

Energiatehnoloogia instituut

**KÕRGEPINGE ELEKTROODKATLA KASUTAMINE  
SOOJUSENERGIA TOOTMISEKS  
KAUGKÜTTEVÕRGUS TALLINNA MUSTAMÄE  
KATLAMAJA NÄITEL**

**APPLICATION OF HIGH VOLTAGE ELECTRODE BOILER  
FOR HEAT PRODUCTION IN DISTRICT HEATING BASED  
ON TALLINN MUSTAMAE BOILER HOUSE CASE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Aleksandr Godõrev

Üliõpilaskood 191988MASM

Juhendaja: Igor Krupenski, lektor

(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: .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Aleksandr Godõrev (sünnikuupäev: 14.11.1993 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Kõrgepingele elektroodkatla kasutamine soojusenergia tootmiseks kaugküttevõrgus Tallinna Mustamäe katlamaja näitel,

mille juhendaja on Igor Krupenski,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

/ allkirjastatud digitaalselt /

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Aleksandr Godõrev, 191988MASM  
Õppekava, peaariala: MASM02/18, Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika  
**Juhendaja:** lektor, Igor Krupenski, +372 58003989  
**Kaasjuhendaja:** Vladislav Mašatin, tootmisjuht,  
AS Utilitas Tallinn, +372 520 9454, vladislav.masatin@utilitas.ee

### Lõputöö teema:

*Kõrgepingeline elektroodkatla kasutamine soojusenergia tootmiseks kaugküttevõrgus Tallinna Mustamäe katlamaja näitel*

*Application of High Voltage Electrode Boiler for Heat Production in District Heating Based on Tallinn Mustamae Boiler House Case*

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Eesti elektri- ja soojusenergia turu analüüs
2. Elektrikatlade kirjeldus ja tüübid
3. Elektroodkatelde põhimõtteline kirjeldus, tööpõhimõte, ehitus ja rakendamine
4. Sektorite sidumine (sector coupling) mõiste kirjeldus
5. Mustamäe katlamaja elektroodkatla projekti kirjeldus ja tasuvusarvatus analüüs

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema kinnitamine, andmete kogumine ja teoreetilise osa kirjutamine	15.03.2022
2.	Projekti kirjeldamine ja tasuvusarvatus analüüsi tegemine	30.04.2022
3.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	27.05.2022

**Töö keel:** Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "27" mai 2022.a

**Üliõpilane:** Aleksandr Godõrev ".....".....202....a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Igor Krupenski ".....".....202....a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Kaasjuhendaja:** Vladislav Mašatin ".....".....202....a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Programmijuht:** Eduard Latõšov ".....".....202....a

/ allkirjastatud digitaalselt /

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

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
LÜHENDTE JA TÄHISTE LOETELU .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. ÜLEVAADE EESTI ELEKTRI- JA SOOJUSENERGIA TURUST.....	9
1.1 Elektri- ja soojusenergia tootmine Eestis.....	9
1.2 Elektrienergia tootmine Eestis.....	10
1.3 Elektrienergia volatiilsus Eestis .....	12
1.4 Soojustootmine ja soojushinnad Eestis .....	13
2. ELEKTRIKATEL .....	16
2.1 Elektrilise küttekehaga katel .....	16
2.2 Induktsioonkatel .....	16
2.3 Elektroodkatel .....	17
2.4 Elektroodkatla eelised ja puudused.....	18
2.5 Elektroodkatelde tüübid .....	18
2.6 Elektroodkatla ehitus .....	21
3. ELEKTROODKATELDE RAKENDAMINE.....	25
3.1 Elektroodkatla rakendamine elektrivõrgu stabiliseerimiseks .....	25
3.2 Elektroodkatla rakendamine koostootmisjaamal .....	26
3.3 Miks praegu ei ole Eestis laialdast kasutust elektrood- ja elektrikatel.....	27
3.4 Sektorite sidumine (sector coupling) .....	28
3.4.1 Sektorite sidumises kasutatavaid energiaallikaid .....	28
3.4.2 Sektorite sidumise põhimõte.....	29
4. ELEKTROODKATLA RAKENDAMINE TALLINNA MUSTAMÄE KATLAMAJA NÄITEL ....	31
4.1 Projekti eesmärk.....	31
4.2 Elektroodkatla süsteemi P&I diagramm .....	33
4.3 Põhiseadmed ja lisaseadmestik .....	34
4.4 Vajalik katla vee parameetrid .....	38
4.5 Torustike kategooria.....	38
4.6 Tasuvusarvutuse analüüs .....	39
4.7 Elektrikütte potentsiaal võrreldes maagaasiga .....	41
4.8 Tasuvusarvutuse analüüs gaasi asendamisel .....	42
4.9 Elektroodkatla potentsiaal .....	44
KOKKUVÕTE .....	46
SUMMARY.....	47
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	49
LISAD .....	52

# EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema on valitud juhendaja Igor Krupenski abil. Lõputöö eesmärgiks on projekti põhjal analüüsida kaugküttevõrkudes elektrootkatla kasutamise võimalusi ning teha majanduslik analüüs. Algsel ajal töö jaoks on kogutud avalikest allikatest, AS Utilitas Tallinnalt, AS Elering ja elektrootkatla tootjalt Zander & Ingeström. Konsultatsioonidega antud töö puhul abistas Vladislav Mašatin.

Töö autor tänab töö juhendajat Igor Krupenski, kaasjuhendajat Vladislav Mašatin ja Filter AS töö valmimisele kaasaitamise eest.

Märksõnad: kaugküte, soojusenergia, elektrienergia, elektrootkatel, magistritöö

# LÜHENDTE JA TÄHISTE LOETELU

P&ID (piping and instrumentation diagram) - torustiku ja mõõteriistade diagramm

$\mu\text{S/cm}$  (microsiemens per centimeter) – juhtivuse mõõtühik

$\text{dH}^\circ$  - jääkkareduse mõõtühik

$\text{mg/l}$  - happelisuse mõõtühik

$\text{mg/kg}$  - rauasisalduse mõõtühik

COP (coefficient of performance) – soojuspumba kasutegur

# SISSEJUHATUS

Kaasaegne kiiresti kasvav energeetika valdkond, nii soojus- kui ka elektrienergia, vajab pidevat arendust ja uute lahenduste leidmist. Aeg on näidanud seda, et lahendused, mis minevikus pole olnud laialdaselt kasutuses, tulevad tagasi. Üks neist lahendustest on soojusenergia tootmine elektrienergiast. Elektroodkatlaid saab kasutada sooja vee ja auru tootmiseks. Võimsust saab valida tarbija vajaduste järgi. Kaasaegsete elektroodkatelde võimsused võivad ületada 50 MW kasuteguriga 99,9%.

Elektroodide vahel tekkiva aktiivse takistuse tõttu katlas vabaneb soojus, mille arvelt toodetakse auru või kuuma vett. Ülemaailmse tarbimise kasvu tõttu on viinud kasvule ka sooja vee ja veeauru tootmise.

Toodetud sooja vett ja auru kasutavad kaugküttetootjad küttekontuuride soojendamiseks, tööstused tehnoloogilise tarbevee tootmiseks, farmaatsiatööstused, toidutööstused autoklaavides toiduainete pastori-seerimiseks, rehvide tootmiseks jne.

Antud töö eesmärk on teha ülevaade elektroodkatlast, analüüsida elektroodkatla perspektiive, eelised ja puudusi, teha ülevaade Eesti elektri- ja soojusenergia turust.

Töös seatud eesmärgi saavutamiseks on autor püstitanud järgmised ülesanded:

- analüüsida Eesti elektri- ja soojusenergia turgu;
- kirjanduse põhjal teha ülevaade elektroodkateldest ja kirjeldada elektroodkatla süsteemi kasutavaid seadmeid;
- analüüsida, millistes valdkondades saab rakendada elektroodkatlaid;
- uurida, miks ei ole praegu Eestis leidnud laialdast kasutust elektrood- ja elektrikatlad;
- elektroodkatla rakendamine koostootmisjaamas konkreetse projekti näitel.

Uuritava teema aktuaalsus on seotud energeetika valdkonnas toimuva arenguga, mille tõttu otsitakse uusi ja energiatõhusaid lahendusi.

Esimeses peatükis on tehtud ülevaade Eesti elektri- ja soojusenergia turust. Teine peatükk keskendub elektrikatelde tüüpidele ja annab täpsema ülevaate elektroodkatelde vajalikkusest ja ehitusest. Kolmandas peatükis on tehtud ülevaade sellest, kus saab rakendada elektroodkatlaid. Neljas peatükk on projekti alusel peatükk, kus on toodud projekti eesmärgid, ülevaade kasutatud seadmest, P&I diagrammid koos kirjeldusega ja tasuvusarvutuste analüüsiga.



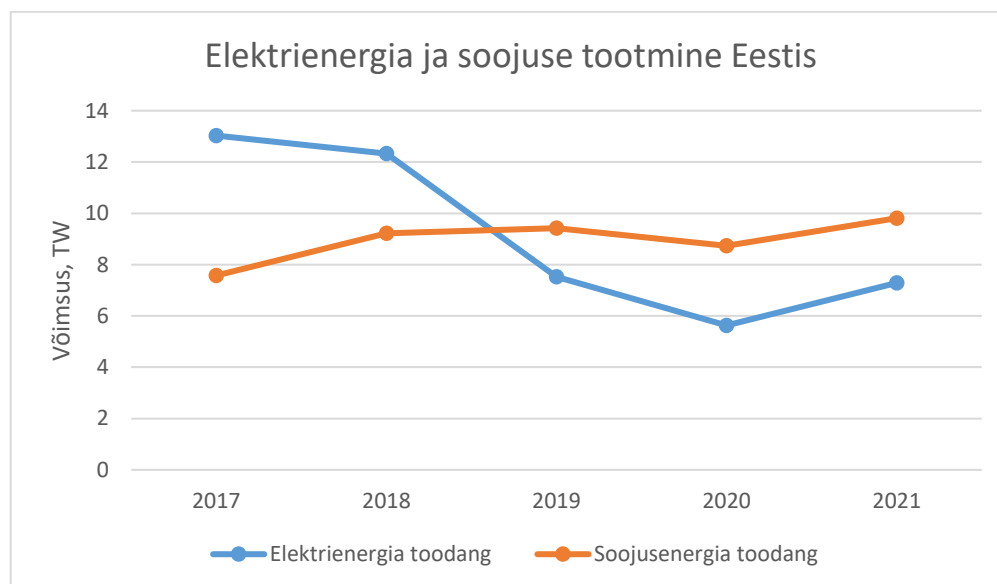
# 1. ÜLEVAADE EESTI ELEKTRI- JA SOOJUSENERGIA TURUST

Antud peatükk on sissejuhatav peatükk, kus vaadatakse ja analüüsitakse Eesti elektri- ja soojusenergia turgu.

Peatüki põhilised eesmärgid:

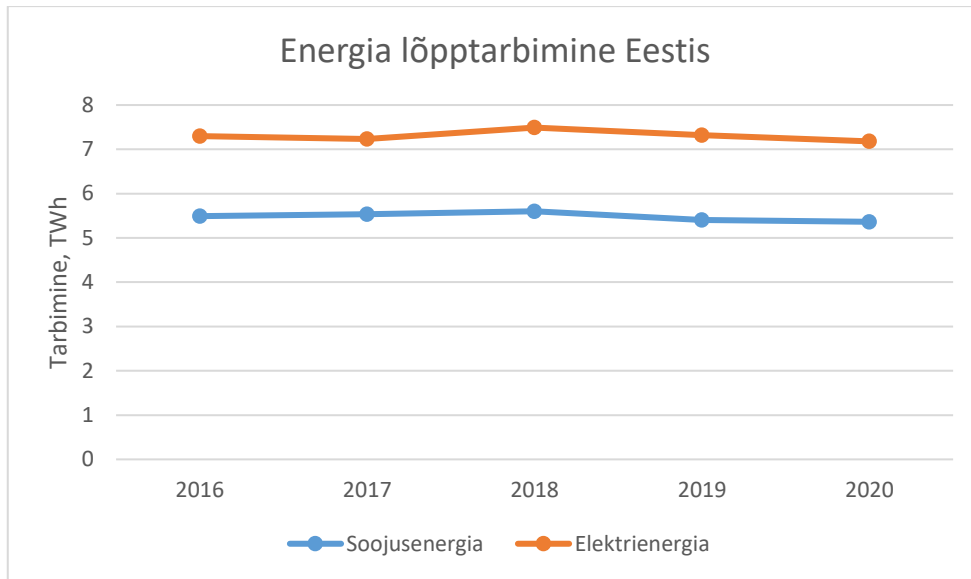
- uurida milliseid kütused kasutatakse soojus- ja elektrienergia tootmiseks viimastel aastatel;
- analüüsida elektri- ja soojusenergia tarbimise kogused;
- anda ülevaade soojus- ja elektrienergia volatiilsusest.

## 1.1 Elektri- ja soojusenergia tootmine Eestis



Joonis 1.1 Elektrienergia ja soojusenergia tootmine Eestis [1]

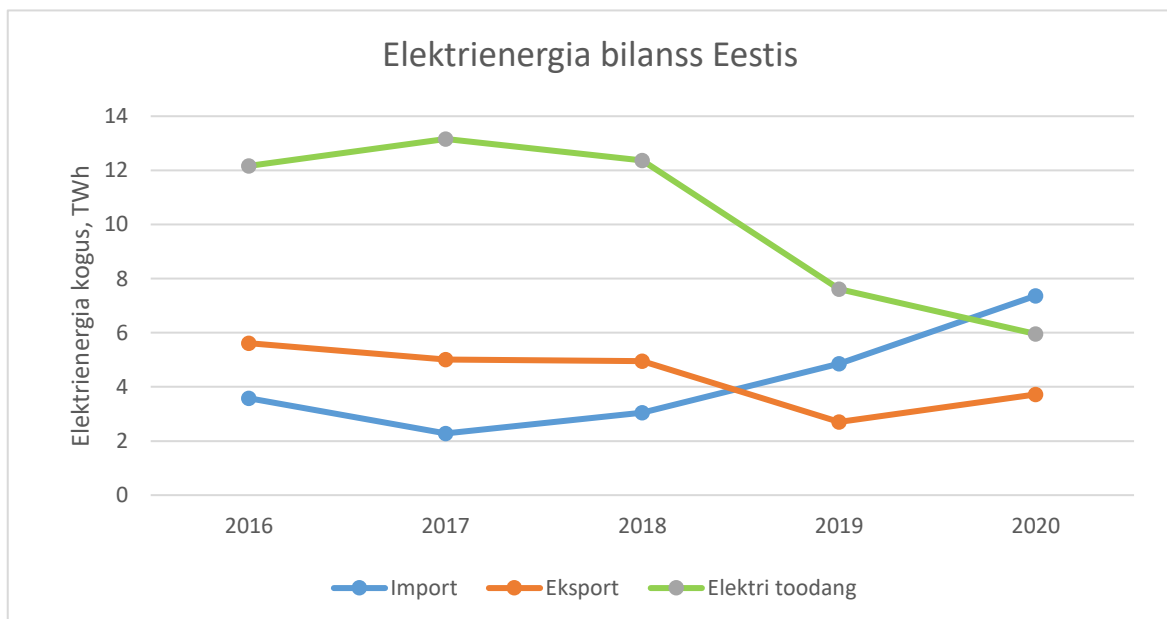
Graafikul 1.1 on näha, et põhiline osa Eestis olevatest seadmetest on viimasel ajal on suunatud soojusenergia tootmisele. On ka näha, et viimaste aastate jooksul elektrienergia toodang vähenes, mis on omakorda seotud põlevkivist elektri tootmise vähenemisega.



Joonis 1.2 Elektri- ja soojusenergia lõpptarbimine Eestis (v.a jaamade omatarve soojusenergia tootmine) [2]

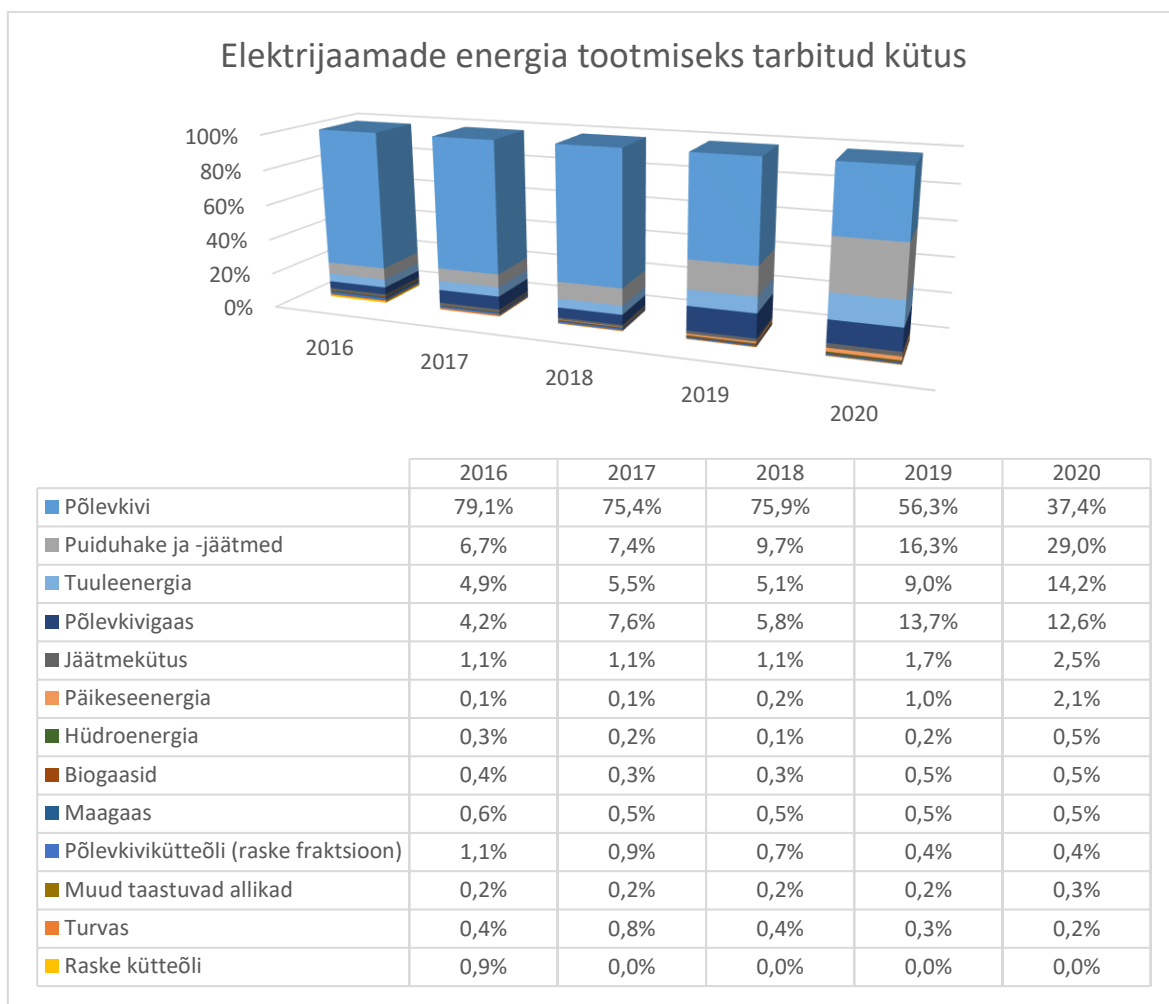
Graafikult 1.2 on näha, et soojusenergia tarbimine on olnud muutumatu, mis viitab kaugküttevõrgu renoveerimisele ja hoonete soojapidavuse suurendamisele. Esitatud andmed näitavad lõpptarbimist koos kadudega.

## 1.2 Elektrienergia tootmine Eestis



Joonis 1.3 Elektrienergia bilanss Eestis [2]

Graafikul 1.3 on näha olulist langust elektrienergia tootmises ja suurenenud elektrienergia importi Eestis. Põlevkivi osakaalu vähenemist kompenseerivad teised energiaallikad nagu puitkütus, tuuleenergia ja prügpõletus. Eelnimetatud energiaallikate puudujäägi korral on aga vajalik elektrienergia import. Graafik sisaldab import ja eksport elektrienergia tarnet näiteks Soomest Leedu.



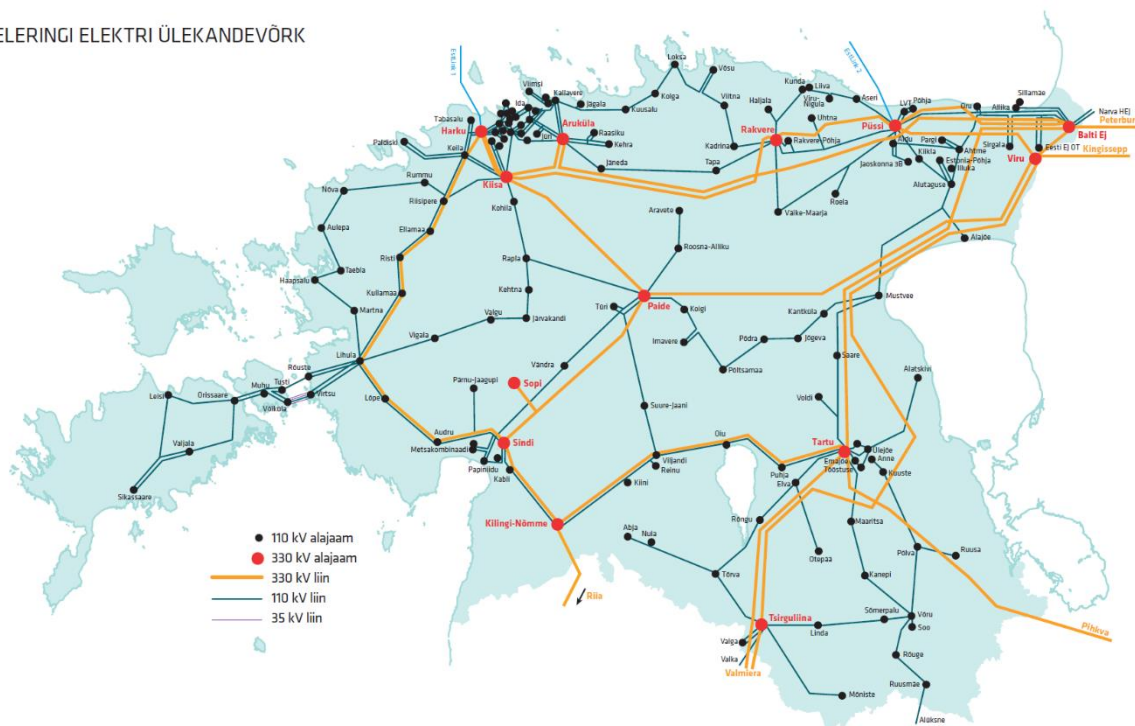
Joonis 1.4 Elektrijaamade energia tootmiseks tarbitud kütus Eestis [3]

Graafikult 1.4 on näha aastatega vähenenud kodumaise põlevkivi kasutamine elektrienergia tootmiseks. Selle asemel on hakatud rohkem kasutama hakkepuitu, mille tarbimine on kasvanud viie aasta jooksul rohkem kui 4 korda. Tuuleenergia ja päikeseenergia on samuti kasvutrendis. Maagaasi tarbimine on aga viimastel aastatel jäänud samaks.

Hakkepuitu hakati kasutama 2009. aastal, kui sai valmis Tallinna elektrijaam ehk esimene hakkepuidul töötav koostootmisjaam. [4]

2020. aastal oli domineeriv energiaallikas põlevkivi osakaaluga 37,4%. Põlevkivigaasi osakaal oli 12,6%, hakkepuidu ja -jätmete osakaal 29%, ning tuuleenergia ja jäätmekütuse osakaal vastavalt 14,2% ja 2,5%.

ELERINGI ELEKTRI ÜLEKANDEVÖRK



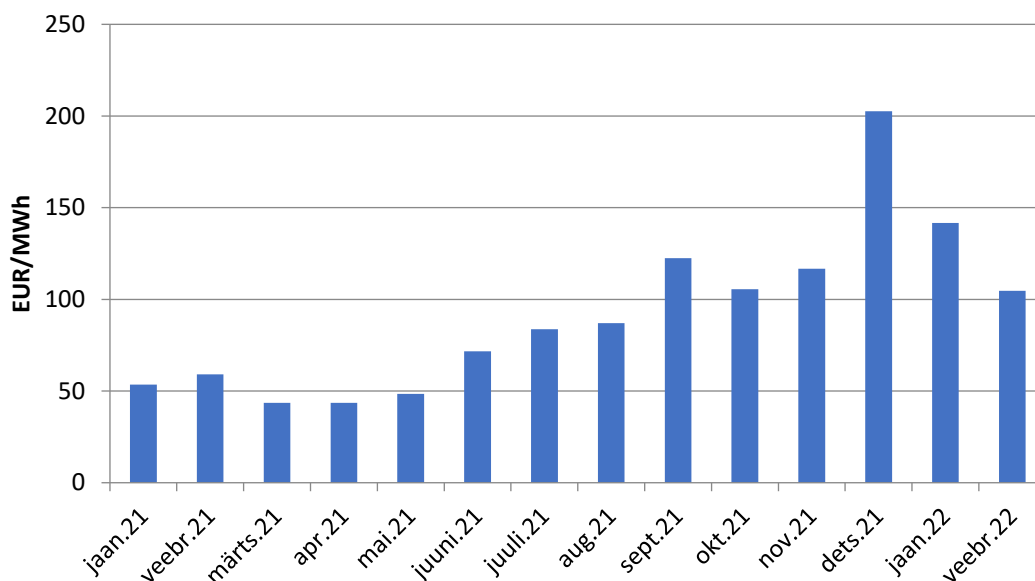
Joonis 1.5 Eesti elektri ülekandevõrk [5]

Joonisel 1.5 esitatud kaardil on illustreeritud Eesti elektri ülekandevõrgu jaotus. Kõige suuremad elektri tootmise jaamad asuvad Ida-Virumaal ja kasutavad kütuseks põlevkivi, mida kaevandatakse seal lähedal asuvatest kaevandustest.

### 1.3 Elektri hinna volatiilsus Eestis

Aastal 2020 tarbiti Eestis 8,44TW elektrienergiat koos võrgukadudega. Eesti neto elektrivõimsus 2021 aasta alguses oli 2337 MW. Seadmete täisvõimsusega kasutamine aastaringelt ei ole võimalik, kuna kasutusvõimsust mõjutavad remondid ja avariid. Kogu tarbitav võimsus sõltub lisaks ka taastuvenergiaallikatest ehk päikese-, tuule- ja hüdroenergia olemasolust. Eesti tuulepargi koguvõimsus on 329 MW, millest 301,7 MW on ühendatud põhivõrguga. Tuuleparkide rekordtootmine 279 MW oli mõõdetud 10. detsembril 2014. aastal. Kogu elektrienergia rekordtootmine 2281 MW oli mõõdetud 15. jaanuaril 2016. aastal. [6]

## HIND (EUR/MWh)



Joonis 1.6 Elektri hinnad Eestis ajavahemikus 01.01.2021-28.02.2022 [7]

Graafikult 1.6 on näha, et 2021 detsembris olid kõige kõrgemad hinnad, mille üheks põhjuseks oli odava elektrienergia kättesaadavuse langus. Kui päikest ja tuult pole ning tarbimine on väga kõrge, siis tõuseb elektrienergia hind. Muud põhjused olid majanduse taastumine pärast koroonaeepideemiat ja süsinikdioksiidi hinnatõus.

### 1.4 Soojustootmine ja soojushinnad Eestis

Kõige levinud soojustootmise viis Eestis on katlamajad. Üks põhiline katla liigitamise viis on katlas kasutatav kütus. Gaasikatlad võib eristada kütuse põhjal. On olemas vedelkütuse ja tahkekütuse katlad. Kõige levinum kütuse liik on maagaas. Vedelkütuse katlad tänapäeval kasutatakse ainult reservkateldena või tippkoormusel. Tahkekütusena enamasti kasutatakse hakkepuitu ja väiksel määral turvast. [8]

Allpoolt tabelis on toodud põhilised kütusetüübid, mis kasutatakse katlamajades.

Tabel 1.1 Summaarne katelde võimsus kütuste järgi [8]

<b>KÜTUS</b>	<b>MW</b>
MAAGAAS	2952
PUIT	1161
PÕLEVIVIÕLI	393
KERGE KÜTTEÕLI	347
TURVAS	89
PÕLEVKIVI	43
ELEKTER	20
KIVISÜSI	20
RASKE KÜTTEÕLI	10
PÕLEVKIVI- JA BIOGAAS	6
ROHTNE BIOMASS	4

Tabelist on näha, et võimsuse järgi on kõige rohkem katlaid, mis kasutavad maagaasi. Enamus gaasikatlaid on reserv- või tippkoormuse katmise jaoks. [8]

Teine soojustootmise viis Eestis on koostootmisjaamad. Koostootmise põhieesmärk on soojus- ja elektrienergia tootmine ühe protsessiga, kus saab ära kasutada tekkivat heitsoojust.

Koostootmise põhieelis seisneb selles, et tootmiseks kasutatakse vähem kütust, võrreldes sellega kui toota elektri- ja soojusenergiat eraldi. [8]

Allpool olevas tabelis on toodud Eesti koostootmisjaamad, kasutava kütuse, elektri- ja soojusvõimsuse järgi.

Tabel 1.2 Eesti koostootmisjaamad [8]

<b>KOOSTOOTMISJAAM</b>	<b>KÜTUS</b>	<b>ELEKTRILINE VÕIMSUS (MW)</b>	<b>SOOJUSLIK VÕIMSUS (MW)</b>
BALTI ELEKTRIJAAM	põlevkivi	215	95
IRU ELEKTRIJAAM	maagaas	95	200
IRU ELEKTRIJAAM	prügi	17	50
JÄÄTMEPLOKK			
VKG ENERGIA PÕHJA SEJ	põlevkiviõli	87	379
SILLAMÄE SEJ	uttegaas		
TALLINNA SEJ1	biomass	7	18
	biomass	25	67

TALLINNA SEJ2	biomass	21	76
MUSTAMÄE KTJ	biomass	10	47
TARTU ELEKTRIJAAM	biomass	25	50
PÄRNU KTJ	biomass	24	48
ARAVETE BIOGAASIJAAM	biogaas	1,7	2
ILMATSALU BIOGAASIJAAM	biogaas	1,5	1,5
IMAVERE KTJ	biomass	10	27
JÄMEJALA KTJ	maagaas	1,8	1,7
KURESSAARE KTJ	biomass	2,3	9,6
KIVIÕLI KEEMIA TÖÖSTUSE SEJ	uttegaas	1,3	6,5
OISU BIOGAASIJAAM	biogaas	1,2	1,2
PAIDE KTJ	biomass	1,7	8,0
RAKVERE KTJ	biomass	1,0	5,3
VINNI BIOGAASIJAAM	biogaas	1,4	1,4

Allpool olevas tabelis on toodud konkurentsiametiga kooskõlastatud soojustootmise hinnad Tallinnas.

Tabel 1.3 Konkurentsiametiga kooskõlastatud soojustootmise hinnad Tallinnas. Märts 2022 [9]

<b>VÕRGU PIIRKOND</b>	<b>ETTEVÕTE</b>	<b>KOOSKÕLASTATUD HIND KM-TA €/MWH</b>
TALLINN	Utilitas Tallinn AS	97,15
PÕHJA-TALLINN	Adven Eesti AS	185,08
KESLINN-PIRITA	Adven Eesti AS	202,83
NÕMME	Adven Eesti AS	188,35
KOPLI LIINID	SW Energia OÜ	150,56

Tabelist on näha, et koostootmisjaamades toodud soojusenergia on 1,5-2 korda odavam kui katlamajades. Hind sõltub sellest, mis kütust kasutab soojusenergia tootja. Utilitas Tallinn AS ja Utilitas Tallinna Elektri jaam OÜ kasutavad põhikütusena biomassi. Adven Eesti AS ja SW Energia OÜ kasutavad põhikütusena maagaasi. Suur hinnavahe on seotud sellega, et viimasel ajal gaasi hind on järjekordselt tõusnud.

## 2. EKTRIKATEL

Maailmas on kolme tüüpi elektrikatlad:

- elektrilise küttekehaga katel;
- induktsioonkatel;
- elektroodkatel.

### 2.1 Elektrilise küttekehaga katel

Enim kasutatud elektrikatel on elektrilise küttekehaga veekatel. Seda tüüpi kateldes kasutatakse soojuskandja soojendamiseks torukujulisi kütteelemente. Elementi läbiv elektrivool annab soojuse elemendile ja kandub soojuskandjale. Kütteelement ise on ümbritsetud dielektrilise materjaliga ja asetatud metalltorusse. Ühenduskontaktid on toodud toru otstesse. Toru (elektrikeha korpus) on elektriliselt ohutu. [10]

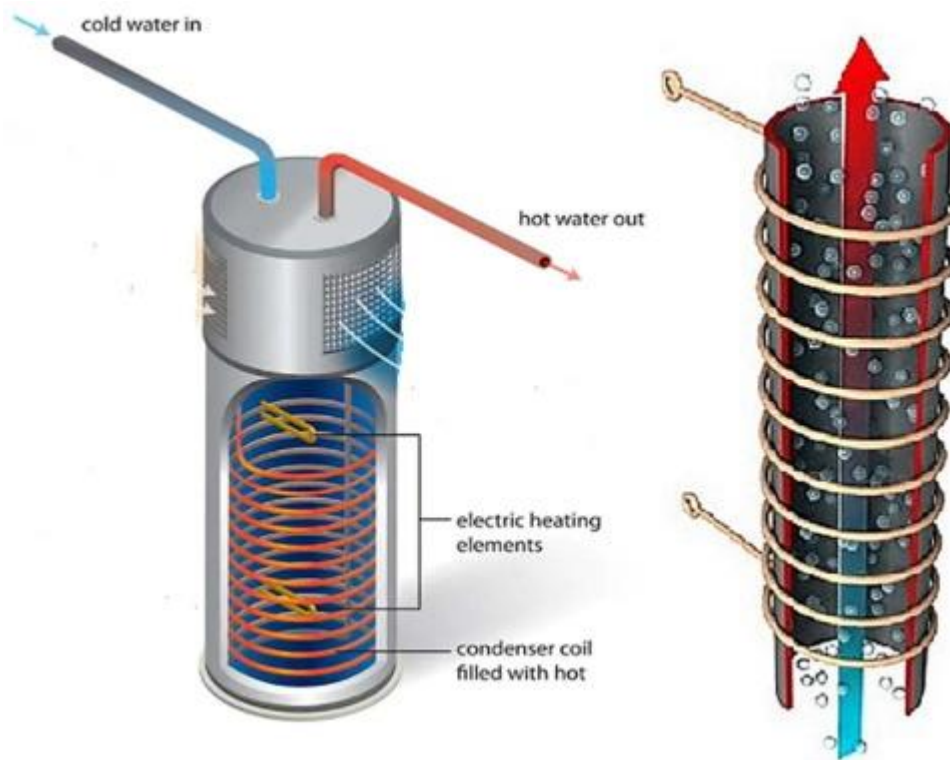
Seda tüüpi katelde puuduseks on sama, mis esineb veekeetjates – katlakivi tekkimine kütteelemendi pinnale ja katla seintele. Peamised vee pehendamise viisid on eelkeetmine, destilleerimine või spetsiaalsete filtrite kasutamine. Teine katla kütteelemendi probleem on soojuskandja leke. Kui kütteelement ei ole vees, ta kuumeneb üle ja põleb läbi, mis omakorda on tuleohtlik. [10]

### 2.2 Induktsioonkatel

Induktsioonkatel on uusim ja kõige vähem kasutatud elektrikatel. Induktsioonkatla töö põhineb elektromagnetilise induktsiooni põhimõttel. Läbiv elektrivool tekitab elektromagnetvälja. Magnetväli tekitab elektrivoolu teises juhises, mis on selle magnetvälja mõju all. Induktsioonkatel töötab nagu jõutrafo, ainult sekundaarmähise asemel on paigaldatud soojusvahetusseade. Primaarmähises tekkiva magnetvälja mõjul tekivad soojusvahetusseadme metallis pööris- (lühis-) voolud, mis seda soojendavad. Soojus eemaldatakse soojusvaheti pinnalt soojusvahetiga kontaktis oleva soojuskandja vedeliku ringlemise teel. [11]

Joonisel 2.1 on näidatud induktsioonkatla tööpõhimõte ja ehitus.





Joonis 2.1 Induktsioonkatla joonis [12]

## 2.3 Elektrootkatal

Esimene elektrootkatal leiutati umbes 100 aastat tagasi. Maailmas kasutatakse peamiselt suuri ja tööstuslikke elektrootkatalid. Elektrootkatalid kasutatakse peamiselt Põhjamaades, kus on kaugküte. Elektrootkatal on väga kõrge kasuteguriga, kuna elektrootkatal on otsetoimega katal. See tähendab seda, et ei soojenda mingit elementi, mis peaks soojust üle kandma, vaid elektrootkatal muudab elektrienergia soojuseks ja soojuskandja saab soojuse otse. Katla sisemises anumast soojendatakse vett pingestatud elektrootdide (kolmefaasiliste kõrgpinge elektrootdide) kaudu, mis asuvad vees.

Elektrootkatalid on kahte tüüpi. Elektrootaurukatel, mis töötab nagu tavaline aurukatel ehk katlas tekib aur, mis läheb otse tootmisse. Teine elektrootkatla tüüp on veekatel. Veekatlas tekib soojus läheb primaarkontuuri kaudu soojusvahetisse. Selle soojusvaheti kaudu kantakse kuum vesi edasi.

Elektrootkatal koosneb sisemisest ja välimisest anumast. Välimine anum on suletud surveanum, sisemine anum on aga ülevalt avatud. Rõhk on mõlemas anumast sama. Võimsust või temperatuuri juhitakse sisemise anuma veetaseme kaudu. [13]

## 2.4 Elektroodkatla eelised ja puudused

### Eelised: [14]

1. Elektroodkatlad on väga kompaktsed, kuna ei vaja põlemiseks ahjuruumi ning seetõttu ei vaja nad kanalisatsiooni ega korstnat;
2. Katla kütus on elekter. Seetõttu ei ole vaja kütuse hoiuruumi, nagu õli- või söekütteil töötavate katelde puhul;
3. Võrreldes teiste kateldegaga on palju lihtsam paigaldada. Elektroodkatlad paigaldatakse kiiresti ja lihtsalt, kuna pole vaja korstnaid ja kütusetorusid;
4. Elektroodkatla kasutegur on kuni 99,9%;
5. Elektroodkatlad ei tekita saastet, nagu suits, tolm, tuhk jne, kuna elektrood katel kasutab kütusena elektrienergiat. Oluliseks aspektiks on, kas kasutatakse elektrienergiat puhas ning kuidas on toodetud algne elektrienergia. Kui elektrijaam elektrienergia tootmisel tekitab ka saastet, siis lõppkokkuvõttes toodud soojus ei ole nii puhas. Välja arvatud juhul, kui tegemist on taastuvenergiaallikatega;
6. Elektroodkatlad töötavad vaikselt ja on ohutud, kuna puudub plahvatuse oht.

### Puudused: [14]

1. Elektroodkatlad on soojuskandja kvaliteedi suhtes väga nõudlikud;
2. Kõrgendatud nõuded elektriohutusele ja maandusel;
3. Peab kasutama spetsiaalselt ettevalmistatud vett või valmistatud elektrolüüdi soojuskandja;
4. Elektroodid vajavad regulaarsed hooldust;
5. Kasutada saab ainult vahelduvvoolu, kuna alalisvooluga toimub vee elektrolüüs;
6. Katlakivi tekkimine. Katlakivi tekkimisel elektroodidel väheneb katla võimsus, kuna see takistab jahutusvedeliku ioniseerumist.

## 2.5 Elektroodkatelde tüübid

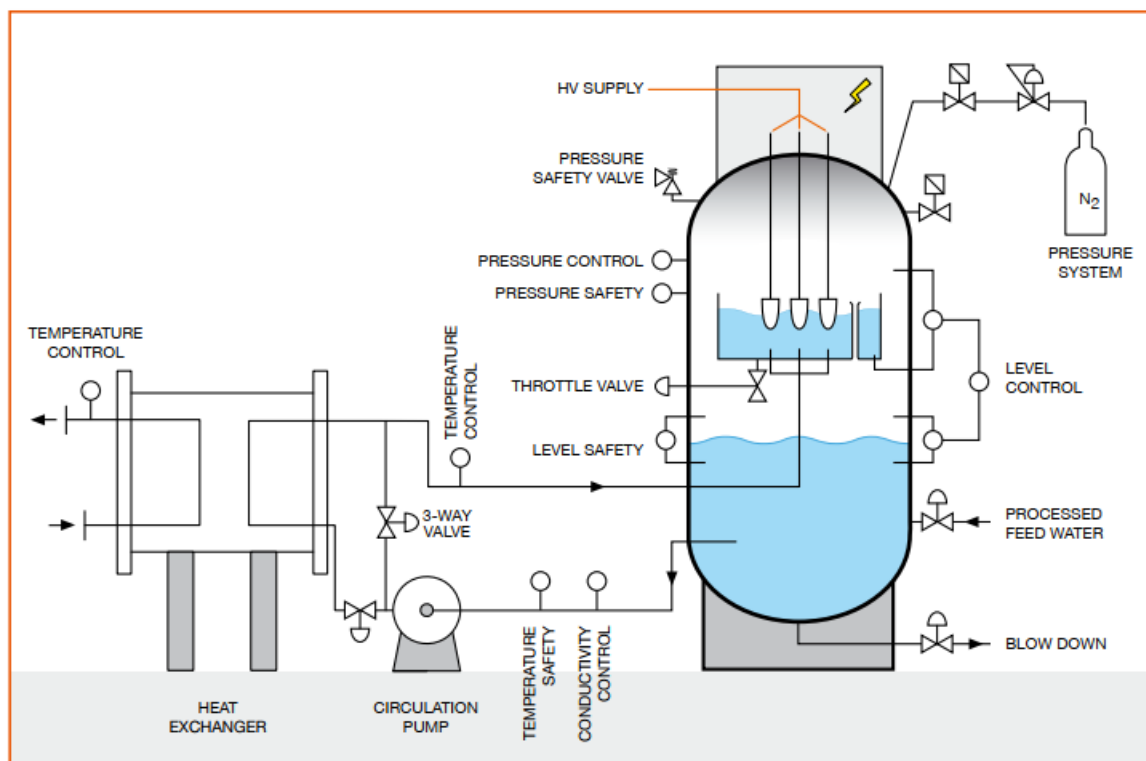
- **Kuumavee elektroodkatel**

Kuumaveekatlad on enimkasutatavad ja kõige lihtsamad elektroodkatlad. Kasutatakse vee soojendamiseks kuni 150 °C temperatuurini, sageli kasutatakse koos sojussalvestuspaagiga. Sellise lahenduse juures sojussalvestuspaak võimaldab vastu võtta suures koguses energiat, juhul kui soojusvõrk ei ole võimeline võtta soojust. Kui küttevõrk vajab soojust, siis saab energiat paagist võtta.

Kui küttevõrgu tarnitud temperatuur ületab sättepunkti, katel vähendab võimsust automaatselt. Väljundit juhib drosselklapp, mis reguleerib taset katla ülemises kambri.

Kuum vesi tekib katla vee tsirkuleerimisel läbi ülemise kambri, kus on riputatud elektrodid. Katel peab olema survestatud lämmastiku või sarnase inertsgaasisüsteemiga. Suhteliselt väikese veemahu tõttu toimib katel ka paisupaagina.

Katla optimaalse toimimisega seotud oluline parameeter on veejuhtivus. Juhtivust jälgitakse pidevalt, et katel annaks õiget võimsust. Kui juhtivus ületab valitud sättepunkti, siis katel vajab vee vahetust. Veekatla puhul peab veejuhtivuse parameeter olema koguaeg sama, kuna veekatlas vesi ei kee. Vee vahetust saab teostada kahel viisil. Kui süsteemil ei ole automaatselt ja statsionaarselt vee täitmis süsteemi, siis saab katel tühjaks lasta käsitsi. Kui süsteem on varustatud automaat vee täitmisega, siis on mõistlik kasutada automaatset läbipuhumist. Antud lahendus võimaldab kiiremini taastada tööprotsessi. [15]



Joonis 2.2 Kuumavee elektrodkatla põhimõtteskeem [15]

Joonisel 2.2 on näidatud tüüpiline kuumaveekatla põhimõtte skeem. Soojusenergia edastatakse soojusvaheti abil ehk süsteem on jagatud kaheks kontuuriks:

primaarkontuur, kus on paigaldatud katel ja pump ja sekundaarkontuur, mis tavaliselt on ühendatud küttevõrguga. [15]

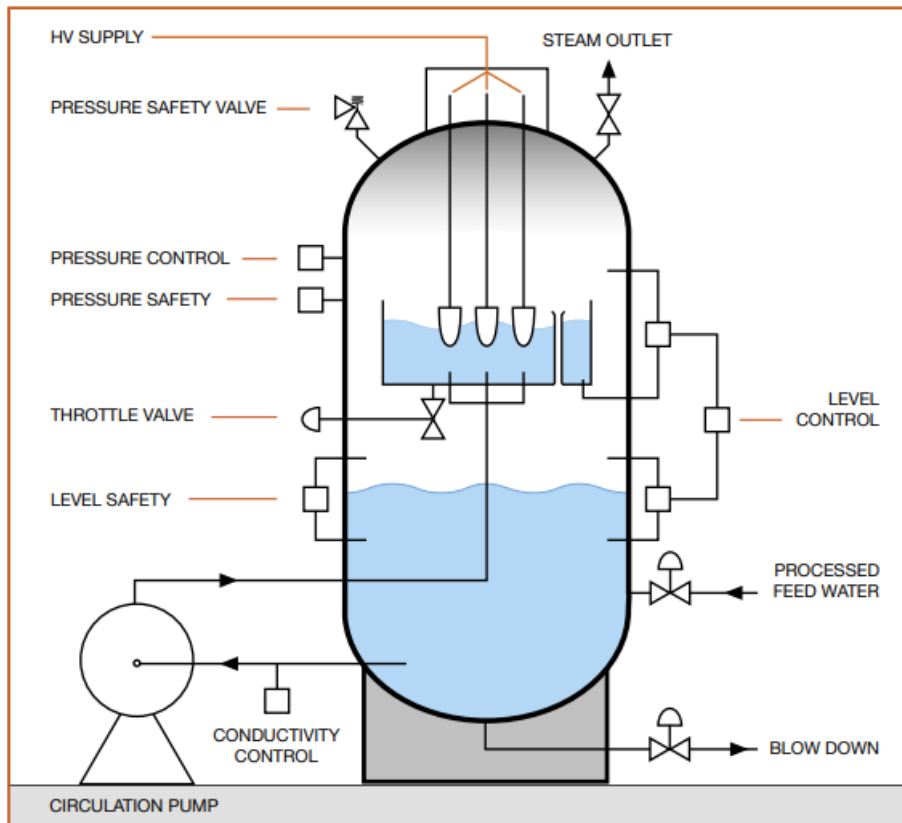
Selles katlas jääb töödeldud toitevee juhtivus suhteliselt passiivseks, kuna katlas ringleb vesi suletud süsteemis. Tavaolukorras on katla juhtivus konstantne, mistõttu katla põhjas ei tekki setteid. Katel on koguaeg rõhu all. Selle jaoks on eraldi lämmastikusüsteem, mis hoiab katla rõhu all. Selline lahendus eemaldab katlast kogu hapniku ja vesiniku. Liigne hapnik võib põhjustada korrosiooni katlas, tsirkulatsioonitorustikus ja soojusvahetis. [15]

Korrosioon võib põhjustada lekkeid ja roostet, mis mõjutab soojusvaheti efektiivsust. Korrosiooni tekkimisel langeb oluliselt efektiivsus. Katla töötamise ajal tekib väikeses koguses vesinik ja rõhu all oleva lämmastiku abil eemaldatakse vesinik katla ülemiseosast, kust see juhatakse klapi abil atmosfääri.

- **Auru elektroomkatel**

Auru elektroomkatel töötab samal printsiibil nagu kuumavee elektroomkatel. Põhiline erinevus on temperatuuris. Katlas elektroomide vahel tekib aur. Ülemises osas koguneb aur ja auruklapi kaudu läheb tootmisse. Kui aururõhk tõuseb üle seadmeväärtuse, siis reguleeritakse võimsust automaatselt alla.

Katla optimaalse toimimisega seotud oluline parameeter on veejuhtivus. Veejuhtivust kontrollitakse pidevalt, et katel annaks õiget võimsust. Kui juhtivus ületab valitud sättepunkti, käivitatakse automaatselt läbipuhumine. Aurukatla puhul läbipuhe süsteem on väga oluline, kuna aurukateldes tekkib sette. [15]

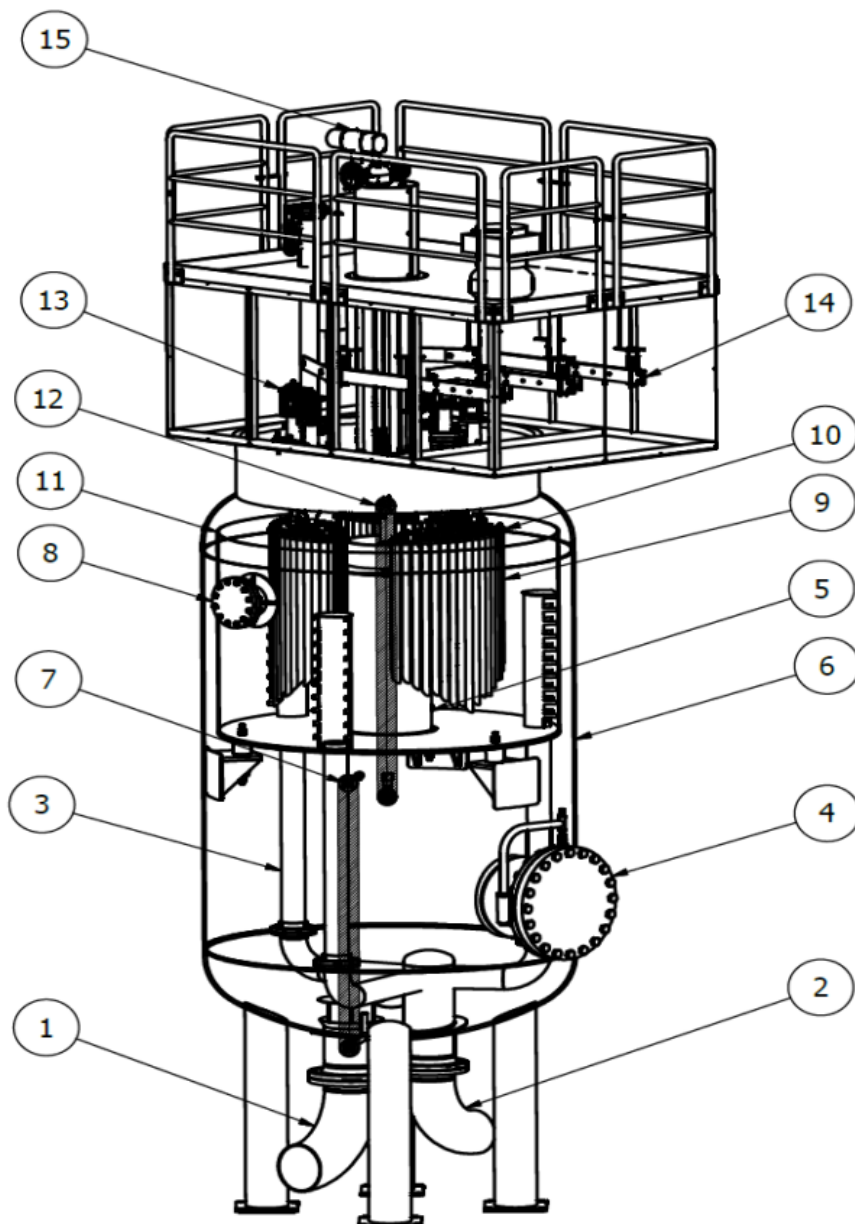


Joonis 2.3 Auru elektroodkatla põhimõtteskeem [15]

Joonisel 2.3 on näidatud kujutatud auru elektroodkatla süsteem. Katla ülemises osas tekib aur ja läbi klappi aur läheb tootmisse. Töödeldud toitevesi pidevalt lisatakse toiteveepumbaga. Automaatne läbipuhumissüsteem eemaldab katla põhjast kõik setted, mis võivad põhjustada vee juhtivuse suurenemist.

## 2.6 Elektroodkatla ehitus

Elektroodkatel koosneb mitmest komponendist. Joonisel 2.4 on toodud tüüpilise elektrood kuumaveekatla joonis ja katla põhilised komponendid. Kuumavee- ja aurukatla konstruktiivne erinevus on selles, et kuumaveekatla väljund (pealevool) asub katla põhjas, aga aurukatla väljund (aur välja) asub katla ülemises osas. Katla võimsus on otseselt seotud katla suurusega.



Joonis 2.4 Elektroodkatla ehitus [13]

1 = pealevool; 2 = tagasivool; 3 = tagasivoolutoru mahuti sees; 4 = luuk; 5 = reguleeriv ekraan; 6 = välimine mahuti; 7/12 = nivooklaas; 8 = kaitseklappi ots; 9 = elektroodid; 10 = elektroodiplaadid; 11 = sisemine mahuti; 13 = elektriühendus; 14 = vaskvardad; 15 = ajam tase reguleerimiseks;

Elektroodkatel koosneb sisemisest ja välimisest mahutist. Välimine mahuti on suletud surveanum, sisemine mahuti on avatud välise mahuti sees. Rõhk on mõlemas anumus sama. Võimsust või temperatuuri juhitakse sisemise anuma veetaseme abil. Sisemine mahuti on välisest mahutist elektriliselt isoleeritud, kontakt pingeelektroodidega puudub. Elektrivool on võimalik ainult siis, kui vesi katab elektroode. Sisemise mahuti veetase juhitakse juhtkraani abil. Juhtkraan juhitakse elektrilise ajamiga. Veetase sisemises mahutis on lineaarselt proportsionaalne katla võimsusega. [13]

Katlas oleva vee aurumise vältimiseks surutakse kogu anum inertsgaasiga või lämmastikuga rõhu alla. Lämmastiku süsteem tagab katlas piisava rõhu, selleks et katlas ringlev vesi ei hakkaks keema. Katel täidetakse lämmastikuga solenoidklapi kaudu. Katel on üle rõhu eest kaitstud ohutusjuhtimissüsteemi ja kaitseklapi abil. [13]

Väline mahuti isoleeritakse välise anuma vastu portselanist isolaatorite abil. Lisaks on kõik kahe anuma vahel olevad veetorude ühendused valmistatud PTFE-st, mille mittejuhtiv omadus tagab maksimaalse isolatsioonitakistuse. See minimeerib maandusriike voolu, mis nullpunkti nihke korral läheb sisemisest mahutist välimisse ja sealt maasse. Kõik kõrgepinge läbiviigud on maandatud välimise mahuti vastu ning elektriliselt isoleeritud. [13]

Vee kogus katlasüsteemis on piisav, et tagada alati optimaalse ja ohutu jahutuse. Isegi minimaalse koormuse korral on veevool piisavalt suur, et tagada piisavalt suure soojuse ümbersuunamise alumises osas. See väldib tõhusalt lokaalset ülekuumenemist koos võimaliku aurustumisega. [13]

Elektroodkatlas kasutatavad andurid ja mõõteseadmed:

- Veejuhtivuse mõõtmine

Veejuhtivus katla tsirkuleerivas vees mõõdetakse pidevalt, selleks et kontrollida veejuhtivust ja trinaatriumfosfaadi doseerimist. Veejuhtivus on katla küttevõimsuse oluline tegur. Veejuhtivuse andur paigaldatakse tagasivoolu torul ja jälgitakse katla juhtimissüsteemis.

- Nivoo jälgimine

Välimine veetaseme nivooklaas mõõdab veetaset välimises anumal. Kõrge nivoo puhul katel lülitab välja kõrgepinge kaitselüliti, kui veetase on liiga kõrge. Madala nivoo puhul kõrgepinge kaitselüliti lülitakse välja, kui veetase on liiga madal.

- Temperatuuri kontroll

Süsteemis on ettenähtud süsteemi kaitsmiseks vähemalt 2 temperatuuriandurit. Andurid paigaldatakse katla pealevoolul, mis on seadistatud maksimaalsele katla temperatuurile. Kui seda temperatuuri ületatakse, siis kõrgepinge kaitselüliti lülitakse välja.

- Süsteemi rõhu kontroll

Süsteemil on ettenähtud süsteemi kaitsmiseks 2 rõhuandurit. Katlal on eraldi olemas kollektor rõhuandurite ja manomeetrite paigaldamiseks. Kui rõhk ületab piirväärtust või langeb alla piirväärtust, siis kõrgepinge kaitselüliti lülitakse välja.



## 3. ELEKTROODKATELDE RAKENDAMINE

Tänapäeva elektrootkatlad laialdaselt kasutatakse umbes 30 aastat Skandinaavias. Katlaid kasutatakse peamiselt elektrivõrgu reguleerimiseks või kui elektrienergiast toodetud soojusenergia on odavam võrreldes teiste energiaallikatega.

### 3.1 Elektrootkatla rakendamine elektrivõrgu stabiliseerimiseks

Üks põhilisest elektrootkatla rakendusest on elektrivõrgu stabiliseerimine. Erinevatel põhjustel tihtipeale vaba elektrienergiat on palju, ehk ei tarbita nii palju nagu toodetakse. Suurenev elektritootmine koostootmisjaamast, tuumajaamast või tuule- ja päikeseparkidest tekitab nõudluse elektrivõrkude kiire stabiliseerimise järele. Elektrootkatla saab kasutada elektri võrgu reguleerimiseks, mille reageerimisaeg minimaalsest täiskoormuseni on 30 sekundit. Elektrienergia muundamine soojuseks võimaldab ära kasutada taastuvenergiat üle tootmise perioodidel. Selline lahendus võimaldab toota taastuvast energiaallikast energiat pidevalt ehk ajal, millal ei ole tavalist tarbimist. See võimaldab oma korda asendada fossiilkütuseid. Seetõttu elektrootkatel on säästlik ja keskkonnasõbralik lahendus ning on parim lahendus võrgu reguleerimiseks. [15]



Joonis 3.1 Elektrivõrgu reguleerimine [15]

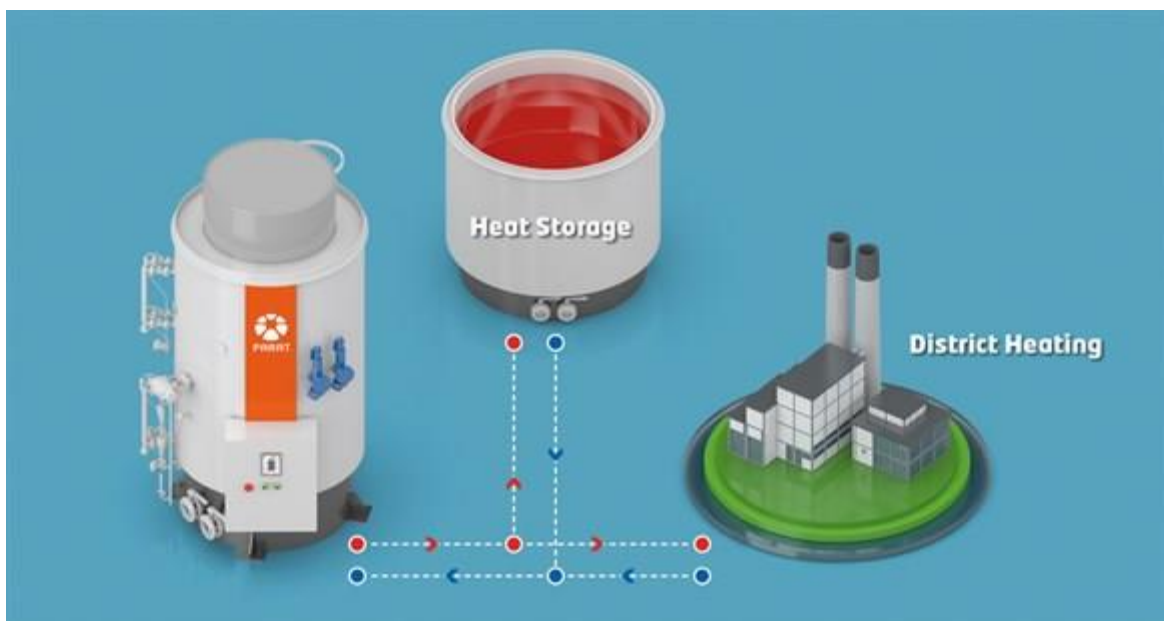
Teine katla rakendus on kasutada elektrootkatelt perioodidel, millal elektrienergia hind madalam võrreldes soojusenergiaga ehk näiteks öösel või nädalavahetustel. Samaks elektrootkatel väga sobib varukatlaks. Juhul kui mingi kütus läheb liiga kalliks või on probleemid tarnega, siis saab kasutada elektrootkatla.

### 3.2 Elektroodkatla rakendamine koostootmisjaamal

Elektroodkatla lahendust saab kasutada koostootmisjaamades. Antud lahendus annab võimalusi koostootmisjaamadele toota elektri- ja soojusenergiat, kui elektrivõrgus ei ole elektrienergia tarbimist. Soojusenergiat toodetakse pidevalt samas koguses, aga elektrienergiat mitte. See tähendab seda, et elektritarbimises on „auk“. Elektrienergia tarbimise katmiseks saab kasutada elektroodkatla. Teine elektroodkatla rakenduse võimalus on kui soojuse kaugküttesse tootmine annab parema tulu kui elektrienergia müük. Saab kasutada elektroodkatla selleks, et toota elektrienergiast soojusenergiat, selle asemel et müüa elektrienergia odava hinnaga võrku. [16]

Elektroodkatelt saab kasutada ka sisekoormuse reguleerimiseks mitme üksusega koostootmisjaamades seadme käivitamisel või seiskamisel, võimaldades hoida kolbmootorite või turbiinide koormust optimaalsel tasemel. [16]

Lisaks, elektroodkatla eelis on avarii olukorras töötamine. Elektroodkatla kasutamine võib moodustada varuplaani väärtusliku osa. Sellistel juhtudel suudab elektroodkatel pakkuda kriitilises olukorras tarbijatele soojust või auru. Elektroodkatel on võimeline külmast seisundist soojenema väga kiiresti ja hakkama tootma soojusenergiat täiskoormusel 5-10 minuti möödumisel, mis on varukatla puhul väga hea näitaja. [16]



Joonis 3.2 Elektroodkatla rakendamine koostootmisjaamal [15]

Joonisel 3.2 on näidatud, et elektroodkatla rakendus koos akumulatsioonipaagiga.

Selle lahenduse puhul on akumulatsioonipaak ette nähtud soojusenergia akumulatsiooniks, salvestamiseks ja elektrodkatlast toodetud soojus küttesüsteemi ülekandmiseks. Antud lahendus annab võimalusi kasutada elektrodkatla juhul kui soojusvõrk ei ole võimeline võtta palju soojust. Teine variant kasutada öösiti elektrodkatla, kui elektrienergia on odav ja soojusenergia tarbimist ei ole ning saab koguda soojust akumulatsioonipaagis.

### **3.3 Miks praegu ei ole Eestis laialdast kasutust elektrod- ja elektrikateldel**

#### **Elektrienergia hind**

Suurim põhjus on elektrienergia hind. Tavaajal on elektrienergia teistest soojusallikatest tunduvalt kallim, mistõttu võivad elektrikatla kasutuskulud olla suuremad. Samas käib tehnika ajaga kaasas ning turul on katlad, mis suudavad kohaneda elektrigraafikuga ning toota soojusenergiat madala elektrikulu ajal. See lahendus on mugav nii oma küttesüsteemiga hoonete kui ka keskkütte ja kaugkütte jaoks.

#### **Piiratud võimsus**

Elektrikatlal on teiste kateldega võrreldes piiratud võimsus, mida nad saavad välja anda. See tähendab, et suurematel rajatistel või suurema soojaveetarbimisega rajatistel on parem toimetada traditsioonilise gaasikatlaküttesüsteemiga, kuna elektrikatel ei pruugi rahuldada keskkütte ja sooja vee soojendamise vajadusi.

#### **Mõju keskkonnale**

Elektrikatlad nimetavad keskkonnasõbralikeks, kuna need ei tooda heitgaase, aga algne elektrienergia tootmisprotsess võib juba tekitada sama palju saastet kui gaasikatlaküttesüsteem, muutes keskkonnasõbralikkuse olematuks.

#### **Järeldus**

Tänapäeval ei ole elektri- ja elektrodkatelde kasutamine elektrienergia hindade tõttu aktuaalne. Kuid tuleviku perspektiivis elektri- ja elektrodkatlad võivad töötada taastuvate energiaallikatega või odava elektrienergia hetkedel.

### **3.4 Sektorite sidumine (sector coupling)**

Sektorite sidumine kirjeldab üldiselt "energiasektorite" elektri-, soojus- ja transpordisektori ühendamist. Sektori sidumine mängib energia ülemineku dekarboniseerimisel võtmerolli, kuna taastuvenergiast toodetud elektrienergia osatähtsus kasvab jätkuvalt. Seetõttu nimetatakse elektrienergia mõnikord ka "21. sajandi võtmeenergiaks". Erinevalt elektritööstusest on fossiilsed kütused seni domineerinud kütte ja mobiilsuse või transpordi vallas – taastuvenergiat on siin kasutatud seni üsna harva. Kõikide sektorite võrgustamine ehk sektorite sidumine peaks aitama kaasa kliimapoliitiliste eesmärkide saavutamisele: eri sektorite tehnilisi süsteeme, taristut ja turge tuleks paremini koordineerida, et luua terviklik ja arukas energiasüsteem. [17]

#### **3.4.1 Sektorite sidumises kasutatavaid energiaallikaid**

Sektorite sidumine on ühtlane süsteem, mis viitab peale sektoriüleste protsesside ka optimaalsele sidumisele sektorite sees. Integreeritud energiasüsteemi abil peaksid kõik sektori komponendid olema võimalikult hästi koordineeritud. [17]

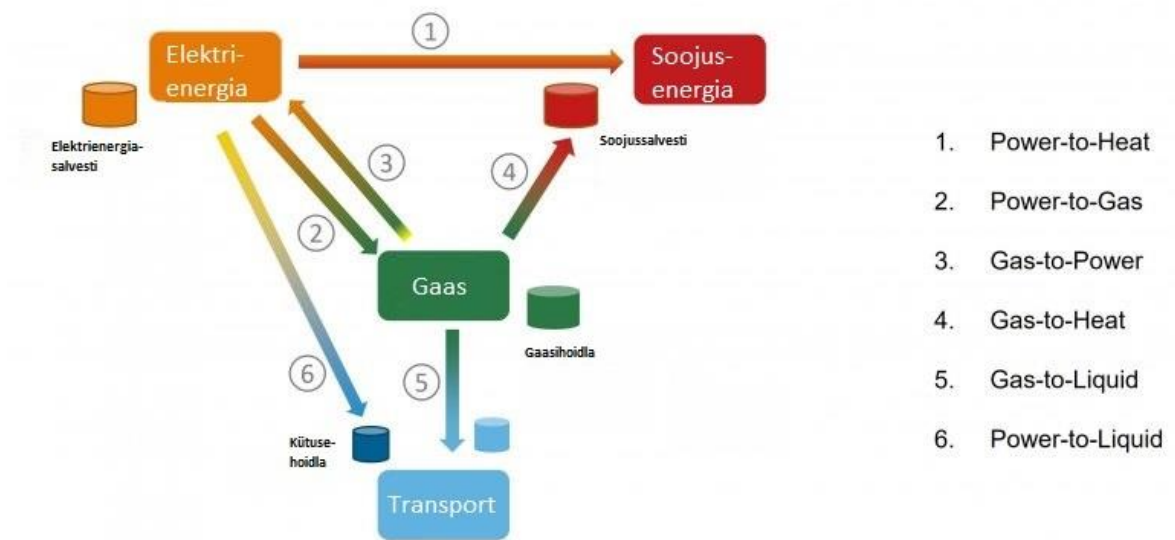
Allpool on toodud põhilised kasutatavad energiaallikad koos rakenduste näidetega.

- Tuuleenergia ja fotogalvaaniliste süsteemide elektrienergia on muutumas domineerivaks energiaallikaks. Tehnilisest vaatenurgast on selle otsekasutamine sageli tõhusam ja odavam kui elektrienergia muundamine vesinikuks või metaaniks. Näiteks saab taastuvatest energiaallikatest toodetud elektriga juhtida elektriautosid või soojuspumpasid. [18]
- Bioenergia, päikesesoojusenergia ja geotermilise energia sihipärane kasutamine võib aidata piirata tuuleenergia ja fotogalvaanika laienemist ning tagada energia ülemineku sotsiaalse aktsepteerimise. [18]
- Sünteetilised põlevmaterjalid ja kütused saavad tulevikus ka oluliseks energiasüsteemi alustalaks. Neid on lihtne hoiustada ning neid saab kasutada näiteks laeva- ja lennuliikluses, kus puhtalt elektrilisi lahendusi on raske või võimatu rakendada. [18]
- Vesinikul on eriline roll, kuna see võib energiasüsteemis täita mitmeid funktsioone: seda saab kasutada tööstusprotsessides, hoonete soojusvarustuseks või transpordis kütusena, viivitusega elektritootmiseks või metaaniks või vedelkütusteks muundamiseks. [18]

- Gaas – maagaas, biogaas ja sünteetilised gaasid – on vähese heitgaasiga ja mitmekülgne ning võib pikemas perspektiivis saada elektrienergia kõrval peamiseks energiaallikaks. [18]

### 3.4.2 Sektorite sidumise põhimõte

Sektorite sidumise eesmärk on suurendada taastuva elektrienergia osakaalu, mis kasutaks rohkem taastuv energiaallikaid nagu tuule-, päikse- ja tuumaenergia. Puhta taastuvelektrienergia kasutamine dekarboniseerib nii energiasektorit kui ka kogu energiavarustust. [19]



Joonis 3.3 Sektorite sidumise lihtsustatud skeem [20]

Joonisel 3.3 on toodud sektorite sidumise lihtsustatud skeem, mille põhiliseks allikaks on taastuvatest energiaallikatest elektrienergia ja madala emissiooniga gaasid, millega toodetakse elektrienergiat, soojusenergiat ja kütust.

Energianõudlusele mõjutab sektorite sidumine järgmisel viisil:

- Kütuserakendustes võimaldab Power-to-X tehnoloogia luua süsinikuneutraalseid tooraineid tööstuses ja taastuvaid sünteetilisi kütuseid transpordiks. Eriti suur potentsiaal on puhta vesiniku tootmisel elektrolüüsiga (Power-to-H<sub>2</sub>), kuna seda saab kas otse kasutada, näiteks tööstuses või elektritootmises, või töödelda edasi erinevateks kütusteks, mida kasutatakse lennunduses, merenduses ja rasketes tingimustes. transport. Power-to-X tootmisprotsessides tekib heitsoojus, mida saab kasutada fossiilkütuste asendamiseks kütteseadmetes. [19]

- Transpordis saavad elektrisõidukid puhast elektrienergiat otse kasutada. Samal ajal võivad autoakud potentsiaalselt salvestada energiat tuule- ja päikeseenergia tasakaalustamiseks nutika laadimise ja sõidukite võrku rakenduste kaudu. [19]
- Küttes on soojuspumbad tõhus viis kütte elektrifitseerimiseks ja erinevate soojusallikate ära kasutamiseks, mis muidu läheks raisku või üldse jäävad kasutamata. [19]
- Tööstuslikes rakendustes on elektrienergia oluline soojusvajaduse allikas. Power-to-X kütused, nagu vesinik, ammoniaak ja metanool, võivad asendada fossiilkütuseid paljude tööstuslike protsesside lähteainena. [19]

*Power-to-heat* kontseptsioon viitab elektrienergia muundamisele soojuseks läbi elektrododkatelde või soojuspumpade. Power-to-heat lahendused saab paremini ära kasutada olemasolevat taastuvenergiat ja saavad paremini ära kasutada ka laienevat taastuvenergiavõrku. Ajutine taastuvenergia ületootmine saab suunata power-to-heat. [21]

## **4. ELEKTROODKATLA RAKENDAMINE TALLINNA MUSTAMÄE KATLAMAJA NÄITEL**

Lõputöö teises ja kolmandas peatükis on kirjeldatud elektrootkatelde ehitust, rakendusvõimalust ja elektrootkatelde potentsiaali. Selles töösas antakse projekti näitel täpsem ülevaade elektrootkatla süsteemist, projekti eesmärkidest, P&ID skeemist, tööpõhimõttest ja tasuvusanalüüsist.

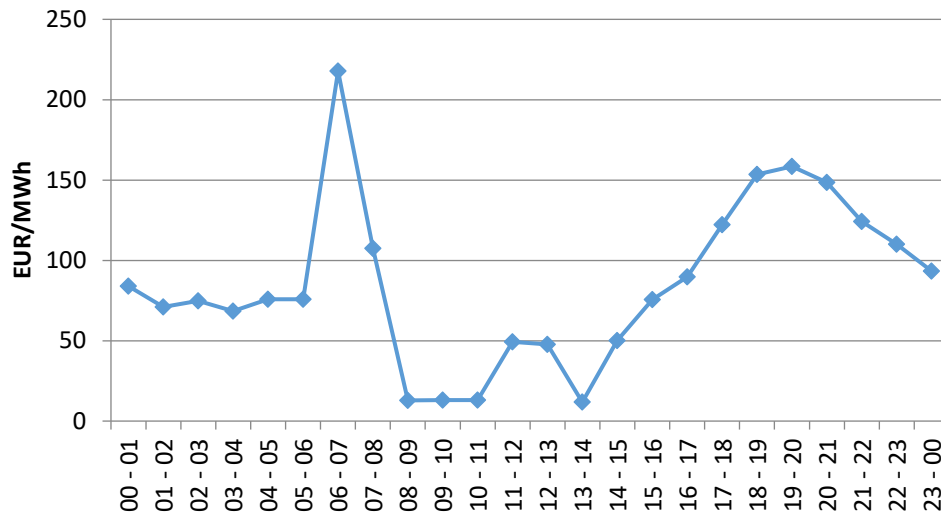
### **4.1 Projekti eesmärk**

Projektil on kaks põhieesmärki: [22]

Üks peamisi eesmärke on toota elektrienergiast soojusenergiat siis, kui elektrienergia hind on soojusenergiast madalam ehk majanduslikult tasuv. Elektrienergia hinnad on viimastel aastatel järsult tõusnud, kuid tõusnud on ka soojusenergia hind. Ebastabiilse elektrienergia hinna tõttu saab seda kontrollida ja teatud aegadel elektrienergiast soojusenergiat toota.

Mustamäe koostootmisjaama juhul saab jaam töötada täissoojusrežiimil ilma turbiinita, kuid turbiini peale- ja mahalaadimine võtab aega vähemalt 30 minutit. See on liiga palju, sest elektrienergia turu hinnad muutuvad iga tunni tagant. Elektrootkatel võimaldab reguleerida süsteemi. See omajärgi annab võimaluse optimeerida katlamaja tulusid ja kulusid.

## HIND (EUR/MWh)

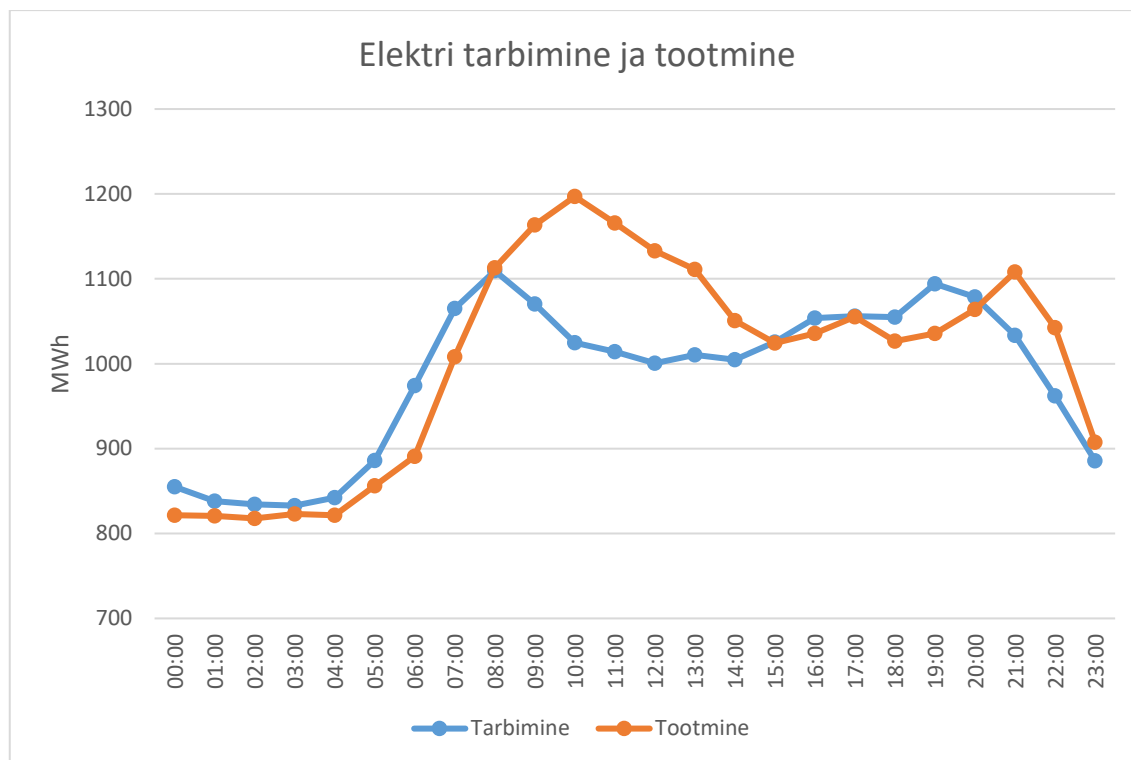


Joonis 4.1 Elektri tunnihinnad Eestis 20.03.2022 [7]

Joonisel 4.1 on näha potentsiaali toota elektrienergiast soojusenergiat. Kella 8st 11ni elektrienergia hind on 13eur/MWh, aga soojusenergia hind märtsi kuus oli 97,15eur/MWh ehk sel ajal toota soojusenergiat elektrienergiast on majanduslikult tasuv rohkem kui 7 korda.

Teine eesmärk on pakkuda elektrivõrgu tasakaalustamise teenust. See tähendab, et kui elektrivõrgus elektrienergia tarbimises on "augud". Selline olukord võib tekkida kahel juhul. Esimene on kui tarbimine on liiga madal, näiteks öösiti. Teine juhtum on taastuv elektrienergia üle tootmine, näiteks palju tuult. Sellisel juhul saab elektrienergiat muundada soojusenergiaks.





Joonis 4.2 Eestis elektrienergia tarbimine ja tootmine 22.03.2022 [23]

Joonisel 4.2 on näha, et tarbimine ja tootmine ei ole võrdne ega stabiilne. Kellaegadel 9:00-14:00 ja 21:00-23:00 on näha potentsiaali, millal saab kasutada elektroodkatel elektrivõrgu stabiliseerimiseks. Kuid ka tegelikus graafikus tuleb välja, et elektrivõrgul on potentsiaal anda rohkem elektrienergiat. Näiteks kell 10:00 oli toodud 1196,9 MWh, aga tarbitud ainult 1024,7MWh ehk 172,2MWh on vabakasutusel, mis võiks kasutada soojusenergia tootmiseks.

## 4.2 Elektroodkatla süsteemi P&I diagramm

Elektroodkatla süsteemi P&I diagramm on lisas 1. Antud süsteem koosneb kahest kontuurist. Primaarkontuuril on katel, peale- ja tagasivoolu torustik, tsirkulatsioonipump, ringluspump, reguleerimisventiilid, kemikaali doseerimise süsteem, lämmastiku süsteem ja muud seadmed süsteemi juhtimiseks. Sekundaar kontuur ühendatud kaugkütte kollektoritega. Kontuurile paigaldatakse sulgventiilid, soojusarvesti, reguleerimisventiil, peale- ja tagasivoolu torustik manomeetrid, termomeetrid ja kaitseklapid. Soojusvaheti eraldab primaar- ja sekundaarkontuurid.

Täpsem ülevaade komponentidest on järgmises alapeatükis.

## 4.3 Põhiseadmed ja lisaseadmestik

- **Elektrood veesoojenduskatel**

Projektiga paigaldatakse elektrood veesoojenduskatel (edaspidi katel) ZBVA 2010 tootjalt Zander & Ingeström.

Katel koosneb välimisest (suletud) mahutist ja sisemisest (pealt avatud) mahutist. Rõhk mõlemas mahutis on võrdne. Rõhku katlas hoitakse lämmastikusüsteemiga.

Vee kuumutamine katlas toimub pingestatud elektroodide kaudu katla sisemises mahutis, kus katla võimsust/temperatuuri juhitakse vee nivooga elektroodide suhtes. Primaarkontuuri vesi juhitakse katla sisemisse mahutisse. Kuumutatud vesi juhitakse sisemisest mahutist katla välimisse mahutisse. Primaarkontuuri vee ringlus katla ja soojusvahti vahel toimub tsirkulatsioonpumba abil.

Tabel 4.1 Katla andmed [16]

<b>Kirjeldus</b>	
Katla tüüp	Zeta ZBVA 2009
Katla võimsus	9 MW
Pinge	10-11 kV
Sagedus	50 Hz
Maksimaalne koormusvool	522 A
Kütteelementide arv	3 x 29
Katla töö rõhk	500 kPa
Katla disainrõhk	1000 kPa
Töötemperatuur (primaarkontuur)	140/105 °C
Disain temperatuur	184 °C
Isolatsioon	200 mm, mineraalvill; < 1mm Al kate
Rõhuanum	PED 2014/68/EC kategooria IV
Tühikaal	7000 kg
Täiskaal	20 000 kg
Katla efektiivsus maksimaalsel/minimaalsel koormusel	> 99.7/98.7

- **Lämmastikusüsteem**

Lämmastikku kasutatakse katlas rõhu tekitamiseks ja säilitamiseks. Täisvõimsusel on katla töötemperatuur 140 °C. Vee aurustumistemperatuur töö rõhul 500 kPa on 158 °C,

mis garanteerib vee vedela oleku katlas. Aurustumist pärssides säilitatakse sisemises mahutis sile veepind ja pidev reguleerimisvõime.

Katel varustatakse lämmastikuga välisest gaasiballooni(de) komplektist, mis on varustatud rõhualandus-ventiili (reguleeritud 0...1000 kPa), sulgventiilide, rõhuanduriga (madala ballooni rõhu alarm) ja on/off pealevooluventiiliga. Lämmastiku pealevoolu katlasse juhib katla juhtimissüsteem. Vajadusel näha ette lämmastiku süsteemile katiseklapp.

Tabel 4.2 Lämmastiku parameetrid

<b>Kirjeldus</b>	
Lämmastiku rõhk katlas	500 kPa
Lämmastiku pealevoolu rõhk	600-800 kPa
Töötemperatuur	140 °C

Esmasel täitmisel on eelduslik lämmastiku kulu 4 x 50 L ballooni (standard suurus 20000 kPa). Tööolukorras sõltub lämmastiku kulu katla käivitamise ja seiskamise arvudest, eelduslik kulu 1 x 50 L balloon (standard suurus 20000 kPa).

- **Nivood jälgivad instrumendid**

Katel varustatakse kahe visuaalse nivoonäidikuga koos protsessi- ja tühjendusventiilidega. Protsessiühenduste mõõdud katlal on DN25 PN40. Ülemine visuaalne nivoonäidik järgib vee nivood katla sisemises mahutis ja alumine nivoonäidik vee nivood katla välises mahutis. Katla nivooide pidevaks jälgimiseks paigaldatakse kaks nivooandurit.

- **Juhtivusandur**

Katla vee juhtivuse määramiseks paigaldatakse juhtivusandur.

Primaarkontuuri vee juhtivus on katla küttevõimsuse oluline tegur. Primaarkontuuri vee juhtivust jälgitakse katla juhtimissüsteemi poolt.

Juhtivuse tõustes üle etteantud maksimaalse väärtuse tuleb osa primaarkontuuri veest värske veega. Juhtivuse langedes alla etteantud minimaalse väärtuse tuleb doseerida primaarkontuuri trinaatriumfosfaadi lahust.

Tabel 4.3 Katla vee parameetrid

<b>Kirjeldus</b>	
Katlavee juhtivus	50 $\mu\text{S/cm}$
Lisavee juhtivus	1 $\mu\text{S/cm}$

- **Kaitseklapid**

Võimaliku üle rõhu vältimiseks varustatakse katel DN80 PN40 kaitseklapiga. Kaitseklapi avanemisrõhuks on määratud töö rõhku ületav rõhk vastavalt standardile. Avanemisrõhuks on 1000 kPa, väljalaskevõimsus 16322 kg/h. Kaitseklapi väljavisketoru suunatakse atmosfääri hoonest välja ohutusse kohta.

Primaarkontuur varustatakse ühe kaitseklapiga. Kaitseklapp paigaldatakse primaarkontuuri tagasivoolutorule. Avanemisrõhuks on 1600 kPa.

Sekundaarkontuur varustatakse ühe DN15 kaitseklapiga. Kaitseklapp paigaldatakse sekundaarkontuuri madala temperatuurilasele kontuurile. Kaitseklapi avanemisrõhuks on 1600 kPa.

Kaitseklapid varustatakse tühjendusliiniga kaitseklapi väljalasketoru madalaimast osast või kaitseklapi korpusest tühjenduse ühenduskoha olemasolul. Väljalaske torusiku omavoolse tühjenemisega tagatakse kaitseklappide töökindluse ja tühja väljalasketoru olemasolu.

- **Tsirkulatsioonipump**

Primaarkontuuri pealevoolutorule paigaldatakse tsirkulatsioonipump koos sagedusmuundri ja armatuuriga. Sõlm varustatakse sulgventiilidega, tagasilöögiklapiga ja manomeetritega. Staatiline rõhk primaarkontuuris on 500 kPa.

Tabel 4.4 Tsirkulatsioonipumba parameetrid

<b>Kirjeldus</b>	
Tüüp	TP 150-200/4 Grundfos
Projekteeritud temperatuur	140 °C
Primaarkontuuri vooluhulk	233 m <sup>3</sup> /h
Pumba tõstekõrgus	15 m H <sub>2</sub> O
Võimsus	15 kW

- **Ringluspump**

Katla soe reserv tagatakse primaarkontuuri ringluspumba käitamisega.

Primaarkontuurile paigaldatakse ringluspump koos armatuuriga. Sõlm varustatakse sulgventiilidega ja tagasilöögiklapiga. Ringluspumba vooluhulk 10 m<sup>3</sup>/h ja tõstekõrgus 15 m H<sub>2</sub>O.

- **Soojusvaheti**

Projektiga paigaldatakse soojusvaheti 9MW tootjalt Tranter.

Tabel 4.5 Soojusvaheti andmed

Kirjeldus	
Projekteeritud temperatuurid	140/105 °C

- **Proovivõtusüsteem**

Veeproovide võtmiseks paigaldatakse proovivõtujahuti SCS20 tootjalt Spirax Sarco, mis on varustatud nõelventiili ja jahutusvee ventiiliga. Jahutusvesi ja proov juhitakse kanalisatsiooni.

Veeproove teostatakse ajal, mil töötab primaarkontuuri tsirkulatsioonipump. Tsirkulatsioonipumba tööaeg enne proovi võtmist ca 15 minutit.

- **Kemikaali doseerimise süsteem**

Katla elektrienergia tarbimine vette uputatud elektrodide kaudu sõltub vee juhtivusest. Vee juhtivust reguleeritakse trinaatirumfosfaadi (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) lahusega, mis suurendab vee pH väärtust ja seeläbi vee juhtivust.

Trinaatriumfosfaadi lahuse doseerimiseks paigaldatakse kemikaali doseerimise süsteem, mis varustatakse kemikaalimahutiga, avariikessooniga, dosaatorpumbaga, taset jälgivate instrumentide ja põhjaklapiga, abiseadmete ja ühendustega.

Trinaatriumfosfaadi lahuse valmistamiseks ja hoiustamiseks paigaldatakse 200-liitrine plastmahuti koos avariikessooniga. Paigaldatava avariikessooni maht on 210 L.

Lahus reguleeritakse veejuhtivuseni 10 mS/cm temperatuuril 25 °C, mis vastab vee ja Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> suhtele 100:1.

Trinaatriumfosfaadi lahuse doseerimise kogus määratakse vastavalt primaarkontuuri soojuskandja kvaliteedile. Primaarkontuuri soojuskandja pH taseme kontrollimiseks ja doseerimise juhtimiseks paigaldatakse pidevjälgimisega pH-andur.

Lahuse lisamise ühendus teostatakse primaarkontuuri tagasivoolutorule. Toruühendus 1/2" ja toru ots ulatub toru sisse (st ei lõppe toru siseküljel). Dosaatorpumbast ühendatakse voolik tõusuga doseerimis-punkti nii, et doseerimissüsteemi sattunud õhk saaks eralduda koos doseeritava lahusega.

- **Soojakulumõõtja**

Sekundaarkontuurile paigaldatakse soojakulumõõtja Ultraflow 54 Multical 803 tootjalt Kampstrup. Soojakulumõõtja paigaldatakse tagastuva kaugkütteeve kontuurile.

## 4.4 Vajalik katla vee parameetrid

Primaarkontuuri vee kvaliteedil on oluline mõju süsteemi töökindlusele ja katla elueale. Lisaks mõjutab vee kvaliteet ka katla võimsust. Katla vee parameetrid on esitatud allolevas tabelis:

Tabel 4.6 Vajalik katla vee parameetrid

Kirjeldus	
pH	8.5-9.5
jääkkaredus	< 0.1 dH°
happelisus	< 0.02 mg/l
rauasisaldus	< 0.05 mg/kg
juhtivus	Ca 80 µs/cm 25 °C juures

## 4.5 Torustike kategooria

Tabel 4.7 Torustike kategooria

Kontuur	Primaarkontuur	Sekundaarkontuur
Tüüp	Kuuma vee torustik	Kuuma vee torustik
Fluidum	Kuum vesi, mille aurustusrõhk maksimaalsel	Kuum vesi, mille aurustusrõhk maksimaalsel töötemperatuuril on > 0.5 barg

	töötemperatuuril on > 0.5 barg	
Fluidumi grupp	2	2
Disainrõhk (barg)	10	16
Arvutuslik temperatuur (°C)	140	130
Torusiku mõõt (DN)	200	200
Kategooria	A-moodul, kategooria I	A-moodul, kategooria I
PS*DN	2000	3180
Toru standard	EN 10216-2	EN 10216-2
Toruosade standard	EN 10253-2	EN 10253-2
Toru materjal	P235GH	P235GH

## 4.6 Tasuvusarvutuse analüüs

Lihttasuvusarvutuse analüüs on mõeldud selle jaoks, et näidata millal tehtud investeering katab investeeringu summat. Antud analüüsis ei võeta arvesse inflatsioon ja investeeringu väärtuse muutmist.

Tabel 4.8 Elektroodkatla kumulatiivne rahavoog, juhul kui katel töötab 6 tundi päevas kütte perioodil (oktoober-aprill) ja keskmine elektrienergia hind 50eur.

Katla võimsus	9	MW
Töötunnid	1440	aastas
Elektritarbimine	12960	MWh
Katla efektiivsus	99,7	%
Soojuse tootmine	12921	MWh
Elektrienergia hind	50	€/MWh
Muud kulud*	38,86	€/MWh
Soojushind lõpptarbijale	97,15	€/MWh
Tarbitud elektri maksumus	648000	€/aastas
Toodud soojuse maksumus	753172	€/aastas
<b>Sääst</b>	<b>105172</b>	<b>€/aastas</b>
Investeeringu maksumus	800000	€
<b>Tasuvus aeg</b>	<b>7,6</b>	<b>aastat</b>

Muud kulud\* - kulud soojusenergia tootmiseks (soojusvõrgu hooldus ja remonttöid, võrgu vee pumpamine, personal jne.)

Arvutusest on näha, et elektroodkatla lihttasuvusaeg on 7,6 aastat. Arvutuses arvestatud, et katel töötab 6 tundi päevas 8 kuud. Tasuvusarvutuse juures katla

töötunnid sõltuvad mitmetest muutujatest mida on raske prognoosida, näiteks elektrienergia börsihind ja soojusenergia tegelik hind. Antud arvutus on lihtarvutus, mis näitab kui palju aega läheb investeeringu katmisele. Enne projekti realiseerimist on vaja välja selgitada projekti eesmärgid ja teha täielik tasuvusarvutus analüüs.

Eestis koostootmisjaamad võivad saada toetuse, kui toodavad elektrienergiat taastuvast energiaallikast. Kui tootmiseseadme netovõimsus ei ületa 100MW, siis makstava toetuse suurus on 53,7EUR/MWh. See kehtib ka biomassist toodetud elektrile. Toetuse maksmise periood on 12 aastat. Juhul kui elektrienergiat toodavad koostoomisjaamas jäätmetest jäätmeseaduse tähenduses, turbast või põlevkivi töötlemise uttegaasist või muu seadmega, mille elektriline võimsus kuni 10 MW, siis makstava toetuse suurus on 32EUR/MWh. [8]

Täieliku tasuvusarvutuse analüüsi tegemisel tuleb arvestada antud aspektiga. Kuna koostootmisjaamad, mis kasutavad kütusena biomassi saavad esimesed 12 aastat toetuse ehk nad saavad 53,7EUR/MWh + elektrienergia börsi alusel tunnine hind. Mis tähendab seda, et kui näiteks börsihind on 10EUR/MWh, siis juba kokku tuleb 63,7EUR/MWh. Lõppkokkuvõttes see tähendab seda, et müüa elektrienergiat on kasulikum, kui toota elektrienergiast soojusenergiat elektroodkatla abil.

Tabel 4.9 Tasuvusaja sõltuvus elektrienergia- ja soojusehinnast

		Elektrienergia hind €/MWh						
		30	50	70	90	110	130	150
Soojuse hind €/MWh	70	5,20	-7,60	-2,19	-1,28	-0,91	-0,70	-0,57
	75	4,15	-12,02	-2,46	-1,37	-0,95	-0,73	-0,59
	80	3,46	-28,79	-2,79	-1,46	-0,99	-0,75	-0,60
	85	2,96	72,88	-3,22	-1,58	-1,04	-0,78	-0,62
	90	2,59	16,08	-3,82	-1,71	-1,10	-0,81	-0,64
	95	2,30	9,04	-4,69	-1,86	-1,16	-0,84	-0,66
	100	2,07	6,29	-6,06	-2,05	-1,23	-0,88	-0,68
	105	1,88	4,82	-8,59	-2,27	-1,31	-0,92	-0,71
	110	1,72	3,91	-14,70	-2,55	-1,40	-0,96	-0,73
	115	1,59	3,28	-51,14	-2,91	-1,50	-1,01	-0,76
	120	1,48	2,83	34,60	-3,39	-1,62	-1,06	-0,79

Tasuvus aeg

Tabelis 4.9 on näidatud tasuvusaja sõltuvus elektrienergia- ja soojusehinnast. Selle arvutuse eesmärgiks on näidata, missugune tasuvusaeg oleks kui hind muutub. Arvutusest on näha, et optimaalseks tasuvusajaks kuni 5 aastat tuleks katel kasutada ajal, mil elektrienergia hind on 30 €/MWh või soojusenergia hind on 105 €/MWh ja elektrienergia hinnaga 50 €/MWh. See näitab, miks ei kasutata seda laialdaselt.



Antud arvutuse tingimuseks on võetud, et katel töötab 1440 tundi aastas.

Tabel 4.10 Tasuvusaja sõltuvus elektrienergia hinnast ja töötundidest

		Elektrienergia hind €/MWh						
		30	50	70	90	110	130	150
Töötunnid	50	63,23	219,07	-149,58	-55,76	-34,26	-24,73	-19,35
	200	15,81	54,77	-37,40	-13,94	-8,57	-6,18	-4,84
	400	7,90	27,38	-18,70	-6,97	-4,28	-3,09	-2,42
	700	4,52	15,65	-10,68	-3,98	-2,45	-1,77	-1,38
	1000	3,16	10,95	-7,48	-2,79	-1,71	-1,24	-0,97
	1500	2,11	7,30	-4,99	-1,86	-1,14	-0,82	-0,64
	2000	1,58	5,48	-3,74	-1,39	-0,86	-0,62	-0,48
	2500	1,26	4,38	-2,99	-1,12	-0,69	-0,49	-0,39
	3000	1,05	3,65	-2,49	-0,93	-0,57	-0,41	-0,32
	4000	0,79	2,74	-1,87	-0,70	-0,43	-0,31	-0,24
	5000	0,63	2,19	-1,50	-0,56	-0,34	-0,25	-0,19
	6000	0,53	1,83	-1,25	-0,46	-0,29	-0,21	-0,16
	7000	0,45	1,56	-1,07	-0,40	-0,24	-0,18	-0,14
	8000	0,40	1,37	-0,93	-0,35	-0,21	-0,15	-0,12
8760	0,36	1,25	-0,85	-0,32	-0,20	-0,14	-0,11	

Tasuvus aeg

Tabelis 4.10 on näidatud tasuvusaja sõltuvus elektrienergia hinnast ja töötundidest. Selle arvutuse eesmärgiks on näidata, missugune tasuvusaeg oleks kui töötundide arv ja elektrienergia hind muutub. Arvutusest on näha, selleks et tasuvusaeg oleks optimaalne elektrienergia hind peab olema 30 €/MWh ja katel peab töötama vähemalt 700 töötundi aastas. Optimaalne tasuvusaeg, kui elektrienergia hind on 50 €/MWh ja katel töötab vähemalt 2500 tundi aastas.

Antud arvutuse tingimuseks on arvestatud , et soojusenergia hind on 97,15 €/MWh ja optimaalne tasuvus aeg on kuni 5 aastat.

## 4.7 Elektrikütte potentsiaal võrreldes maagaasiga

Tänane olukord gaasiturul on väga kriitiline ja pingeline. Gaasihind on ebastabiilne ja on suur oht, et Eestile ei jää gaasi piisavas mahus. Seetõttu on kõrge surve, et vahetada soojusenergia tootmine maagaasilt muu energiaallikale. Kui võtta ainult majanduslik pool, siis maagaasi hind turul on üle 100 €/MWh millele lisanduvad võrgutasud, aktsiisid, CO2 kvoodid, soojusenergia tootmise hind gaasist võib ulatuda kuni 150 €/MWh, sellisel juhul soojusenergia tootmine elektrienergiast võib olla kasulikum kui gaasist.

Maagaasi lõpphind koosneb mitu komponenditest. Järgmises tabelis on toodud keskmised hinnad märtsi kuu eest.

Tabel 4.11 Kuukeskmise maagaasi hind. Märts 2022. [24] [25] [26] [27] [28]

Ostuhind	93,33	€/MWh
Aksiis*	1,07	€/MWh
CO2 kvoodi hind**	15,01	€/MWh
Võrgutasu	15,16	€/MWh
<b>Kokku</b>	<b>124,57</b>	<b>€/MWh</b>

\* aktsiisivabastuse loaga intensiivse gaasitarbimisega ettevõtjale.; \*\* CO2 kvoodi hind 75,06 €/t; CO2 emissioon 1 MW maagaasi põletamisel on 0,2t

Antud arvutusest võib teha järelduse, et kasutada elektrikütte gaasi asemel ei ole otstarbekas. Kuna elektrienergia hind ei ole stabiilne ja tippkoormuse ajal võib ulatada kuni 300€/MWh. Teine põhjus on võimsus, elektriküte abil ei saa toota sama palju soojusenergiat nagu toodetakse maagaasiga. Aga elektriküttega lahendused saab kasutada koostöös maagaasi kateldegaga ehk kasutada ajal, millal elektrienergia hind on odavam kui gaasihind. Sellese lahenduse juures saab lisada akumulatsioonipaak, kasutada elektroodkatel perioodidel kus elektrienergia hind on odavam ja koguda soojusenergia akumulatsioonipaagis. Samaks elektroodkatel väga sobib varukatlaks.

## 4.8 Tasuvusarvutuse analüüs gaasi asendamisel

Kui soojusenergia tootmiseks kasutatakse elektrienergia, siis ei kasutata teist energiaallikat. Antud analüüs on mõeldud selle jaoks, et näidata millal tehtud investeering katab investeeringu summat, kui gaasi asemel kasutatakse elektrienergia.

Tabel 4.12 Elektroodkatla kumulatiivne rahavoog

Katla võimsus	9	MW
Töötunnid	1440	aastas
Elektritarbimine	12960	MWh
Katla efektiivsus	99,7%	%
Soojuse tootmine	12921	MWh
Elektrihind	50	€/MWh
Muud kulud*	38,86	€/MWh
Soojushind lõpptarbijale	97,15	€/MWh
Tarbitud elektri maksumus	648000	€/aastas
Toodud soojuse maksumus	753172	€/aastas
Gaasi hind	124,57	€/MWh
Gaasi asendamise sääst	963528	€
<b>Sääst</b>	<b>1068700</b>	<b>€/aastas</b>
Investeeringu maksumus	800000	€
<b>Tasuvus aeg</b>	<b>0,7</b>	<b>aastat</b>

Tabel 4.13 Tasuvusaja sõltuvus elektri- ja soojusenergia hinnast

		Elektrienergia hind €/MWh						
		30	50	70	90	110	130	150
Soojuse hind €/MWh	70	0,58	0,93	2,35	-4,52	-1,15	-0,66	-0,46
	75	0,57	0,89	2,11	-5,79	-1,22	-0,68	-0,47
	80	0,55	0,85	1,91	-8,04	-1,30	-0,71	-0,48
	85	0,54	0,82	1,75	-13,17	-1,38	-0,73	-0,50
	90	0,52	0,79	1,61	-36,40	-1,48	-0,76	-0,51
	95	0,51	0,76	1,50	47,66	-1,60	-0,79	-0,52
	100	0,50	0,73	1,40	14,40	-1,73	-0,82	-0,53
	105	0,49	0,71	1,31	8,48	-1,89	-0,85	-0,55
	110	0,47	0,68	1,23	6,01	-2,08	-0,89	-0,56
	115	0,46	0,66	1,16	4,66	-2,31	-0,93	-0,58
120	0,45	0,64	1,10	3,80	-2,61	-0,97	-0,60	
		Tasuvus aeg						

Tabelis 4.13 on näidatud tasuvusaja sõltuvus elektri- ja soojusenergia hinnast tingimusel, et soojusenergia tootmiseks kasutakse elektrienergia, aga ei kasuta gaasi. Selle arvutuse eesmärk on näidata, missugune tasuvusaeg oleks kui gaasi asemel kasutatakse elektrienergiat erinevatel soojus- ja elektrienergia hinnatingimustel. Arvutusest on näha, et elektrienergia hinnaga 70 €/MWh on maksimaalne tasuvus aeg on 2,35 aastat. Kasutada katel on otstarbekas elektrienergia hinnaga kuni 70 €/MWh. Elektrienergia hinnaga alates 110 €/MWh tasuvust pole. Antud arvutuse tingimuseks on võetud, et katel töötab 1440 tundi aastas ja gaasi hind on 124,57 €/MWh.

Tabel 4.14 Tasuvusaja sõltuvus elektrienergia hinnast ja töötundidest

		Elektrienergia hind €/MWh						
		30	50	70	90	110	130	150
Töötunnid	50	14,52	21,56	41,81	688,68	-47,59	-23,00	-15,16
	200	3,63	5,39	10,45	172,17	-11,90	-5,75	-3,79
	400	1,82	2,69	5,23	86,09	-5,95	-2,87	-1,90
	700	1,04	1,54	2,99	49,19	-3,40	-1,64	-1,08
	1000	0,73	1,08	2,09	34,43	-2,38	-1,15	-0,76
	1500	0,48	0,72	1,39	22,96	-1,59	-0,77	-0,51
	2000	0,36	0,54	1,05	17,22	-1,19	-0,57	-0,38
	2500	0,29	0,43	0,84	13,77	-0,95	-0,46	-0,30
	3000	0,24	0,36	0,70	11,48	-0,79	-0,38	-0,25
	4000	0,18	0,27	0,52	8,61	-0,59	-0,29	-0,19
	5000	0,15	0,22	0,42	6,89	-0,48	-0,23	-0,15
	6000	0,12	0,18	0,35	5,74	-0,40	-0,19	-0,13
	7000	0,10	0,15	0,30	4,92	-0,34	-0,16	-0,11
	8000	0,09	0,13	0,26	4,30	-0,30	-0,14	-0,09
	8760	0,08	0,12	0,24	3,93	-0,27	-0,13	-0,09
		Tasuvus aeg						

Tabelis 4.14 on näidatud tasuvusaja sõltuvus elektrienergia hinnast ja töötundidest tingimisel, et soojusenergia tootmiseks kasutakse elektrienergia, aga ei kasutata gaasi. Selle arvutuse eesmärk on näidata, missugune tasuvusaeg oleks kui gaasi asemel kasutatakse elektrienergia erinevatel hinnatingimustel. Arvutusest on näha, kui katel töötab kuni 200 tundi aastas, see ei ole otstarbekas. Kui katel töötab vähemalt 700 tundi aastas ja elektrienergia hind on kuni 70 €/MWh, siis maksimaalne tasuvusaeg on 3 aastat. Kasutada katel on otstarbekas elektrienergia hinnaga kuni 70 €/MWh. Elektrienergia hinnaga alates 110 €/MWh tasuvust pole.

Antud arvutuse tingimuseks on võetud, et soojusenergia hind on 97,15 €/MWh ja gaasi hind on 124,57 €/MWh.

Järeldusena võib öelda, et elektrootkatel mingil määral võiks asendada gaasikatlaid ja töötada madala elektrienergia hinnaga. Saab ainult mingil määral, kuna elektrootkateldega ei saa toota saama palju soojusenergiat, nagu toodetakse gaasikateldega. Arvutuse käigus on selgunud, et investering elektrootkatlasse ei ole lihtsalt mõistlik. Kui investeerida selleks, et kasutada gaasi asemel, võiks olla, aga väga hea investering ja kiire tasuvusega.

## 4.9 Elektrootkatla potentsiaal

Tabel 4.15 Elektrootkatla eelised võrreldes teiste soojatootjatega

<b>Elektrootkatel</b>	<b>Fossiilkütustel töötav katel</b>	<b>Soojuspump</b>
Võimalus kasutada elektrienergiat mis toodetus taastuvatest energiaallikatest	Odav kütus	Võimalus kasutada elektrienergiat mis toodetus taastuvatest energiaallikatest
Kiireim reageerimine	Suured võimsused	Kiir reageerimine
Võimalik osutada sageduse hoidmise teenus		Soojuseenergia hind COP võrra odavam elektrienergia hinnast
Väike alginvesteering		Võimaldab kasutada madalamtemperatuurilist soojusallikat

Tabelis 4.15 on toodud põhjused miks just elektrootkatel on valitud. Elektrootkatel väga sobib varukatlaks, kuna katlal on kiireim reageerimine ja katel on võimeline saavutama maksimaalset soojusvõimsust 5 minutiga. Elektrootkatel kasutab kütusena elektrienergiat ehk "puhas" kütus, kuna katel ei tekita mingit saastet. Eelmistes alapeatükkides 4.6 ja 4.8 oli näidatud, et elektrootkatla tasuvusaeg võiks olla lühike ehk alginvesteering on väike ja kiire tasuvusega.

Mustamäe katlamajas on juba olemas fossiilkütustel töötavaid katlad. Antud projekti eesmärk paigaldada katel, mis on võimalik kasutada suurte koormuste ajal või asendada teist katlaid avarii juhul. Mustamäe katlamajal on võimalus kasutada enda toodetud elektrienergia ja toota elektrienergiast soojusenergiat, mis omakorda annab võimalus optimeerida katlamaja tulud ja kulud.

Antud projektile kaaluti ka elektroodkatla asemel paigaldada soojuspumpasid. Aga soojuspumbad paigaldavad jääksoojuse utiliseerimiseks. Muid variante soojuspumpadele ei ole. Soojuspumbad vajavad suurt pinda või suures koguses konstantse temperatuuriga vett (külmakontuuri hajutamiseks) ning linnapiirkondades õhukasutus on raskendatud müra tõttu.

# KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli näidata elektrootkatla tõelist potentsiaali Eesti turul. Lõputöö raames oli tehtud statistikaameti andmete põhjal ülevaade elektri- ja soojusenergia sektorite hetkeseisust Eestis. Töös tutvustati elektrootkatla tööpõhimõtte, ülesehitus ja rakenduse võimalused. Samuti oli analüüsitud ja tõestatud elektrootkatla süsteemi eelised ja puudused. Elektrootkatla põhilised eelised on tootmise usaldusväärsus, elektrootkatel saab koheselt sisse lülitada ja eriolukorras asendada muu kütusel töötavaid katlaid. Tänapäeva olukord näitab, et nafta toodete turg kõigub ning on ebastabiilne. Elektrootkatelt saab kasutada varukatlana, toota soojusenergiat koostöös teiste kateldegaga, perioodidel kus elektrienergia hind on odav ja osutada elektrivõrgu sageduse hoidmise teenus. Seetõttu tänasepäevases olukorras elektrootkatel on väga hea lahendus.

Antud töös oli vaadeldud 9MW elektrootkatla projekt, mis teostatakse Tallinna Mustamäe katlamajas. Projekti kirjeldus peab andma ülevaadet elektrootkatla projekti tasuvusest ja süsteemi põhimõttest. Töös on uuritud, milliseks kujuneb kaugkütte soojusenergia hind elektrootkatlade kasutamise korral Eesti tingimustes ning hinnatud erinevate stsenaariumite puhul elektrootkatelde konkurentsivõimet juhul kui soojus- ja elektrienergia hinnad muutuvad. Sai uuritud ka, kuidas sõltub investeringu tasuvusaeg juhul kui gaasikatla asemel kasutada elektrootkatelt. Arvutusest selgus, et elektrootkatelt ei ole otstarbekas kasutada kogu aeg, vaid on mõistlik kasutada ajal, kui elektrienergia hind on odav. Samas arvutuses selgub, et praeguses olukorras gaasihinna tõttu kui kasutada elektrootkatelt gaasikatla asemel, antud investering tasub ennast ära juba esimesel aastal.

Käesolevas töös tehtud tasuvusarvutuse põhjal saab edaspidi teostada tasuvusarvutused elektrootkatelde projektide jaoks.

Lõputöösse ei mahtunud elektrivõrgu sageduse hoidmise teenuse osa, mida võiks uurida, kuna elektrootkatla projektide juures see on väga oluline osa ning tasuvusaeg võiks olla veelgi lühem.

Järeldusena võib öelda, et elektrootkatel tänapäevases olukorras on väga hea lahendus, sobib varukatlana ja õigel kasutamisel investeringu tasuvus on lühike. Kuna elektrienergia turg ei ole stabiilne, elektrootkatel ei sobi igapäevaseks kasutamiseks, aga sobib koostöös teiste soojatootjatega.

## SUMMARY

The aim of this master's thesis was to show the actual potential of the electrode boiler in the Estonian market. For the purpose of this thesis, an overview of the current situation of the power and heat energy sectors in Estonia was made on the basis of the data of Statistics Estonia. The working principle, structure and application possibilities of the electrode boiler were introduced in the thesis. Additionally, the advantages and disadvantages of the electrode boiler system were analyzed and proven.

The main advantage of the electrode boiler is the reliability of production: the electrode boiler can be switched on immediately and, in an emergency, replace other fuel-fired boilers. The current situation shows that the crude oil market is volatile and unstable. An electrode boiler can be used as a backup boiler to produce heat energy in cooperation with other boilers during periods when the price of electricity is low. It can also provide system services for the electrical grid frequency maintenance. Therefore, in the existing conditions, electrode boilers are a very good solution.

The present thesis examined the 9MW electrode boiler project executed in Mustamae boiler house in Tallinn. The project description provides an overview of both the cost-effectiveness of the electrode boiler project and the working principle of the system. The thesis examines the district heating price formation in the context of using electrode boilers in Estonia, and evaluates the competitiveness of electrode boilers in different scenarios involving changes in heat and electricity prices. Furthermore, the effect on the payback period of replacing a gas boiler with an electrode one was studied.

According to the calculation, constant use of the electrode boiler is not efficient. However, it becomes reasonable when the electricity price is low. Basing on the aforementioned calculation, in the current situation, due to the natural gas price increase, replacing a gas boiler with an electrode one will already pay off in the first year.

The cost-benefit analysis formula worked out in this thesis can further be used to make cost-benefit calculations under other projects involving electrode boilers.

The thesis does not handle the subject of the electrical grid frequency maintenance service, which could reveal the high importance of the latter in the projects involving electrode boilers with potential shortening of the investment payback period.

In conclusion, it can be said that the electrode boiler is a very good solution in the current situation: it is suitable as a backup boiler, being at the same time a payback period reduction factor. As the global energy market is unstable, electrode boilers are not suitable for everyday use, but are suitable for application along with other heat producing equipment.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „ELEKTRIENERGIA JA SOOJUSE TOOTMINE NING TOODANGUINDEKS,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus\\_\\_energeetika\\_\\_energia-tarbimine-ja-tootmine\\_\\_luhiajastatistika/KE20](https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__energeetika__energia-tarbimine-ja-tootmine__luhiajastatistika/KE20). [Kasutatud 21. 03. 2022].
- [2] „ENERGIABILANSS KÜTUSE VÕI ENERGIA LIIGI JÄRGI (EUROSTATI METOODIKA),“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus\\_\\_energeetika\\_\\_energia-tarbimine-ja-tootmine\\_\\_aastastatistika/KE0230](https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__energeetika__energia-tarbimine-ja-tootmine__aastastatistika/KE0230). [Kasutatud 21. 03. 2022].
- [3] „ELEKTRIJAAMADE TOODANG JA ENERGIA TOOTMISEKS TARBITUD KÜTUS,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus\\_\\_energeetika\\_\\_energia-tarbimine-ja-tootmine\\_\\_aastastatistika/KE033](https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__energeetika__energia-tarbimine-ja-tootmine__aastastatistika/KE033). [Kasutatud 21. 03. 2022].
- [4] J. Kers, „Eesti biomajanduse ressursside hetkeseisu analüüs 6 väärtusahela põhjal,“ Tallinn, Tartu, 2019.
- [5] „Elektri põhivõrgu kaart,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/elektri-pohivorgu-kaart>. [Kasutatud 21. 03. 2022].
- [6] „Elektri tarbimine ja tootmine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elering.ee/elektri-tarbimine-ja-tootmine#tab2>. [Kasutatud 23. 03. 2022].
- [7] „Nord pool,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/EE/Hourly/?view=table>. [Kasutatud 23. 03. 2022].
- [8] Anna Volkova, Eduard Latõšov, Vladislav Mašatin, Igor Krupenski ja Andres Siirde, „Jätkusuutlik kaugküte. Soojuse tootmine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://kaugkute.taltech.ee/soojuse-tootmine/>. [Kasutatud 15. 04. 2022].
- [9] „Soojuse piirhinnad,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.konkurentsiamet.ee/et/vesi-soojus/soojus/kooskolastatud-soojuse-piirhinnad>. [Kasutatud 15. 04. 2022].
- [10] „Kaasaegsete elektrikatelde tüübid: kirjeldus, seadme skeem ja kasutamine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://obotoplenii.ru/elektricheskije-kotly/tipy-sovremennykh-elektricheskikh-kotlov>. [Kasutatud 30. 04. 2022].
- [11] „Induktsioonkatel: seade ja tööpõhimõte,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://termanik.ru/raznovidnosti-elektronagrevatelej/induktsionnyj-otopitelnyj->

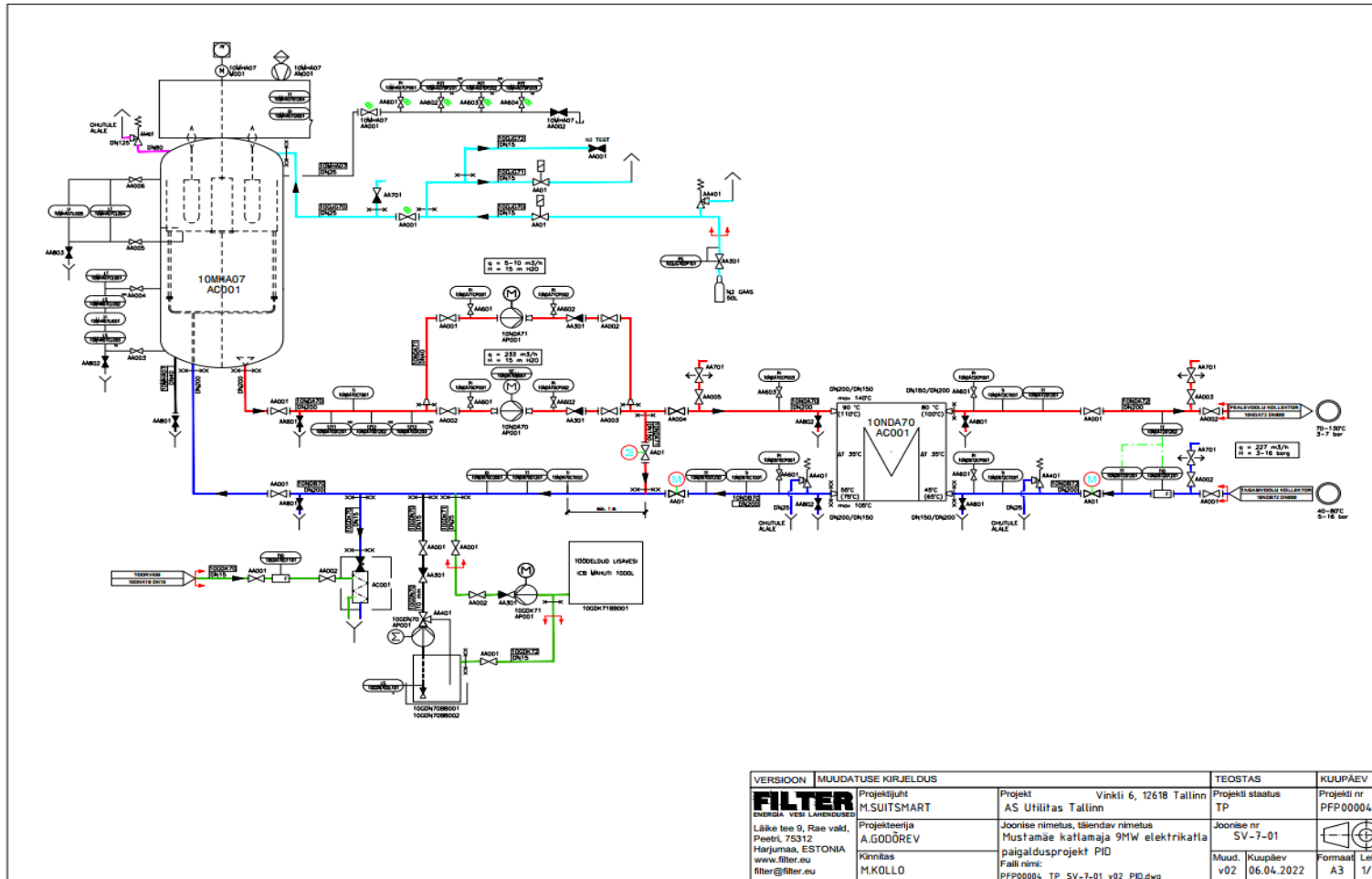


21T22:00:00.000Z&end=2022-03-22T21:59:59.999Z. [Kasutatud 10. 04. 2022].

- [24] Elering, „Maagaasi kvaliteeditunnistus märts 2022,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/sites/default/files/public/Gaas/Gaasis%C3%BCsteem/Maagaasi%20kvaliteeditunnistus%20m%C3%A4rts%202022>. [Kasutatud 24. 04. 2022].
- [25] „CO2 hinnad,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>. [Kasutatud 24. 04. 2022].
- [26] „Maagaasi võrguteenus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/vorguteenus-0>. [Kasutatud 24. 04. 2022].
- [27] „Maagaasi hinnad,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.getbaltic.com/en/>. [Kasutatud 24. 04. 2022].
- [28] „Kütuse ja elektrienergia aktsiisimäärad,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://emta.ee/ariklient/maksud-ja-tasumine/aktsiisid/kutus-ja-elektrienergia#aktsiisimaarad>. [Kasutatud 24. 04. 2022].

# LISAD

Lisa 1 Elektroodkatla süsteemi P&I diagramm



VERSION	MUUDATUSE KIRJELDUS	TEOSTAS	KUUPAEV
<b>FILTER</b> ENERGIA VEESI LAHENDUSED	Projektiliit M.SUITSMART	Projekt AS Uhitas Tallinn	Projekti nr PFP00004
Läike tee 9, Rae vald, Peetri, 75312 Harjumaa, ESTONIA www.filter.eu filter@filter.eu	Projekteerija A.GODÖREV	Joonise nimetus, lisandav nimetus Mustamäe kallamaja 9Mw elektrikalla paigaldusprojekt PID	Joonise nr SV-7-01
	Kinnitas M.KOLLO	Faili nimi: PFP00004_TP_SV-7-01_v02_PID.dwg	Muud. v02
		Muud. Kuupäev 06.04.2022	Formaat Leht A3 1/1