudised/uudisvoog/teade-narva-joesuu-soojusvarustuse-kohta/>. [Accessed: 20-Jan-2020].
- [34] E. I. O. Orissaare Vallavalitsus, “Orissaare aleviku soojamajanduse arengukava 2016-2026,” 2016.
- [35] T. Käos, “Otepää tegeleb katlamaja arendamisega.” [Online]. Available: <https://lounapostimees.postimees.ee/2221377/otepaa-tegeleb-katlamaja-arendamisega/>. [Accessed: 30-Jan-2020].
- [36] K. P. Bogdanov and M. T. Ü. Letek, “Leisi valla, Pärsama kaugkütte

võrgupiirkonna soojamajanduse arengukava 2016 – 2026,” pp. 1–36, 2016.

- [37] A. Reino, “Teade Püssi ja Saue soojusvarustuse kohta.” [Online]. Available: <https://www.adven.ee/ee/uudised/uudisvoog/teade-pussi-ja-saue-soojusvarustuse-kohta/>. [Accessed: 30-Jan-2020].
- [38] “Raasikule ja Arukülla veel tänavu uued katlamajad,” 2018. [Online]. Available: <https://swenergia.ee/raa-si-ku-le-ja-arukul-la-veel-ta-na-vu-uued-kat-la-ma-jad/>. [Accessed: 30-Jan-2020].
- [39] Ü. Kask, “Taagepera küla kaugküttepiirkonna soojusmajanduse arengukava aastateks 2017–2027,” pp. 1–43, 2017.
- [40] Джон Теннент, “Управление денежными потоками.” .
- [41] “Kulud ja raamatupidamine - EAS.” [Online]. Available: <https://www.eas.ee/alustav/ari-planeerimine/kulud-ja-raamatupidamine/>. [Accessed: 15-Mar-2020].
- [42] “11 nippi, kuidas oma ettevõtte kulusid kontrollida.” [Online]. Available: <https://robbybobby.ee/finantsjuhtimine/11-nippi-kuidas-oma-ettevotte-kulusid-kontrollida/>. [Accessed: 15-Mar-2020].

LISAD

Lisa 1. Soojuskoormuse kestusgraafikute koostamiseks andmed

KÜTE JA VENTILATSIOON

tasakaalu temp	17
kraadpäevad	4151,2
kraadtunnid	99628,8
tarbimine aastas	6375
tegur	15,6280471
temp lõpetamiseks/alustamiseks	17

SOE TARBEVESI

tarbimine aastas	2125
võrgu töötamise aeg, päevades	364,7
võrgu töötamise aeg, tundides	8752,8

SOOJUSKAOD

aastane soojuskadu	1500
kraadpäevad	24056,4
kraadtunnid	577353,6
tegur	0,00259806

Tootmine (baaskoormus) (MWh)	10000	
Kaod (MWh)	1500	15%
Tarbimine (MWh)	8500	
Soe tarbevesi (MWh)	2125	25%
Küte ja ventilatsioon (MWh)	6375	

KRAADPÄEVAD					Küte ja ventilatsioon		Soe tarbevesi	
temp	päevad	temp vahe	temp kestus päevades	kraadpäevad tempi juures	MW	MWh	MW	MWh
-24	0,9	41	1	41	2,62	62,96	0,2	5,2
-23	1,2	40	0,3	12	2,56	18,43	0,2	1,7
-22	1,5	39	0,3	11,7	2,50	17,97	0,2	1,7
-21	1,8	38	0,3	11,4	2,43	17,51	0,2	1,7
-20	2,5	37	0,7	25,9	2,37	39,77	0,2	4,1
-19	3	36	0,5	18	2,30	27,64	0,2	2,9
-18	3,7	35	0,7	24,5	2,24	37,62	0,2	4,1
-17	4,8	34	1,1	37,4	2,18	57,44	0,2	6,4
-16	5,8	33	1	33	2,11	50,68	0,2	5,8
-15	7,3	32	1,5	48	2,05	73,71	0,2	8,7
-14	9,5	31	2,2	68,2	1,98	104,73	0,2	12,8
-13	11,6	30	2,1	63	1,92	96,75	0,2	12,2
-12	13,6	29	2	58	1,86	89,07	0,2	11,7
-11	16,3	28	2,7	75,6	1,79	116,10	0,2	15,7
-10	20,1	27	3,8	102,6	1,73	157,56	0,2	22,1
-9	23,9	26	3,8	98,8	1,66	151,73	0,2	22,1
-8	29,1	25	5,2	130	1,60	199,64	0,2	30,3
-7	34,8	24	5,7	136,8	1,54	210,08	0,2	33,2
-6	41,7	23	6,9	158,7	1,47	243,72	0,2	40,2
-5	48,3	22	6,6	145,2	1,41	222,98	0,2	38,5
-4	56,8	21	8,5	178,5	1,34	274,12	0,2	49,5
-3	65,9	20	9,1	182	1,28	279,50	0,2	53,0
-2	76,2	19	10,3	195,7	1,22	300,54	0,2	60,0
-1	87,8	18	11,6	208,8	1,15	320,65	0,2	67,6
0	102,3	17	14,5	246,5	1,09	378,55	0,2	84,5
1	120,8	16	18,5	296	1,02	454,57	0,2	107,8
2	140,1	15	19,3	289,5	0,96	444,59	0,2	112,5
3	155,2	14	15,1	211,4	0,90	324,65	0,2	88,0
4	167	13	11,8	153,4	0,83	235,58	0,2	68,8
5	178,2	12	11,2	134,4	0,77	206,40	0,2	65,3
6	187,9	11	9,7	106,7	0,70	163,86	0,2	56,5
7	198,7	10	10,8	108	0,64	165,86	0,2	62,9
8	209	9	10,3	92,7	0,58	142,36	0,2	60,0
9	219,7	8	10,7	85,6	0,51	131,46	0,2	62,3
10	231,4	7	11,7	81,9	0,45	125,77	0,2	68,2
11	243,8	6	12,4	74,4	0,38	114,26	0,2	72,3
12	256,6	5	12,8	64	0,32	98,28	0,2	74,6
13	269,2	4	12,6	50,4	0,26	77,40	0,2	73,4
14	284,2	3	15	45	0,19	69,11	0,2	87,4
15	299,3	2	15,1	30,2	0,13	46,38	0,2	88,0
16	315,6	1	16,3	16,3	0,06	25,03	0,2	95,0
17	328,1	0	12,5	0	0,00	0,00	0,2	72,8
18	339,2	0	0	0	0,00	0,00	0,2	64,7
19	347,5	0	0	0	0,00	0,00	0,2	48,4
20	354,1	0	0	0	0,00	0,00	0,2	38,5
21	358,7	0	0	0	0,00	0,00	0,2	26,8
22	362	0	0	0	0,00	0,00	0,2	19,2
23	363,8	0	0	0	0,00	0,00	0,2	10,5
24	364,7	0	0	0	0,00	0,00	0,2	5,2

Soojuskadu								SOOJUSE VÄLIJASTUS	
PV temp	TV temp	keskmise temp	keskkonna temp	temp vahe	kraadpäevad	kaod MW	kaod MWh	MW	MWh
110	85	97,5	6	91,5	91,5	0,24	5,1	3,10	73,34
109	84	96,5	6	90,5	27,2	0,24	1,7	3,04	21,87
108	83	95,5	6	89,5	26,9	0,23	1,7	2,97	21,39
107	82	94,5	6	88,5	26,6	0,23	1,7	2,90	20,91
106	81	93,5	6	87,5	61,3	0,23	3,8	2,84	47,67
105	80	92,5	6	86,5	43,3	0,22	2,7	2,77	33,25
104	79	91,5	6	85,5	59,9	0,22	3,7	2,70	45,44
103	78	90,5	6	84,5	93,0	0,22	5,8	2,64	69,64
102	77	89,5	6	83,5	83,5	0,22	5,2	2,57	61,71
101	76	88,5	6	82,5	123,8	0,21	7,7	2,50	90,17
100	75	87,5	6	81,5	179,3	0,21	11,2	2,44	128,73
99	74	86,5	6	80,5	169,1	0,21	10,5	2,37	119,53
98	73	85,5	6	79,5	159,0	0,21	9,9	2,30	110,64
97	72	84,5	6	78,5	212,0	0,20	13,2	2,24	145,05
96	71	83,5	6	77,5	294,5	0,20	18,4	2,17	198,07
95	70	82,5	6	76,5	290,7	0,20	18,1	2,11	191,99
94	69	81,5	6	75,5	392,6	0,20	24,5	2,04	254,42
93	68	80,5	6	74,5	424,7	0,19	26,5	1,97	269,77
92	67	79,5	6	73,5	507,2	0,19	31,6	1,91	315,54
91	66	78,5	6	72,5	478,5	0,19	29,8	1,84	291,28
90	65	77,5	6	71,5	607,8	0,19	37,9	1,77	361,54
89	64	76,5	6	70,5	641,6	0,18	40,0	1,71	372,52
88	63	75,5	6	69,5	715,9	0,18	44,6	1,64	405,19
87	62	74,5	6	68,5	794,6	0,18	49,5	1,57	437,79
86	61	73,5	6	67,5	978,8	0,18	61,0	1,51	524,07
85	60	72,5	6	66,5	1230,3	0,17	76,7	1,44	639,07
84	59	71,5	6	65,5	1264,2	0,17	78,8	1,37	635,86
83	58	70,5	6	64,5	974,0	0,17	60,7	1,31	473,36
82	57	69,5	6	63,5	749,3	0,16	46,7	1,24	351,05
81	56	68,5	6	62,5	700,0	0,16	43,6	1,17	315,30
81	56	68,5	6	62,5	606,3	0,16	37,8	1,11	258,18
81	56	68,5	6	62,5	675,0	0,16	42,1	1,05	270,87
81	56	68,5	6	62,5	643,8	0,16	40,1	0,98	242,51
81	56	68,5	6	62,5	668,7	0,16	41,7	0,92	235,50
81	56	68,5	6	62,5	731,3	0,16	45,6	0,85	239,54
81	56	68,5	6	62,5	775,0	0,16	48,3	0,79	234,83
81	56	68,5	6	62,5	800,0	0,16	49,9	0,73	222,75
81	56	68,5	6	62,5	787,5	0,16	49,1	0,66	199,92
81	56	68,5	6	62,5	937,5	0,16	58,5	0,60	214,96
81	56	68,5	6	62,5	943,8	0,16	58,8	0,53	193,21
81	56	68,5	6	62,5	1018,8	0,16	63,5	0,47	183,53
81	56	68,5	6	62,5	781,3	0,16	48,7	0,41	121,55
81	56	68,5	6	62,5	693,7	0,16	43,3	0,41	107,93
81	56	68,5	6	62,5	518,8	0,16	32,3	0,41	80,71
81	56	68,5	6	62,5	412,5	0,16	25,7	0,41	64,18
81	56	68,5	6	62,5	287,5	0,16	17,9	0,41	44,73
81	56	68,5	6	62,5	206,3	0,16	12,9	0,41	32,09
81	56	68,5	6	62,5	112,5	0,16	7,0	0,41	17,50
81	56	68,5	6	62,5	56,2	0,16	3,5	0,41	8,75

Lisa 2. Biokütuste katla poolt toodetud energia graafiku andmed

Olemasolevad võimsused

Võimsus (MW)	1,735122
Minimaalne töökoormus	0%
Minimaalne töökoormus (MW)	0
Toodang (MWh)	9492,8
Toodang	95%
Olemasolev biokütuste katel	

Uus võimalik biokütuste katel

Võimsus (MW)	1,37
Toodang (MWh)	500,3
Toodang	5%

Kogutoodang (MWh)	9993,1
-------------------	--------

Katel 3. Biokatel

Võimsus (MW)	1,5
Minimaalne töökoormus	23%
Minimaalne töökoormus (MW)	0,345
Toodang (MWh)	9070,70
Toodang	

Temp, t °C	päevad	KOGU	HAKKEPUIDUKATEL		GAASIKATEL		Biokatel	
		MW	MW	MWh	MW	MWh	MW	MWh
-24	0,9	3,10	1,74	37,5	1,37	29,6	1,50	32,40
-23	1,2	3,04	1,74	12,5	1,30	9,4	1,50	10,80
-22	1,5	2,97	1,74	12,5	1,24	8,9	1,50	10,80
-21	1,8	2,90	1,74	12,5	1,17	8,4	1,50	10,80
-20	2,5	2,84	1,74	29,2	1,10	18,5	1,50	25,20
-19	3	2,77	1,74	20,8	1,04	12,4	1,50	18,00
-18	3,7	2,70	1,74	29,2	0,97	16,3	1,50	25,20
-17	4,8	2,64	1,74	45,8	0,90	23,8	1,50	39,60
-16	5,8	2,57	1,74	41,6	0,84	20,1	1,50	36,00
-15	7,3	2,50	1,74	62,5	0,77	27,7	1,50	54,00
-14	9,5	2,44	1,74	91,6	0,70	37,1	1,50	79,20
-13	11,6	2,37	1,74	87,5	0,64	32,1	1,50	75,60
-12	13,6	2,30	1,74	83,3	0,57	27,4	1,50	72,00
-11	16,3	2,24	1,74	112,4	0,50	32,6	1,50	97,20
-10	20,1	2,17	1,74	158,2	0,44	39,8	1,50	136,80
-9	23,9	2,11	1,74	158,2	0,37	33,8	1,50	136,80
-8	29,1	2,04	1,74	216,5	0,30	37,9	1,50	187,20
-7	34,8	1,97	1,74	237,4	0,24	32,4	1,50	205,20
-6	41,7	1,91	1,74	287,3	0,17	28,2	1,50	248,40
-5	48,3	1,84	1,74	274,8	0,10	16,4	1,50	237,60
-4	56,8	1,77	1,74	354,0	0,04	7,6	1,50	306,00
-3	65,9	1,71	1,71	372,5	0,00	0,0	1,50	327,60
-2	76,2	1,64	1,64	405,2	0,00	0,0	1,50	370,80
-1	87,8	1,57	1,57	437,8	0,00	0,0	1,50	417,60
0	102,3	1,51	1,51	524,1	0,00	0,0	1,50	522,00
1	120,8	1,44	1,44	639,1	0,00	0,0	1,44	639,07
2	140,1	1,37	1,37	635,9	0,00	0,0	1,37	635,86
3	155,2	1,31	1,31	473,4	0,00	0,0	1,31	473,36
4	167	1,24	1,24	351,1	0,00	0,0	1,24	351,05
5	178,2	1,17	1,17	315,3	0,00	0,0	1,17	315,30
6	187,9	1,11	1,11	258,2	0,00	0,0	1,11	258,18
7	198,7	1,05	1,05	270,9	0,00	0,0	1,05	270,87
8	209	0,98	0,98	242,5	0,00	0,0	0,98	242,51
9	219,7	0,92	0,92	235,5	0,00	0,0	0,92	235,50
10	231,4	0,85	0,85	239,5	0,00	0,0	0,85	239,54
11	243,8	0,79	0,79	234,8	0,00	0,0	0,79	234,83
12	256,6	0,73	0,73	222,7	0,00	0,0	0,73	222,75
13	269,2	0,66	0,66	199,9	0,00	0,0	0,66	199,92
14	284,2	0,60	0,60	215,0	0,00	0,0	0,60	214,96
15	299,3	0,53	0,53	193,2	0,00	0,0	0,53	193,21
16	315,6	0,47	0,47	183,5	0,00	0,0	0,47	183,53
17	328,1	0,41	0,41	121,5	0,00	0,0	0,41	121,55
18	339,2	0,41	0,41	107,9	0,00	0,0	0,41	107,93
19	347,5	0,41	0,41	80,7	0,00	0,0	0,41	80,71
20	354,1	0,41	0,41	64,2	0,00	0,0	0,41	64,18
21	358,7	0,41	0,41	44,7	0,00	0,0	0,41	44,73
22	362	0,41	0,41	32,1	0,00	0,0	0,41	32,09
23	363,8	0,41	0,41	17,5	0,00	0,0	0,41	17,50
24	364,7	0,41	0,41	8,8	0,00	0,0	0,41	8,75