

**PÕLEVKIVIÕLI KASUTAMISE MÕJU MAAGAASI  
KATELDELE**

**EFFECT OF USING SHALE OIL ON NATURAL GAS BOILER**

**BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Maksim Zinovkin

Üliõpilaskood: 206641EACB

Juhendaja: Kertu Lepiksaar, doktorant-  
nooremteadur

Tallinn 2023

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"29" mai 2023

Autor: Maksim Zinovkin

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

"30" mai 2023

Juhendaja: Kertu Lepiksaar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

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

Mina Maksim Zinovkin (sünnikuupäev: 06.02.2001)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose *Põlevkiviõli kasutamise mõju maagaasi kateldele,*

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on doktorant-nooremteadur Kertu Lepiksaar,

*(juhendaja nimi)*

- 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:** Maksim Zinovkin, 206641EACB (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: EACB17/20, 2 Keskkonna-, energia- ja keemiatehnoloogia  
(kood ja nimetus)

Juhendaja(d): doktorant-nooremteadur, Kertu Lepiksaar, 58162989 (amet,  
nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Põlevkiviõli kasutamise mõju maagaasi kateldele*

(inglise keeles) Effect of using shale oil on natural gas boiler

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida põlevkiviõli mõju maagaasi kateldele ja nende tööle
2. Kuidas selline ümber lülitamine mõjutas energiafirmat ja kliente
3. Kas ümber lülitamine oli mõistlik tänapäevase situatsiooni jooksul

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teha katelde suitsugaaside mõõtmisi	21.04.2023
2.	Analüüsida klientide küttekulusid ja trassikoormuste andmeid	10.05.2023
3.	Teha järeldusi	17.05.2023

**Töö keel:** eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "30" mai 2023a

**Üliõpilane:** Maksim Zinovkin "29" mai 2023a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Kertu Lepiksaar "30" mai 2023a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Programmijuht:** ..... "....." .....202....a

/ allkirjastatud digitaalselt /

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	7
SISSEJUHATUS .....	9
1. SOOJUSE TARBIMINE .....	10
1.1 Soojuse tarbimise põhimõte .....	10
1.2 Katla töö.....	11
1.3 Kütused.....	12
1.3.1 Maagaas .....	12
1.3.2 Põlevkiviõli .....	13
1.4 Maagaasi katla ümberlülitamine põlevkiviõlile.....	14
1.4.1 Prognoosid ja kulud .....	15
1.4.2 Tegevused.....	17
1.4.3 Probleemid .....	18
Kütuse nivoo probleemid .....	18
Põleti töö.....	18
Lõhn .....	19
1.5 Teadusartiklite ülevaade .....	19
2. METOODIKA.....	20
2.1 Katlamajade töö analüüs .....	20
2.1.1 Haabersti 3 katlamaja.....	22
2.1.2 Paldiski mnt 102 katlamaja.....	24
3. JÄRELDUSED .....	26
3.1 Põlevkiviõli mõju maagaasi katlale.....	26
3.1.1 Haabersti 3.....	26
3.1.2 Paldiski mnt 102 .....	26
3.2 Koormuse erinevus .....	26
3.2.1 Haabersti 3.....	26
3.2.2 Paldiski mnt 102 .....	27
3.3 Põlevkiviõli kasutamise mõju klientidele .....	27
3.3.1 Märtsikuu .....	27
3.3.2 Aprillikuu.....	28
KOKKUVÕTE .....	29
SUMMARY.....	30
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	32

## EESSÕNA

Lähtudes olukorrast, mis kujunes 2022. aasta alguses, kui tõusid mitmete kütuse liikide hinnad, tekkis vajadus leida uusi võimalusi kulude kokkuhoidmisel, et vältida liiga suurt soojuse hinna tõusu tarbijatele. Üheks selliseks kütuseks, mille hind märkimisväärselt tõusis, oli maagaas. Sellest tulenevalt muutus gaasiga kütmise kulu ka märkimisväärselt kõrgemaks. Paljude energiaettevõtete juhtkonnad otsustasid leida alternatiivi maagaasile. Üheks võimaluseks sai põlevkiviõli.

Sellepärast et autor töötab sellises ettevõttes nagu Adven Eesti AS, otsustasin uurida põlevkiviõli kasutamise mõju kateldes, mis seni töötasid alati maagaasil. Samuti uurisin suitsugaaside koostist, et mõista, kui palju erinevad maagaasist ja põlevkiviõlist tulenevad heitmed. Uurimistöö põhjal viis autor läbi uuringu CO ja NOx emmisioonide kohta.

Oli huvitav uurida, kui kasulik oli see üleminek ja kuidas mõjutas see katelde tööd.

Lõpuks sooviksin teada, kui põhjendatud ja kasulik oli üleminek maagaasi kasutamiselt põlevkiviõlile. Uurimistöö põhjal viis autor läbi uuringu kas ümberlülitamine põlevkiviõlile on otstarbekam tänapäevase situatsioonis ning kuidas seotud kütuse hindade soojusele.

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

tk – tükki

CH<sub>4</sub> – metaan (maagaas)

CO<sub>2</sub> – süsihappe gaas

H<sub>2</sub>O – vesi

O<sub>2</sub> – hapnik

kWh – kilowatt-tund

€ - euro

MJ/m<sup>3</sup> – mega-džaulid kuup meetri kohta

C – süsinik

H – vesinik

O – hapnik

N – lämmastik

S – väävel

Cl – kloor

SiO<sub>2</sub> – ränisioksiid

CaO – kaltsiumoksiid

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – alumiiniumoksiid

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – raud(III)oksiid

TiO<sub>2</sub> – titaanoksiid

MgO – magneesiumoksiid

Na<sub>2</sub>O – naatriumoksiid

K<sub>2</sub>O – kaaliumoksiid

Fe<sub>2</sub>S – rauasulfiid

SO<sub>3</sub> – väävel(VI)oksiid

FeO – raud(II)oksiid

dm<sup>3</sup> – kuup detsimeetrid (liitrid)

sek – sekund

min – minut

h – tund

ppm – miljondikosa (parts per million)

% – protsent

°C – Celsiuse temperatuur

AVG – keskmine (väärtus)

T gaas – suitsugaasi temperatuur

CO-M, CO-M(0.00%) – süsinikumonooksiidi sisaldus

$\eta_s$ – kasutegur

NO, NO(0.00%) – lämmastikumonooksiidi sisaldus

NO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>(0.00%) – lämmastikuoksiidide sisaldus



## SISSEJUHATUS

Seoses 2022. aasta maailma ja Euroopa poliitilise situatsiooniga muutusid tavalised kütetüübid oluliselt kallimaks. Maagaasi hind tõusis ning see polnud enam nii hästi kättesaadav kui varem, kuna maagaasi tarned Venemaalt vähenesid märgatavalt. Seetõttu otsustati mõned maagasi katlad ümber lülitada põlevkiviõlile. Selleks vahetatatakse maagaasi katlal põleti, automaatika ning ehitakse juurde õli mahuti ja õlikütte trass. Küsimus on selline, kas põlevkiviõli võib kuidagi mõjutada maagaasi katelt ja selle tööd.

Eesmärk on uurida põlevkiviõli mõju maagaasi kateltele, nende tööle. Samuti kuidas selline ümber lülitamine mõjutab energiafirmat ja kliente. Lisaks uurida kas ümber lülitamine oli mõistlik tänapäevase situatsiooni jooksul.

Uurimisobjektid olid valitud Haabersti 3 katlamaja ja Paldiski mnt 102 katlamaja. Haabersti 3 soojendab jäähall "Škoda". Paldiski mnt 102 katlamaja soojendab Rocca al Mare keskust ja Unibet Arena (minevikus Saku suurhall).

Uuriti suitsugaaside koostised nii põlevkiviõli katlamajade töö jooksul, kui ka maagaasi katlamajade töö jooksul. Selleks kasutati gaasianalüsaatori suitsugaaside koostise mõõtmiseks.

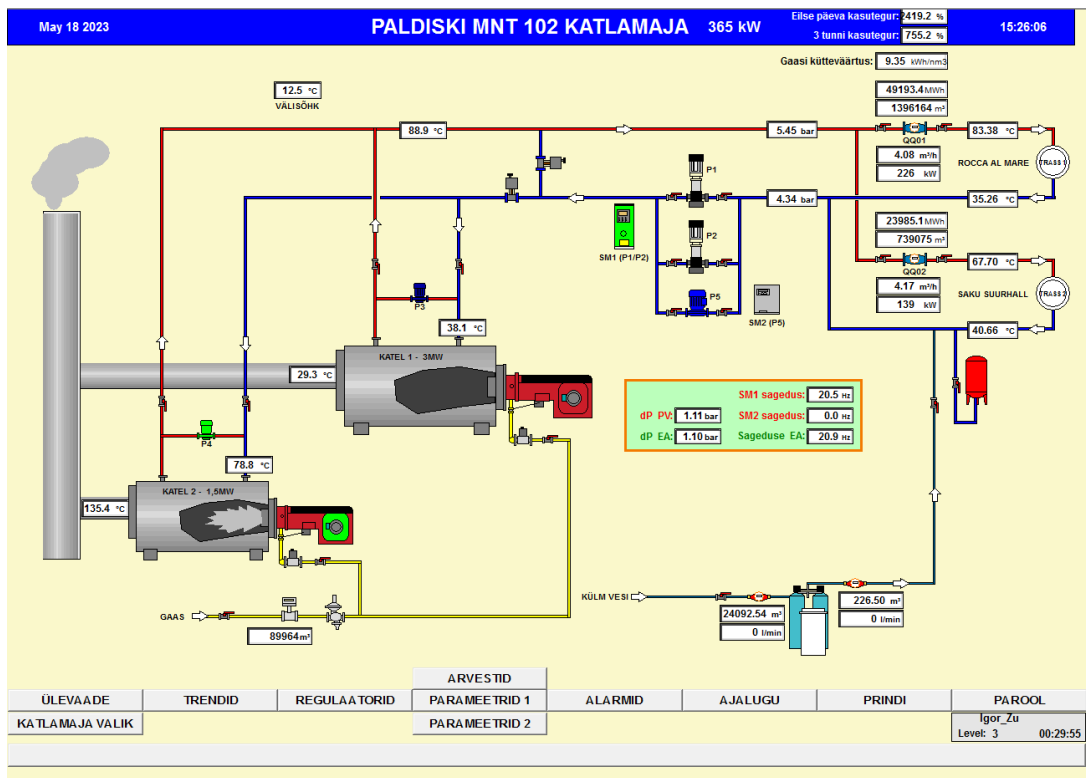
Ülesanded olid järgmised:

1. Valida katlamajad
2. Teha suitsugaaside mõõtmisi
3. Salvesta trassikoormuste andmeid mõõtmiste perioodil
4. Analüüsida neid
5. Analüüsida klientide küttekulusid märtsi- ja maikuu eest
6. Teha järeldusi
7. Koostada kokkuvõtet

# 1. SOOJUSE TARBIMINE

## 1.1 Soojuse tarbimise põhimõte

Soojuse tarbijateks ehk klientideks on harilikult erinevad hooned, nii elumajad kui ka ärihooned. Soojuse tootja jaoks hoone tervikuna ehk kortermaja puhul on üks klient terve maja, mitte korterid eraldi. Katlamajas on tavaliselt vähemalt kaks katelt – üks on põhikatel, teine on reservkatel. Katel töötab kindla kütusega, mis põletakse põleti abil. Põlemine toimub katla kambris ning kõik suitsugaasid lähevad suitsutorusse. Katla kambris ka asub soojusvaheti, kus liiguvad nii trassivesi kui ka põlemisgaasid (joonis 1). Soojusvahetis põlemisgaasid soojendavad trassivett. Soojendatud vesi liigub edasi mööda kaugkütte torusid kliendi juurde. Kliendi juures, soojussõlmes asub teine soojusvaheti, kus trassivesi soojendab kliendi küttesüsteemis olevat vett. Pärast kliendi juures soojuse ära andmist liigub jahtunud trassivesi tagasi katlamajja, kus ta liigub tagasi katlasse soojendamiseks.



Joonis 1. Paldiski mnt 102 katlamaja skeem

## 1.2 Katla töö

Harilikult koosnevad katlad kolmest osast: soojusvaheti (keeviskonstruktsioon, mis koosneb sektsiooniplokist, samuti üla- ja külkseintest), põleti (kas gaasi või õli) ja automaatika, mis reguleerib katla tööd (vee temperatuurid katlas, kütuse ja põleti reguleerimine jne) [1]. Katla pilt on näidatud ka joonisel 2.

Katla käivitamine toimub järgmiselt:

1. kõigepealt käivitatakse automaatika
2. Katla kambris tekitatakse elektrilise süütepõleti abil sädemed kütuse süüatmiseks
3. Pärast alustatakse kütuse etteandmisega peamisele põletile
4. kuumade suitsugaaside soojusega kuumutatakse katelt ümbritsevas veesärgis vesi vajaliku temperatuurini ja võrgupumba abil liigub kuumutatud vesi kliendile.



Joonis 2. Katel põlevkiviõli põletiga

## 1.3 Kütused

Järgnevalt on esitatud ülevaade töös teostatavas uuringus käsitlevate kütuste kohta .

### 1.3.1 Maagaas

Maagaas on lõhna, värvi ja maitseta gaasiliste süsivesinike segu, mille peamine koostiscomponent on metaan ( $CH_4$ ). Maagaas on võrreldes teiste fossiilsete kütustega keskkonnasäästlikum (ammutamise kaasnevad väiksemad mõjud ja kasutamise vähem heitmeid) energiaallikas, mida kasutatakse nii soojuse kui ka elektrienergia tootmiseks, kütusena transpordivahendites ning toorainena naftakeemiatööstuses. Metaani põlemisel eraldub süsihappegaas ( $CO_2$ ) ja vesi ( $H_2O$ ) (valem 1) [2].



Maagaasi keskmine kütteväärtus on 33-34 MJ/m<sup>3</sup> kohta, mis vastab umbes 9,3-9,4 kWh soojusenergiale, mis saadakse 1 m<sup>3</sup> metaani põletamisel [3].

Eksisteerivad kaks tüüpi gaasikatlad: gaasi-kondensatsioonikatlad ja madalatemperatuurilised katlad [4]. Gaasi-kondensatsioonikatlad on madala koormusega ning kasutatakse väikestes ettevõtetes ja elamutes [5]. Madaltemperatuurilised katlad on suurema koormusega ning kasutatakse suurtes ettevõttes [6].



Joonis 3. Maagaasi "Viessmann Vitoplex 100" katel

On olemas erinevad maagaasi katla põletid. Võib kasutada nii elamutes, kui ka suurtes ettevõttes suurte koormustega [7]. Katlamajas, mida käesoleva bakalaureuse töö raames uuriti kasutatakse „WM monarch“ põletit [8].

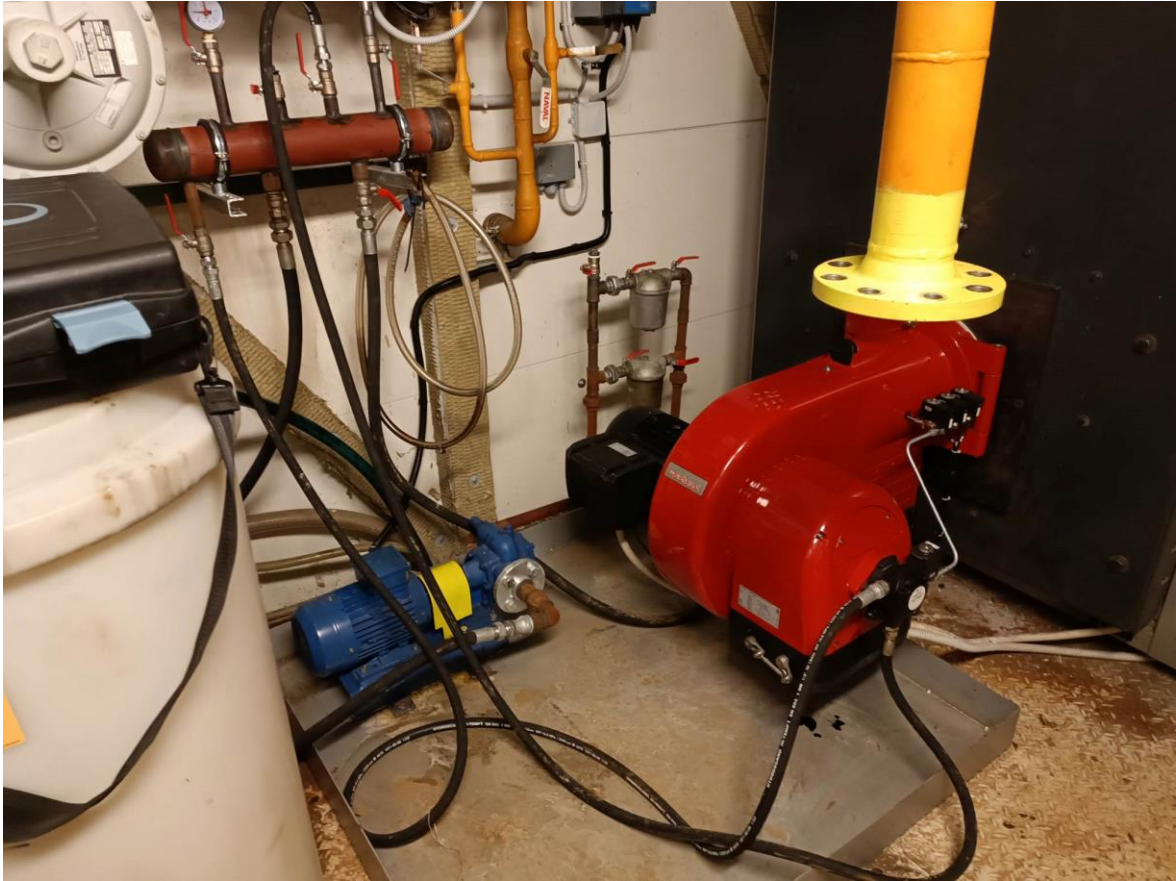
### 1.3.2 Põlevkiviõli

Põlevkiviõli [9] on põlevkivist toodetud vedelkütus, mis saadakse põlevkivi orgaanilise osa termilisel lagundamisel ja õliaurude kondenseerimisel. Põlevkiviõli iseloomustab tumepruun värvus ning spetsiifiline lõhn. Põlevkivi energotehniline töötlus tahket soojuskandjat kasutades annab võimaluse kasutada peeneteralist põlevkivi (kaasa arvatud tolm), mis tekib põlevkivi kaevandamisel. Põlevkivi töödeldakse termiliselt ja saadakse õlisaadused ja kõrge kütteväärtusega gaas kütteväärtusega kuni 50 MJ/m<sup>3</sup>. Põlevkivi koostis esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Põlevkivi koostis [10]

Orgaaniline osa		Mineraalne osa			
-		Liivane-savi osa		Karbonaatne osa	
Komponent	Sisaldus, %	Komponent	Sisaldus, %	Komponent	Sisaldus, %
C	77,45	SiO <sub>2</sub>	59,8	CaO	48,1
H	9,70	CaO	0,7	MgO	6,6
O	10,01	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,1	FeO	0,2
N	0,33	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,8	CO <sub>2</sub>	45,1
S	1,76	TiO <sub>2</sub>	0,7	-	-
Cl	0,75	MgO	0,4	-	-
-	-	Na <sub>2</sub> O	0,8	-	-
-	-	K <sub>2</sub> O	6,3	-	-
-	-	FeS <sub>2</sub>	9,3	-	-
-	-	SO <sub>3</sub>	0,5	-	-
-	-	H <sub>2</sub> O	2,6	-	-

Põlevkiviõli kütele eksisteerivad madalatemperatuurilised õliküttekatlad. Tavaliselt kasutatakse ettevõtetes [11]. Põletiteks tavaliselt kasutatakse samasugused põletid, mis kasutatakse maagaasi kütmisel. Uuritud katlamajades vahetati „Viessmann W20“ põletile [12].



Joonis 4. Põlevkiviõli põleti

## 1.4 Maagaasi katla ümberlülitamine põlevkiviõlile

Adven Eesti AS on üks taolistest firmadest, kes varustavad oma kliente soojusenergia ja sooja tarbeveega. Talinna piirkonnas tarnib Adven soojust Haabneeme, Viimsisse, Laagrisse, Sauele, Loole ning samuti väikstele klientidele, näiteks Rocca Al Mare keskus, Unibet Arena (minevikus Saku Suurhall), Põhja-Eesti Regionaalhaigla Hiiu korpus ja teised. Samuti varustab Adven kliente maagaasiga ja hooldab oma trasse.

Advenil on oma juhtimiskeskus, kus jälgitakse ja tagatakse kõikide oma katlamajade korralikku tööprotsessi. Samuti, kui on vaja, on võimalik muuta mõnesid parameetreid katlamajade töös. Juhtimiskeskuses on palju monitore, millede abil näeb juhtimiskeskuse spetsialist katlamajade seisundit kaamerate teel ning saab reageerida alarmidele sel juhul, kui esineb mingisugune viga või häire katlamaja sees.

Seoses 2022. aasta maailma geopoliitilise olukorraga muutus maagaasi kasutamine sai oluliselt kulukamaks ning selle tõttu otsustas Adveni juhtkond lülitada mõned katlad ümber maagaasilt põlevkiviõlile.

Samuti autoril oli vaja infot, kas ümber lülitamine teisele kütetüübile tekkisid erinevad probleemid protsessi jooksul ning kas eelmised uuringud mis oli sellega seotud olid sarnase kogemusega ja tekkisid samasuguselt mis oli varem mainitud teadusartiklites.

#### 1.4.1 Prognoosid ja kulud

Seni on enamus katlamaju töötanud maagaasi kasutades. Viimase aasta poliitiliste sündmuste tõttu tõusis aga maagaasi hind märkimisväärselt, mistõttu oli vaja otsida odavamaid alternatiive. Üheks selliseks variandiks sai põlevkiviõli.

Ümberlülitamine maagaasilt põlevkiviõlile ei ole lihtne ega odav protsess. Esimene probleemne osa seisnes aja piirangutes, mis ei olnud laiad. Tööd tuli kiiresti projekteerida ja ellu viia, kuna kliendi küttekulud olid oluliselt tõusnud ja ettevõtte hakkas kaotama kliente. Olid koostatud investeerimisplaanid nii Haabersti 3 katlamajale kui ka Paldiski mnt 102 katlamajale. Haabersti katlamajale planeeritud investeeringute summa oli 96 956,16 €, Paldiski mnt 102 katlamajale aga 118 036,51€. Kokku oli investeeringute summa 214 992,67 €.

Kulud olid arvatatud varuosade ostmise, teiste ettevõtetele maksmise ja muude kulude alusel. Kulud olid väiksemad kui planeeritud: Haabersti 3 katlamaja puhul 67 493 € ja Paldiski mnt 102 katlamaja puhul 75 263 €. Kokku oli summa 142 756 €. Vajalikud investeeringud maagaasilt põlevkiviõlile ülemineku võimaldamiseks uuritud katlamajades on esitatud tabelitel 2 ja 4. Kulud olid esitatud tabelitel 3 ja 5.

Tabel 2. Haabersti 3 katlamaja investeering

<b>Kirjeldus</b>	<b>Väärtus</b>
Investeeringu maksumus	80 796,80 €
Reserv 20%	16 159,36 €
KOKKU (koos reserviga)	96 956,16 €
<b>Kumulatiivne jääk</b>	<b>29 463,47 €</b>
<b>Kokku jääk prognooside kuludega</b>	<b>19 529,87 €</b>

Tabel 3. Haabersti 3 katlamaja kulud

<b>Kirjeldus</b>	<b>Väärtus</b>
Ehitus ja ehitusematerjalid	8 987 €
Mootori ja masinate kaubad ning nende hooldus	28 016 €
Elekter	90 €
Programeerimine ja side	9 355 €
Hüdraulika	219 €
Kraanatõstetööd	930 €
Projekteerimine	490 €
Küte seamed	113 €
Tööriistad	82 €
Metallide tööd	17 838 €
Automaatika	1 009 €
<b>Kokku</b>	<b>67 493 €</b>

Tabel 4. Paldiski mnt 102 katlamaja investeeering

<b>Kirjeldus</b>	<b>Väärtus</b>
Investeeringu maksumus	107 305,92 €
Reserv 20%	10 730,59 €
KOKKU (koos reserviga)	118 036,51 €
<b>Kumulatiivne jääk</b>	<b>-2 178,36 €</b>
<b>Kumulatiivne jääk korrigeerimisega</b>	<b>29 128,64 €</b>



Tabel 5. Paldiski mnt 102 katlamaja kulunud

<b>Kirjeldus</b>	<b>Väärtus</b>
Ehitus ja ehitusematerjalid	9 440 €
Mootori ja masinate kaubad ning nende hooldus	52 039 €
Elekter	90 €
Programeerimine ja side	14 984 €
Projekteerimine	13 995 €
Hüdraulika	644 €
Kraanatöstitööd	825 €
Metallide tööd	39 560 €
Posti teenistus	107 €
Automaatika	504 €
<b>Kokku</b>	<b>120 215 €</b>
<b>Korrigeerimine</b>	<b>-44 952 €</b>

#### **1.4.2 Tegevused**

Maagaasi katlale põlevkiviõli ümberlülitamiseks on vaja vahetada põleti, ehitada õlimahuti ja õlitrass mahutist põletini juurde. Samuti vahetakse automaatika, kuna maagaasi automaatika ei saa töötada põlevkiviõliga. Mahuti maht on 50 m<sup>3</sup>. Joonisel 5 on esitatud põlevkiviõli mahuti.

Kõik need tegevused kõigepealt projekteeriti ja pärast realiseeriti. Lõplik ümberlülitamine toimus detsembri alguses.



Joonis 5. Paldiski mnt 102 põlevkiviõli mahuti

### **1.4.3 Probleemid**

#### **Kütuse nivoo probleemid**

Ümberlülitamine ei läinud ideaalselt. Esimene probleem tekkis ehitamise ajal. Kuna kõik projekteeriti lühikese tähtajaga, jäid mõned olulised asjad puudu. Kõige vajalikum asi juhtimiskeskuse poole pealt on õli nivoo andur, mida mahutis kasutatakse kütuse nivoo hetkeolukorra näitamiseks. Andur saadab operaatoritele telefonile sõnumi nivoo mõõtmiste kohta üks kord päevas. Samuti nendel anduritel on suur ebatäpsus, mis võib erineda 1 000 – 1 500 dm<sup>3</sup>. Sellel põhjusel on vaja kord viie päeva jooksul saata inimene, kes mõõdab iseseisvalt kütuse nivoo kohapeal. Samuti on pole võimalik kuidagi kontrollida põlevkiviõli kulu, sest on pole teada täpset kütuse mahtu.

#### **Põleti töö**

Alguses põleti töö oli ebastabiilne. Esimesel nädalal seiskus põleti alarmiga erinevatel põhjustel mõned korrad päevas. Probleemid, mis põhjustasid põleti seiskumise olid erinevad: õli rõhk madal, ummistus (alati see ummistus tekkis liiva abil), põleti ülekummutamine ja teised. Aga suurem probleem oli selles, et kui põleti seiskub, siis põleti on vaja taas käivitada. Kui põleti ei alusta tööd pärast kaht taaskäivitamise katset,

siis on vaja helistada spetsialiseeritud tehnikutele. Kuna tehnikud ei ole meie firmas, siis üks väljakutse maksab umbes 200 €.

## **Löhn**

Põlevkiviõlil on tugev ja äratuntav lõhn. Katlamajad ja kütuse mahutid asuvad elupiirkondades, hoonete ja parklate ääres. Selle tõttu toimub kütuse tarnimine ainult öösel, sest vastasel juhul kaebavad inimesed ebameeldiva lõhna üle.

## **1.5 Teadusartiklite ülevaade**

Selles teadusartiklis [13] kirjeldatakse emmisioonide gaaside kontsentratsiooni uurimist suitsugaasides maagaasi kasutamise jooksul. Kuna keskkonna saastamine on üks peamisi probleeme tänapäeva maailmas, uuritakse artiklis erinevatel kütustel töötavate katelde erinevates töörežiimides tekkivate gaaside hulka. Uuringus oli kolm erinevat katla koormust, kuid võrdluseks võeti kõrgeim koormustase (89%). Tulemused olid järgmised: NO<sub>x</sub> keskmine väärtus oli vahemikus 1000–1500 ppm, CO keskmist väärtust ei tuvastatud. Uurimistöös suutis autor uurida ainult CO ja NO<sub>x</sub> olemasolu, kuna kasutatav gaasianalüsaator ei mõõtnud väevlioksiidide ja teiste ainete sisaldust, mida uurimises esitleti.

Selles teadusartiklis [14] kirjeldatakse katla töö uurimist raskeõlil. Artikli tulemused kujutavad keskmist katla kasutegurit, suitsugaaside temperatuuri ja emmisioonide gaaside sisaldust väljalasketes. Tulemused olid järgmised: keskmine katla kasutegur oli 89,15%, keskmine temperatuur oli 137,08 °C. Gaaside keskmine sisaldus oli: O<sub>2</sub> - 5,33%, CO<sub>2</sub> - 11,79%, CO (ppm) - 11,13, NO<sub>x</sub> (ppm) - 148. Selle uurimistöö autori eesmärk on võrrelda, kui palju erinevad tulemused eelmiste uuringutega.

Selles teadusartiklis [15] kirjeldatakse orgaanilise kütuse põletamist erinevates energiaseadmetes ning esitatakse tulemused suitsugaaside koostise kohta maagaasi kasutamisel. Uuringu tulemused hõlmavad suitsugaaside temperatuuri ja emmisioonide gaaside sisaldust väljalasketes erineva koormusega katla töös. Keskmised tulemused olid järgmised: keskmine väljuvate gaaside temperatuur oli 823 kraadi Celsiuse järgi, CO (ppm) sisaldus oli 0,53, NO<sub>x</sub> (ppm) sisaldus oli 171,45. Selle uurimistöö autori ülesanne on uurida emmisioonide gaaside sisaldust suitsugaasides ning suitsugaaside temperatuuri.

## 2. METOODIKA

Järgnevas peatükis on kirjeldatud uurimistöö jaoks tehtud mõõtmised ja nende tulemused.

### 2.1 Katlamajade töö analüüs

Lõputöö kirjutamise käigus on uuritud kahte katlamaja, millede aadressid on Haabersti 3 ja Paldiski mnt 102.

Katlamajade töö jooksul analüüsitati suitsugaaside koostist ning nende temperatuuri. Eelmised uuringud näitavad kui palju olid emmisionid katla töö jooksul, aga oli ka vaja uurida, millised emmisionid tekkivad uuritud katlad. See andis infot selle kohta kui intensiivselt ja täielikult toimub kütuse põlemine ning kui suured võivad olla kaod. Mõõtmistel kasutati suitsugaasi analüsaatorit "Seitron" mudel "CHEMIST 500 X BE GREEN" (joonis 6 ja 7).

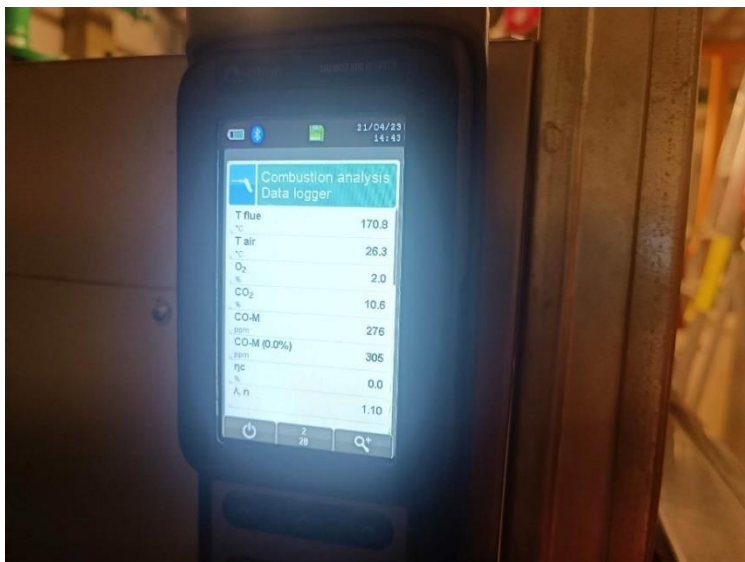


Joonis 6. Gaasianalüsaator "Seitron"

Mõõtmised toimusid erinevatel päevadel ning aegadel. Haabersti 3 katlamaja põlevkiviõli katla mõõtmised toimusid 27.03.2023 15:31 – 16:46. Haabersti 3 katlamaja maagaasi katla mõõtmised toimusid 21.04.2023 14:42 – 15:57. Paldiski mnt 102

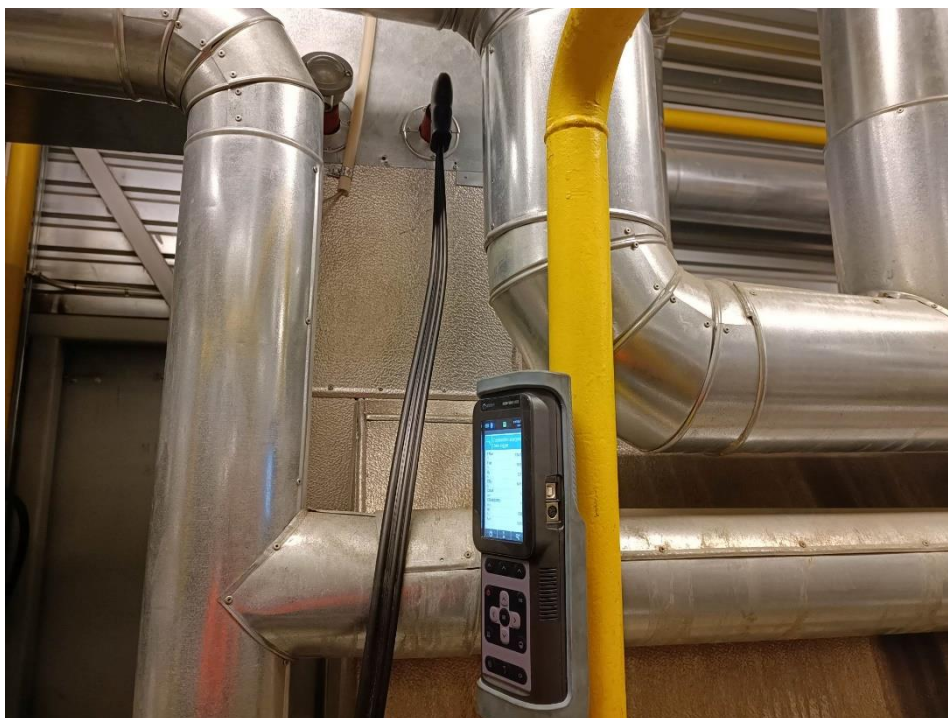
katlamaja põlevkiviõli katla mõõtmised toimusid 29.03.2023 16:02 – 17:17. Paldiski mnt 102 katlamaja maagaasi katla mõõtmised toimusid 21.04.2023 16:21 – 17:36.

Gaasianalüsaator mõõtis suitsugaase iga 45 sekundi järel ning printis tulemused gaasianalüsaatori ekraanile. Kokku oli tehtud 100 mõõtmist igale katlale. See tähendab, et iga katla mõõtmine kestis 1 h 15 min.



Joonis 6. Gaasianalüsaator töö

Gaasianalüsaatori mõõtmise vahend oli pandud suitsutorusse (joonis 8), kust sa saab andmed mõõtmisele.



Joonis 7. Gaasianalüsaatori mõõtevahend suitsutorus

Samuti on kogutud andmed trassikoormuse kohta. Trassikoormus on vaja võrdlemiseks, mis annab soojust rohkem, kas põlevkiviõli või maagaas.

### 2.1.1 Haabersti 3 katlamaja

Haabersti 3 katlamajas on kaks katelt. Esimesel katlal nimivõimsus on 1120 kW, teisel – 575 kW. Esimene katel oli hiljuti lülitatud ümber põlevkiviõlile.

Haabersti 3 soojendab Škoda jäähalli.

Kõigepealt mõõdeti katlast väljuvad gaasid. Tulemused on esitatud allpool toodud tabelis 2. Vajalikud tulemused on esile tõstetud rohelise värviga.

Tabel 6. Haabersti 3 katlamaja mõõtmiste tulemused

Väärtus	Ühik	Põlevkiviõli	Maagaas
Mõõtmiste kuupäev	-	3/27/2023	4/21/2023
Kellaeag	-	16:46:44	15:57:41
T gaas	°C	208,4	132,2
O <sub>2</sub>	%	5,8	11
CO <sub>2</sub>	%	11,3	5,5
CO-M	ppm	3	81
CO-M (0.0%)	ppm	4	171
η <sub>s</sub>	%	90,6	92,4
NO	ppm	123	21
NO <sub>x</sub>	ppm	129	22
NO (0.0%)	ppm	170	44
NO <sub>x</sub> (0.0%)	ppm	179	46

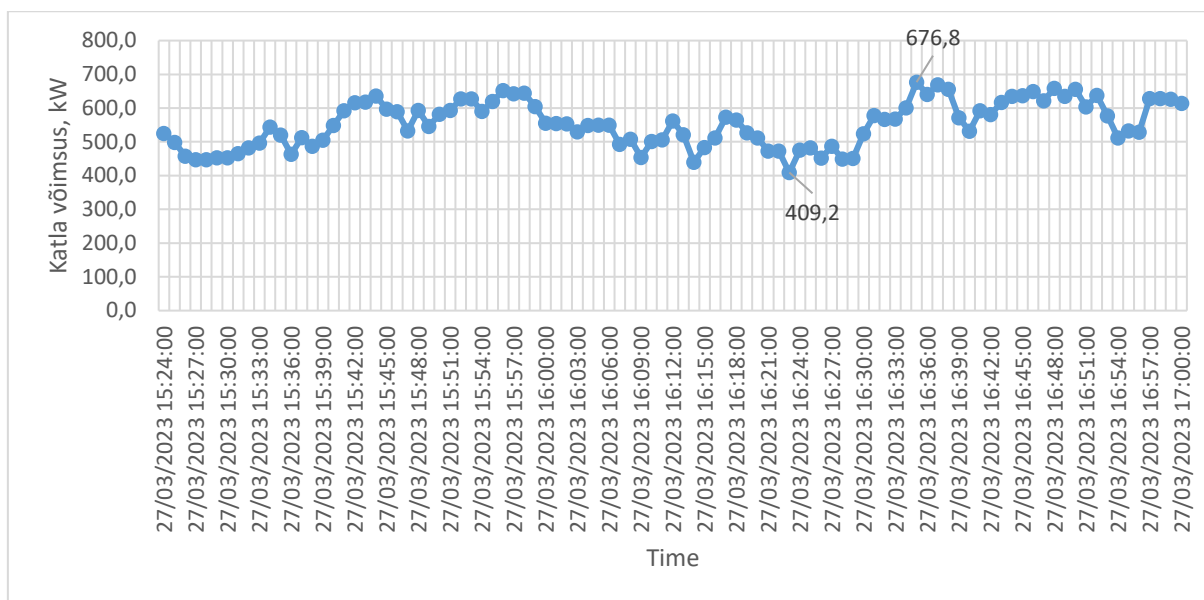
Järgnevalt on toodud keskmised väärtused järgmistele parameetritele: suitsugaaside temperatuur, katlaruumi õhutemperatuur ning nende vahe, hapniku ja süsinikdioksiidi sisaldus suitsugaasides ning süsinikmonoksiidi ja lämmastikuoksiidide sisaldus. Samuti on olemas katla kasuteguri väärtus.

Põlevkivi katla tulemuste põhjal on suitsugaaside keskmine temperatuur üle 200 kraadi, mis tähendab, et katel vajas suitsutoru ja katla sees puhastamist.

Keskmine kasutegur oli 90.6%. Süsinikmonoksiidi sisaldus on puudu ja lämmastikuoksiidide sisaldused ei olnud väga suured.

Maagaasi katla tulemuste põhjal on suitsugaaside keskmine temperatuur 138,9 kraadi, mis tähendab, et katel on korras ja ei nõua puhastamist.

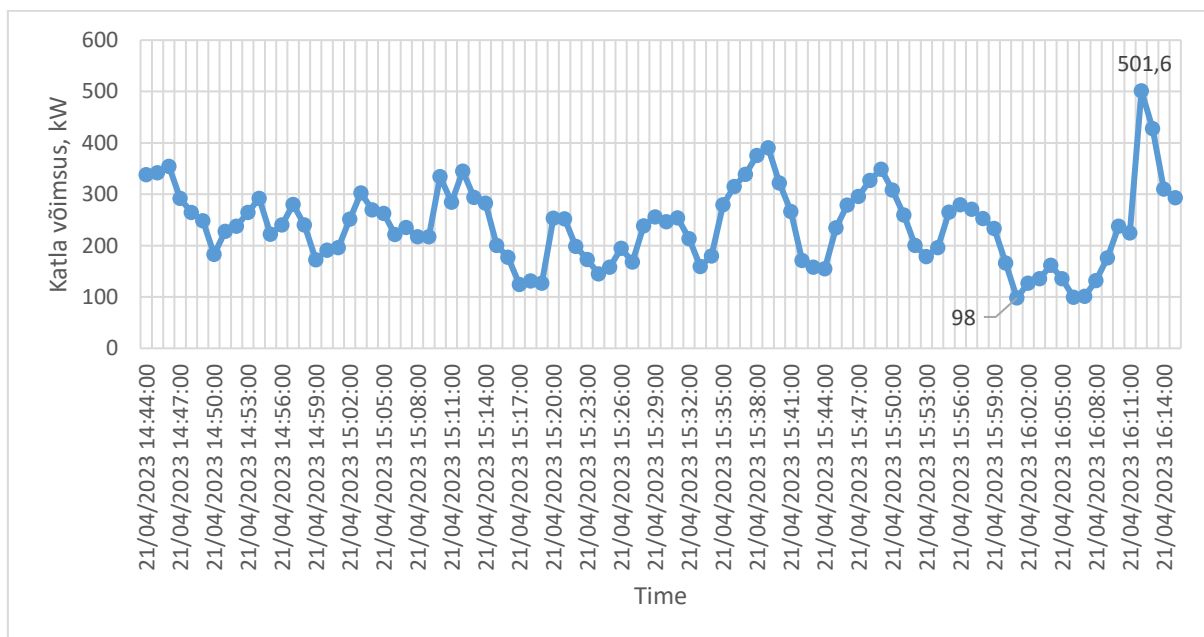
Keskmine kasutegur oli 92,4%. Süsinikmonoksiidi ja lämmastikuoksiidide sisaldused ei olnud väga suured.



Joonis 8. Haabersti 3 katlamaja põlevkivi katla koormus

Selles ajahetkes põlevkiviõli katlal oli keskmine koormus 543 kW (joonis 9).

Minimaalne koormus oli fikseeritud 409,2 kW ja maksimaalne 676,8 kW.



Joonis 9. Haabersti 3 katlamaja maagaasi katla koormus

Selles ajahetkes maagaasi katlal oli keskmine koormus 299,8 kW (joonis 10).  
Minimaalne koormus oli fikseeritud 98 kW ja maksimaalne 501,6 kW.

Mõõtmiste jooksul maagaasi tarbimine oli 49 m<sup>3</sup>.

### 2.1.2 Paldiski mnt 102 katlamaja

Paldiski mnt 102 on ka kahe katlaga katlamaja. Esimesel katlal nimivõimsus on 3000 kW, teisel – 1500 kW. Teine katel oli hiljuti lülitatud ümber põlevkiviõlile.

Paldiski mnt 102 soojendab nii Rocca Al Mare keskust kui ka Unibet Arenat (minevikus Saku Suurhall).

Kõigepealt mõõdeti katlast väljuvad gaasid. Tulemused on esitatud allpool toodud tabelis. Vajalikud tulemused on esile tõstetud kollase värviga.

Tabel 7. Paldiski mnt 102 katlamaja mõõtmiste tulemused

Väärtus	Ühik	Põlevkiviõli	Maagaas
Mõõtmiste kuupäev	-	3/29/2023	4/21/2023
Kellaaeg	-	17:17:16	17:36:59
T gaas	°C	158,7	90,2
O2	%	2,9	17,2
CO2	%	13,5	2,1
CO-M	ppm	0	5
CO-M (0.0%)	ppm	0	28
ηs	%	93,8	88,7
NO	ppm	137	15
NOx	ppm	144	16
NO (0.0%)	ppm	159	85
NOx (0.0%)	ppm	167	90

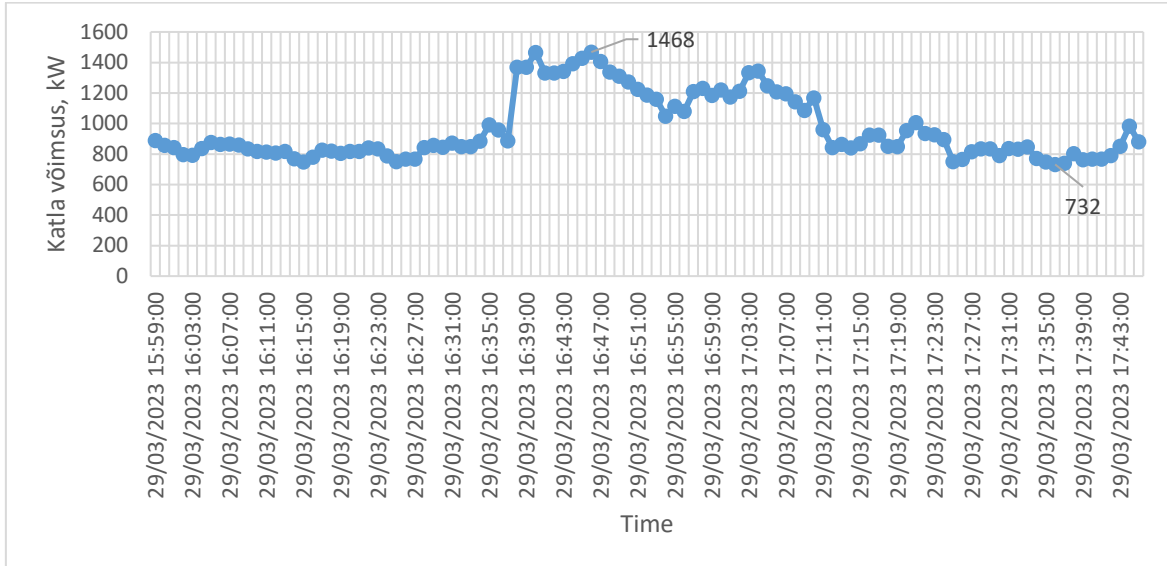
Põlevkiviõli katla tulemuste põhjal on suitsugaaside keskmine temperatuur 138,9 kraadi, mis tähendab, et katel on korras ja ei nõua puhastamist.

Keskmine kasutegur oli 93,8%. Süsinikmonoksiidi sisaldus on puudu ja lämmastikuoksiidide sisaldused ei olnud väga suured.

Maagaasi katla tulemuste põhjal on suitsugaaside keskmine temperatuur 90,2 kraadi, mis tähendab, et katel on korras ja ei nõua puhastamist.



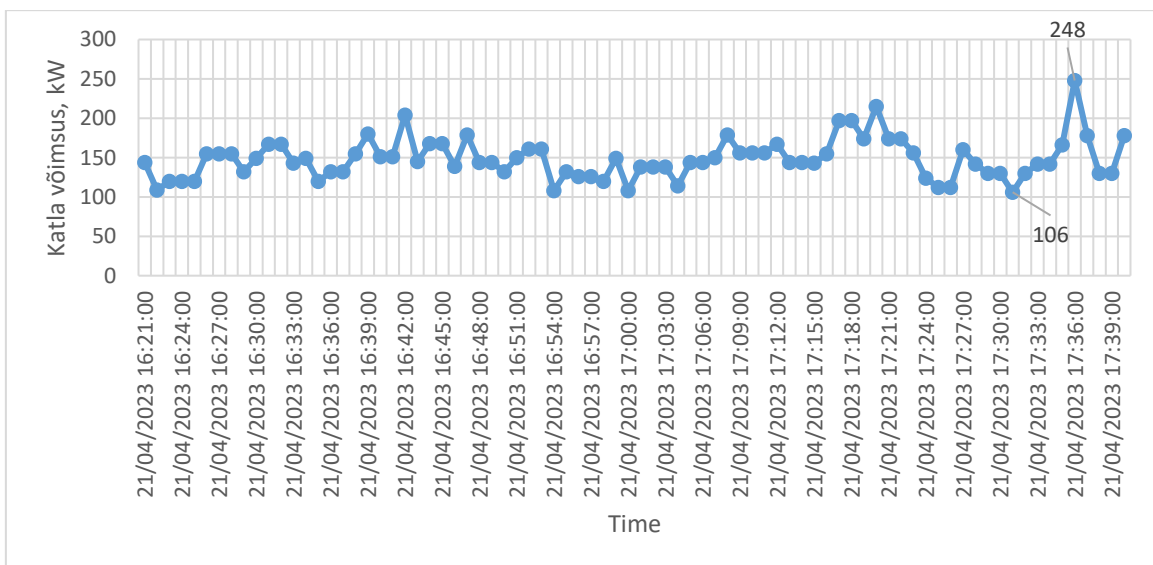
Keskmine kasutegur oli 88,4%. Süsinikmonoksiidi ja lämmastikuoksiidide sisaldused ei olnud väga suured. Need tulemused on seotud ka asjaoluga, et katel on piisavalt võimas ja suurema osa ajast on see ooterežiimis.



Joonis 10. Paldiski mnt 102 katlamaja põlevkiviõli katla trassikoormus

Selles ajahetkes põlevkiviõli katla oli keskmine koormus 1100 kW (joonis 11).

Minimaalne koormus oli fikseeritud 732 kW ja maksimaalne 1468 kW.



Joonis 11. Paldiski mnt 102 katlamaja maagaasi katla trassikoormus

Selles ajahetkes maagaasi katlal oli keskmine koormus 177 kW (joonis 12).

Minimaalne koormus oli fikseeritud 106 kW ja maksimaalne 248 kW. Koormuse võrdlemine oli vaja aru saamiseks, kui palju annavad soojust erinevad kütetüübid.

Mõõtmise jooksul maagaasi tarbimine oli 31 m<sup>3</sup>.

## **3. JÄRELDUSED**

Järgnevas peatükis on esitatud järeldused, mis on võimalik teha tuginedes teostatud mõõtmistelt saadud tulemustele.

### **3.1 Põlevkiviõli mõju maagaasi katlale**

#### **3.1.1 Haabersti 3**

Alustame võrdlemist süsinikmonooksiidi kogustest suitsugaasides. Kuna peamine komponent maagaasis on CH<sub>4</sub>, siis põlemise peamiseks produktiks on süsinikdioksiid. Süsinikmonooksiidi tekib samuti teatud kogus tingituna mittetäielikust põlemisest. Põlevkiviõlis on süsiniku sisaldus madalam, seetõttu puudub praktiliselt süsiniku monooksiidi suitsugaasides.

Olukord lämmastikuoksiididega on erinev. Põlevkiviõli kasutamisel on lämmastikuoksiidide tase umbes 4 korda kõrgem.

Kasutegur ei erine oluliselt, seega võib järeldada, et põlevkiviõli pole olulist mõju maagaasi katla tööle.

#### **3.1.2 Paldiski mnt 102**

Sama olukord on täheldatud ka teise katlamaja katelde töös. Ainus erinevus on see, et maagaasikatla kasutegur on seotud sellega, et suurem osa uuringuperioodist oli see ooterežiimis. Seega võib järeldada, et põlevkiviõli mõju maagaasi katlale ei põhjusta negatiivset efektiivsust.

## **3.2 Koormuse erinevus**

#### **3.2.1 Haabersti 3**

Kuna maagaasi katlad ja põlevkiviõli katlad töötasid erinevatel aegadel ja seetõttu oli õhu temperatuur erinev, on väga raske võrrelda kogunõudlust soojusvõrgus erinevate kütuse tüüpide kasutamisel. Muidugi on võimalik teha mõned järeldused nende graafikute (joonised 9 ja 10) põhjal. Põlevkiviõli katla töötamisel ei erine nõutav koormus soojusvõrgus oluliselt võrreldes maagaasi katlaga, kuna põlevkiviõli katla tööaeg oli uurimisperioodi jooksul kokkuvõttes pikem kui maagaasi katlal. Siiski võib teha täiendava järelduse, et maagaasi katel soojendas vett kiiremini kui põlevkiviõli katel.

### 3.2.2 Paldiski mnt 102

Sarnane olukord eelnevaga esineb ka Paldiski mnt 102 katlamajas. Graafikud (joonised 12 ja 13) erinevad veidi varasematest, kuid kahjuks ei anna see selgemat pilti koormuste erinevustest soojusvõrgus. Peamine järeldus on sama: maagaasil on suurem kütteväärtus kui põlevkiviõlil.

## 3.3 Põlevkiviõli kasutamise mõju klientidele

### 3.3.1 Märtsikuu

Tabel 8. Märtsikuu klientide maksud

Katlamaja	Kütus	€/MWh	Toodetud MWh
Paldiski mnt 102	Maagaas	175,9	203,7
Paldiski mnt 102	Põlevkiviõli	54,21	321,0
Haabersti 3	Maagaas	199,8	17,9
Haabersti 3	Põlevkiviõli	82,75	344,3

Tabelis 6. on esitatud klientide kulud. Hinnad näitavad soojuse hinnad. Nagu näha, oli märtsis põlevkiviõli kasutamisel hind keskmiselt 2,5 korda odavam kui maagaasi kasutamisel. Paldiski mnt 102 kasutamiseks kulutati maagaasi puhul 35 890,83 eurot, samas kui põlevkiviõli puhul 17 401,41 eurot. Haabersti 3 kasutamiseks kulutati maagaasi puhul 3 576,42 eurot, kuid põlevkiviõli puhul 28 490,825 eurot. Kokkuvõttes olid kliendi Paldiski mnt 102 küttekulud 53 232,24 eurot ja kliendi Haabersti 3 puhul 32 067,25 eurot.

Kui kasutati ainult maagaasi, oleksid hinnad järgmised: Paldiski mnt 102 - 92 294,73 eurot, Haabersti 3 - 72 367,56 eurot.

Kui kasutati ainult põlevkiviõli, oleksid hinnad järgmised: Paldiski mnt 102 - 28 443,99 eurot, Haabersti 3 - 29 972,05 eurot.

Järeldus on ilmne: põlvkiviõli kasutamine oli palju odavam.

### 3.3.2 Aprillikuu

Tabel 9. Aprillikuu klientide maksud

<b>Katlamaja</b>	<b>Kütetüüp</b>	<b>€/MWh</b>	<b>Toodetud MWh</b>
Paldiski mnt 102	Maagaas	73,41	221
Paldiski mnt 102	Põlevkiviõli	53,67	72
Haabersti 3	Maagaas	70,38	239
Haabersti 3	Põlevkiviõli	69,10	33

Tabelis 7. on esitatud klientide kulud. Hinnad näitavad soojuse hinnad. Kuna aprillis langes gaasi hind, siis otsustati kasutada kütteseadmeid maagaasiga. Paldiski mnt 102 kasutamiseks kulutati maagaasi puhul 16 223,61 eurot, samas kui põlevkiviõli puhul 3 864,24 eurot. Haabersti 3 kasutamiseks kulutati maagaasi puhul 16 820,82 eurot, kuid põlevkiviõli puhul 2 280,3 eurot. Kokkuvõttes olid kliendi Paldiski mnt 102 küttekulud 20 087,85 eurot ja kliendi Haabersti 3 puhul 19 101,1 eurot.

Kui kasutati ainult maagaasi, oleksid hinnad järgmised: Paldiski mnt 102 – 21 509,13 eurot, Haabersti 3 – 19 143,36 eurot.

Kui kasutati ainult põlevkiviõli, oleksid hinnad järgmised: Paldiski mnt 102 – 15 725,31 eurot, Haabersti 3 – 18 795,2 eurot.

Väljundandmete põhjal kujunes olukord teistsuguseks. Jah, põlevkiviõli hind on endiselt madalam kui maagaasi hind, kuid erinevus pole märkimisväärne. Samuti ei tohi unustada, et tabelis esitatud hind on keskmine ja on suure tõenäosusega hetked, mil maagaasi hind oli isegi madalam kui põlevkiviõli hind. Seetõttu töötasid suurema osa kuu jooksul ainult maagaasikatlad. Samuti hakkas aprillis õhutemperatuur tõusma, mis vähendas nii vee kui ka kütuse tarbimist.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureuse töö uuris autor põlevkiviõli mõju maagaasikateldele ja nende tööle. Töö teostamiseks viidi läbi 4 katlamaja uuringud. Samuti autor uuris, kuidas ümberlülitamine mõjus klientidele. Eesmärgid olid edukalt saavutatud.

Kõigepealt oli vaja valida katlamajad uurimisele. Haabersti 3 ja Paldiski mnt 102 valiti uurimiseks eelkõige seetõttu, et need katlamajad tagavad ühiskondlike kohtade kütmise. Seega on nende kohtade omanikele väga oluline vähendada lisakulusid. Lisaks kütavad need katlamajad väikest arvu kliente, mistõttu on lihtsam märgata erinevusi, mis on seotud kasutatava kütusetüübiga. Samuti oli klientide mõju uurimine väga mugav tänu nende väikesele arvule.

Uuringutes osalesid 2 katlamaja, igas katlamajas oli 2 katlelt: 1 põlevkiviõli katel ja 1 maagaasi katel. Minevikus kõik katlad küteti maagaasiga. Katelde töös oli uuritud suitsugaaside koostised gaasianalüsaatori abil.

Tulemused olid lõpuks üsna sarnased. Erinevused puudutasid peamiselt ühenduste arvu, mis tekkisid põlemise tulemusel. Maagaasi puhul oli rohkem süsinikoksiidi osakesi, samas kui põlevkiviõlil olid erinevad lämmastikoksiidide oksüdeerimisproduktid. Peamised parameetrid, nagu katla kasutegur ja väljuvate gaaside temperatuur, erinesid praktiliselt mitteoluliselt, ning neid väikeseid erinevusi võib omistada katelde erinevatele töörežiimidele uurimisperioodil.

Kahjuks ei õnnestunud trassikoormust ja katelde kütusekulu adekvaatselt võrrelda erinevatel uurimisperioodidel. Esimesel juhul oli erinevus välistemperatuurides, mis tingis erinevad katelde töörežiimid ning erineva soojusvajaduse klientide poolt. Teisel juhul, kiirendatud ehitustööde põlevkiviõli kasutamiseks tõttu, oli võimatu võrrelda katla kütusekulu, seega ei saanud määrata, milline kütuse liik oli tõhusam vee soojendamisel.

Siiski osutus maagaasilt põlevkiviõlile üleminek klientide jaoks põhjendatuks, kuna küttekulude hindade andmete põhjal oli põlevkiviõli keskmiselt oluliselt odavam kui maagaas.

Kokkuvõtteks võib öelda, et üleminek maagaasilt põlevkiviõlile osutus õigustatuks, hoolimata ettevõtte kulutustest selle saavutamiseks, kuna see aitas klientidel säästa tuhandeid eurosid. See ei mõjutanud kuidagi katelde tööd ega täheldatud soojuse tootmise kadusid.

## SUMMARY

The present bachelor's thesis examined the effect of shale oil on natural gas boilers and their operation. Four boiler studies were conducted for this purpose. The author also investigated the impact of the transition on the customers. The targets were successfully completed.

Firstly, it was necessary to select the boilers for the study. Haabersti 3 and Paldiski mnt 102 were chosen for investigation primarily because these boilers provide heating for public places. Therefore, reducing additional costs is crucial for the owners of these establishments. Additionally, these boilers serve a small number of customers, making it easier to observe differences related to the type of fuel used. The small number of customers also facilitated the examination of their impact.

Two boilers participated in the studies, with each boiler house having both a shale oil boiler and a natural gas boiler. Previously, all boilers were fueled by natural gas. The composition of flue gases was examined during the operation of the boilers using a gas analyzer.

The results turned out to be quite similar in the end. The differences primarily pertained to the number of compounds formed during combustion. Natural gas had more carbon monoxide particles, while shale oil exhibited different nitrogen oxide oxidation products. The main parameters, such as boiler efficiency and exhaust gas temperature, differed negligibly, and these slight variations could be attributed to the different operating modes of the boilers during the study period.

Unfortunately, it was not possible to adequately compare the load on the pipeline and the fuel consumption of the boilers during different periods of the study. In the first case, there was a difference in outside temperatures, resulting in different boiler operating modes and varying heat demand from customers. In the second case, due to accelerated construction work for the use of shale oil, it was impossible to compare the fuel consumption of the boiler, thus making it difficult to determine which fuel type was more efficient in water heating.

However, the transition from natural gas to shale oil proved to be justified for the customers, as the price of heating based on cost data was significantly lower on average for shale oil than for natural gas.

In conclusion, the transition from natural gas to shale oil proved to be justified, despite the company's expenses to achieve it, as it helped customers save thousands of euros.

It had no negative impact on the operation of the boilers, and no losses in heat production were observed.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] IRIS, "Maagaasi katla tööpõhimõte." <https://irbis-bor.ru/poleznaya-informatsiya/printsip-raboty-gazovogo-kotla/> (accessed May 25, 2023).
- [2] S. Velling and T. Vaasma, "Maagaasi koostis ja omadused," *Tartu ülikool*. Tartu ülikool, Tartu, 2013. Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: [https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31289/maagaasi\\_koostis\\_ja\\_omadused.html](https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31289/maagaasi_koostis_ja_omadused.html)
- [3] S. Velling and T. Vaasma, "Maagaasi kütteväärtus," *Tartu ülikool*. Tartu ülikool, Tartu, 2013. Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31289/kttevertus.html>
- [4] Viessmann, "Gaasikatelde tüübid." <https://www.viessmann.ee/et/ettevotted.html#pgroup=3ff3d4a03edbd113e86be165fd222f01> (accessed May 25, 2023).
- [5] Viessmann, "Gaasi-kondensatsiooni katel." [https://www.viessmann.ee/et/ettevotted/gaasikuttekatlad/gaasikondensatsiooni\\_katlad/vitodens-200w.html](https://www.viessmann.ee/et/ettevotted/gaasikuttekatlad/gaasikondensatsiooni_katlad/vitodens-200w.html) (accessed May 25, 2023).
- [6] Viessmann, "Madal-temperatuurilised katlad." <https://www.viessmann.ee/et/ettevotted/gaasikuttekatlad/madalatemperatuurilised-gaasikuttekatlad.html> (accessed May 25, 2023).
- [7] Wieshaupt, "Põletid." <https://www.weishaupt.ru/products/gorelki/> (accessed May 25, 2023).
- [8] Wieshaupt, "Põletid mudeliga 'WM Monarch.'" <https://www.weishaupt.ru/products/tiporyad-wm-monarch/> (accessed May 25, 2023).
- [9] Energiatalgud, "Põlevkiviõli," Mar. 04, 2021. <https://energiatalgud.ee/P%C3%B5levkivi%C3%B5li> (accessed May 25, 2023).
- [10] Inge Roos, "Methodology for Calculating CO2 Emission from Estonian Shale Oil Industry," Tallinn, Jun. 2013. Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/7725fdf0-d3f6-4b6b-b4c3-720aa9511f9c>
- [11] Viessmann, "Madaltemperatuurilised õliküttekatlad." <https://www.viessmann.ee/et/ettevotted/olikuttekatlad/madalatemperatuurilised-olikuttekatlad.html> (accessed May 25, 2023).



- [12] Wieshaupt, "Tüübirida W20." <https://www.weishaupt.ru/products/w20/> (accessed May 25, 2023).
- [13] B. Nakomcic-Smaragdakis, Z. Cepic, M. Cepic, and T. Stajic, "Data analysis of the flue gas emissions in the thermal-power plant firing fuel oil and natural gas," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 269–280, 2014, doi: 10.1007/s13762-013-0388-8.
- [14] Moalla Alaa, Soulayman Soulayman, Taan Abdelkarim, and Zgheib Walid, "Water/Heavy Fuel Oil Emulsion Production, Characterization and Combustion," *Int. Journal of Renewable Energy Development (IJRED)*, pp. 603–603, 2021, Accessed: May 26, 2023. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/8f31/dc2c7c8b4a639b950ed53daa76d0b84d216a.pdf>
- [15] P. V Roslyakov, Y. V Proskurin, D. A. Khokhlov, and M. N. Zaichenko, "A study of burning processes of fossil fuels in straitened conditions of furnaces in low capacity boilers by an example of natural gas," *J Phys Conf Ser*, vol. 980, no. 1, p. 12031, Mar. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/980/1/012031.