



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO  
INSENERITEADUSKOND

---

Energiatehnoloogia instituut

LNG KASUTAMISE POTENTSIAAL  
TOIDUAINETÖÖSTUSES

THE POTENTIAL USES OF LNG IN FOOD INDUSTRY

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Cathy-Liis Suurkivi

Üliõpilaskood: 163259

Juhendaja: Eduard Latõšov

Tallinn, 2018

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” ..... 201.....

Autor: .....  
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....  
/ nimi ja allkiri /

## Energiatehnoloogia instituut LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Cathy-Liis Suurkivi, 163259  
**Õppekava, peeriala:** MASM02/15 – Soojusenergeetika  
**Juhendaja(d):** Eduard Latõšov, dotsent, 620 3908  
**Konsultandid:** Mart Mahhov, tootejuht, FILTER AS, 51 981 895,  
[mart.mahhov@filter.eu](mailto:mart.mahhov@filter.eu)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) LNG kasutamise potentsiaal toiduainetööstuses.  
(inglise keeles) THE potential uses of LNG in food industry.

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kirjeldada LNG rakendusvõimalusi toiduainetööstuses.
2. Analüüsida LNG potentsiaali tasuvusarvutuste näol kahe konkreetse Eestis tegutseva ettevõtte näitel.
- 3.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö idee sõnastamine, juhendajaga kooskõlastamine	03.11.17
2.	Algandmete kogumine, kohapealne mõõdistamine, lõputöö kondikava moodustamine, teemakohase kirjandusega tutvumine	26.01.18
3.	Mõõdetud andmete analüüsimine, lõputöö põhiosa kirjutamise alustamine	26.02.18
4.	Lõplike arvutuste teostamine, tasuvusarvutuste tulemuste analüüsimine	26.04.18
5.	Kokkuvõtte kirjutamine, vormistamine	15.05.18

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." .....2018.a

**Üliõpilane:** ..... "....." .....201....a

/allkiri/

**Juhendaja:** ..... "....." .....201....a

/allkiri/

## AVALIKUSTAMISE PIIRANGU TINGIMUSED

Kaitsemiskomisjoni otsusega on käesolevale lõputööle „LNG kasutamise potentsiaal toiduainetööstuses“ kehtestatud avalikustamise piirang 3 aastat kuna see sisaldab teavet mitteavalikest andmebaasidest ja teavet, mille avalikustamine on mitteavalik vastavalt Konkurentsiseadusele § 63 lõige 2 alusel.

Kaitsemiskomisjoni esimees: ..... “.....” .....201.....a

/allkiri/

# SISUKORD

SISUKORD .....	5
EESSÕNA.....	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	8
1. SISSEJUHATUS .....	9
2. INTRODUCTION .....	11
3. KÜTUSE KASUTUS JA VALIK TOIDUAINETÖÖSTUSES.....	13
4. ENERGIAKASUTUSE PROTSESSID TOIDUAINETÖÖSTUSES .....	15
4.1 Soojusenergia .....	15
4.2 Jahutusenergia .....	16
5. LNG KASUTAMISE VÕIMALUSED TOIDUAINETÖÖSTUSES .....	18
5.1 Katla kütus.....	18
5.2 Transpordi kütus .....	20
5.3 Jahutusenergia allikas .....	24
5.3.1 Sõlme komponendid .....	26
5.3.2 LNG jahutusenergia taaskasutamise näiteid maailmast .....	29
6. ETTEVÕTETE ENERGIAVARUSTUS .....	31
6.1 Saarioinen Eesti OÜ.....	31
6.1.1 Soojusvarustus .....	32
6.1.2 Transpordikorraldus .....	35
6.1.3 Jahutusenergia .....	36
6.2 Saaremaa Piimatööstus AS.....	37
6.2.1 Soojusvarustus .....	37
6.2.2 Transpordikorraldus .....	39
6.2.3 Jahutusenergia .....	39
7. LNG RAKENDAMISE VÕIMALUSED ETTEVÕTETES.....	41

7.1	Tasuvus katla kütuse vahetusest.....	41
7.1.1	Saarioinen Eesti OÜ.....	42
7.1.2	Saaremaa Piimatööstus AS.....	44
7.2	Tasuvus ametiautode üleviimisest CNG kütusele .....	45
7.2.1	Saarioinen Eesti OÜ.....	45
7.2.2	Saaremaa Piimatööstus AS.....	46
7.3	Tasuvus LNG gaasistamisel tekkiva jahutusenergia taaskasutusest .....	47
7.3.1	Saarioinen Eesti OÜ.....	47
7.3.2	Saaremaa Piimatööstus AS.....	51
7.3.3	Võimalused tasuvusaja parendamiseks .....	55
	KOKKUVÕTE .....	59
	SUMMARY .....	62
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	65
	LISAD .....	69
	LISA 1 – LNG kütuse kvaliteedi sertifikaat.....	70
	LISA 2 – Saarioinen Eesti AS aurukatla põletile paigaldatud isekirjutaja mõõtetulemuste koondtabel .....	71
	LISA 3 – Saaremaa LNG gaasistamisjaama tarbimiste koondtabel .....	72

## EESSÕNA

Käesolev lõputöö sai alguse ettevõtete Filter AS ja Jetgas OÜ ühisest huvist uurida ja analüüsida LNG rakendusvõimalusi Eesti tööstusettevõtetes. Põhilised algandmed töö koostamiseks saadi mõlema ettevõtte andmekogudest. Lõputöö on jätk Sander Orasi poolt 2017. aastal kirjutatud magistritööle „LNG gaasistamisel tekkiva jääkjahutusenergia kasutamine“.

Autor soovib tänada oma juhendajat Eduard Latõšovi ja kaasjuhendajat Mart Mahhovit, kes olid oma ideede, ettepanekute ja nõuannetega lõputöö koostamisel suureks abiks. Samuti soovib autor tänada ettevõtte Filter AS töötajaid igakülgse abi ja nõu eest – Egert Killingut lõputöö teema aktuaalsuse esile tõstmise ja töös teostatud mõõtmiste abistamise eest ja Enri Petrovi oma nõuannete ja teadmiste jagamise eest. Samuti soovib autor tänada Jetgas OÜ töötajaid Toivo Ardelit ja Janek Parkmani lähteandmete hankimise eest, Eesti Gaas AS töötajaid Sergei Danilovit ja Sergei Jefimovit oma kogemuste ja teadmiste jagamise eest gaasitanklate tehnoloogia teemal ning Madis Ellamaad ettevõttest Tehnikameister OÜ oma kogemuste jagamise eest veeldatud kujul külmutusagensside hüdraulikast ja tehnoloogiast.

Autor soovib eraldi tänada lõputöö arvutustes kasutatud ettevõtteid – Albert Ernesaks ettevõttest Saarioinen OÜ ja Erkki Käärt ettevõttest Saaremaa Piimatööstus AS oma tootmiste energeetiliste näitajate, seadmete ja lahenduste jagamise eest.

Märksõnad: LNG rakendusvõimalused, primaarkütuse vahetus, LNG jääkenergia kasutus, LNG jahutusenergia, energia kokkuhoid, magistritöö

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

LNG – veeldatud maagaas („*Liquefied Natural Gas*“)

LPG – veeldatud naftagaas („*Liquefied Petroleum gas*“)

CNG – surumaagaas („*Compressed Natural Gas*“)

LCNG – veeldatud maagaasi muundamine surumaagaasiks („*Liquefied-to-Compressed Natural Gas*“)

CIP – lokaalne ja automaatne pesusüsteem tööstustorustikele ja seadmetele („*Clean In Place*“)

COP – kompressorseadme efektiivusustegur („*Coefficient of Performance*“)



# 1. SISSEJUHATUS

Energiatööstuse üks suurimaid väljakutseid praeguste globaalsete kliimapoliitiliste eesmärkide ja keskkonnaohutusnõuete taustal on fossiilsete kütuste kasutamise vähendamine ja olemasolevate järk-järguline asendamine kas täiesti taastuvate või oluliselt puhtamate kütustega. Eesti energeetika on võtnud selgelt suuna taastuvkütuste kasutamise peale, millele annavad hoogu erinevad riigipoolsed toetused. Tänapäevani on Eestis asuvates tööstuste katlamajades populaarseks kütuseks põlevkiviõli, mida kasutatakse paljudes toiduainetega tegelevates ettevõtetes ning mida on tihti peale raske mõne taastuva kütusega asendada kas varustuskindluse või tootmisprotsesside eripära tõttu [1]. Põlevkiviõli on aga keskkonna säästlikkuse seisukohast oma tolmu ja väevliheitmete poolest suure ökoloogilise jalajälje tekitaja. Kütuse hinna pideva kallinemise ja põletusseadmetele esitatavate Euroopa direktiivide karmistumise tõttu kaalutakse paljudes tootmisüksustes primaarkütuse vahetamist. Üheks potentsiaalseks alternatiivseks kütuseks põlevkiviõlile ja teistele kütustele, mille põlemisproduktis on suurem väevli ja tolmu kontsentratsioon, on veeldatud maagaas (edaspidi LNG), mis omab lisaks katlamaja kütusena potentsiaali ka jahutusenergia ja transpordikütusena ning mis on oluliselt puhtam võrreldes põlevkiviõliga.

Käesoleva lõputöö teema on välja kasvanud praktilisest vajadusest analüüsida autori tööandja ettevõtte (Filter AS) poolt tehnilist lahendust ja tasuvusaega, mis hõlmaks LNG terviklikku kasutamise potentsiaali kahe konkreetse objekti (Saarioinen Eesti OÜ ja Saaremaa Piimatööstus AS) näitel. Lõputöös koostatud analüüsi ja arvutusi saab hiljem rakendada ka teiste sarnaste ettevõtete puhul, kes kasutavad negatiivse keskkonnamõjuga kütuseid. Lõputöö raames kirjeldatakse üldisi energiatehnoloogia protsesse toiduainetööstuses, ettevõtete olemasolevat energiasüsteemi ja töö parameetreid, tehnilisi lahendusi LNG jahutusenergia tootmiseks ja transpordikütuse rakendamiseks ning arvutatakse LNG kütusele üleviimise tasuvusaeg võrreldes põlevkiviõli kütusega erinevates etappides.

Lõputöö koosneb seitsmest peatükist ja lisadest. Andmete analüüsimiseks ja töötlemiseks on töö koostamisel kasutatud programmi Microsoft Excel ning kirjeldavate jooniste ja skeemide koostamiseks projekteerimistarkvara Autocad Plant ja DraftSight.

Esimeses lõputöö põhiosas ehk kolmandas peatükis antakse üldine ülevaade kütuse kasutamisest ja valikuvõimalusest toiduainetööstuses. Neljandas peatükis tutvustatakse täpsemalt toiduainetööstuse tootmises rakendatavaid energeetilisi protsesse ja energiavajaduse eripärasid.

Viiendas peatükis tuuakse välja LNG kütuse kasutamise erinevaid teoreetilisi võimalusi toiduainetööstuses – katla kütuse kasutamine, transpordikütuse potentsiaal tänases transpordisektoris ning LNG jahutusenergia taaskasutamine, milles kasutatakse 2017. aastal kirjutatud Sander Orasi magistritöös „LNG gaasistamisel tekkiva jääkjahutusenergia kasutamine“ toodud arvutusmeetodeid. Samuti antakse lühiülevaade erinevatest näidetest üle maailma, kus LNG jääkenergiat ära kasutatakse.

Kuuendas peatükis kirjeldatakse lähemalt konkreetsete uurimisobjektideks oleva ettevõtte tootmisprotsesse, olemasolevat soojusvarustust ja selle seadmeid nii sooja kui ka külma tootmisel. Tuuakse välja nii projekteeritud sooja- ja külmavõimsused kui ka reaalsed tarbimishäitajad lõputöö raames teostatud mõõtmistulemuste abil. Samuti antakse ülevaade ettevõtte olemasolevast transpordikorraldusest ja autopargist.

Seitsmendas peatükis tuuakse välja konkreetsed lahendused ja tasuvusarvutused vedelkütuse asendamisel LNG kütusega. Tasuvust hinnatakse kolmes erinevas etapis – soojuse tootmiseks, transpordikütusena ja jahutusenergia tootmiseks. Tuuakse välja, millised on ettevõtte võidud rahalises väärtuses ja ka keskkonnanahoiu seisukohalt. Peatüki lõpus tehakse tasuvusarvutustele tundlikkuse analüüs, et analüüsida tasuvusaja suurimaid mõjureid.

Käesoleva lõputöö tulemusena saab hinnangu LNG kütuse terviklikust potentsiaalist toiduainetööstuses – selle rakendamisest tulenev majanduslik sääst ja keskkonna kokkuhoid. Tasuvusarvutused on tehtud erinevates etappides ja nende järgi on võimalik teha järeldusi töös püstitatud idee otstarbekusest.

## 2. INTRODUCTION

One of the biggest challenges in the light of global climate goals and environmental sanctions in energy industry today are reducing the use of fossil fuels and replacing existing technologies gradually with renewable or significantly cleaner fuels. Estonian energy sector has taken a clear direction towards renewable fuels which is supported by different national environmental unions. Yet, shale oil is still quite popular fuel among many industries working in Estonia, mostly in food industry where finding an alternative is quite challenging thanks to the security of supply or the peculiarity of energetic processes in production [1]. From an environmental sustainability matter, shale oil has a large ecological footprint thanks to its dust and sulphur emissions. Due to constant fuel price increase and tightened European directives for medium combustion plants, many production industries are considering changing their primary fuel. One potential alternative for shale oil and other fuels with higher concentration of sulphur emissions and dust in combustion products is liquefied natural gas (LNG hereinafter) which in addition to boiler fuel has potential as a cold energy producer and transportation fuel and which is significantly cleaner fuel compared with shale oil.

This present master's thesis was created from practical need to analyze author's employer (Filter AS) technical solution and payout period for the potential uses of LNG integrally taking two specific objects (Saarioinen Eesti OÜ and Saaremaa Piimatööstus AS) as an example. Calculations and analyses which were made in this thesis could be applied to other similar companies who are using fossil fuels with high negative impact on the environment. This present master's thesis is describing general energy technology processes in food industry, current energetic systems and working parameters of the example companies and technical solutions for LNG cold energy production and transportation outcomes. Payback period for potential uses of LNG are calculated separately in all three stages.

This paper consists of seven main chapters and annexes. Microsoft Excel program was used to analyse and process different data and design software Autocad Plant together with DraftSight were used to create drawings and schemes.

In the third chapter of the paper, a brief overview is given for fuel usage options in food industry. In the fourth chapter different processes, technologies and specialities used in food industry are explained and described. Theoretical potential uses of LNG in food industry are described in the fifth chapter – boiler fuel potential, transportation fuel potential in today's transport sector and LNG

cold energy utilization in which Sander Orasi's master's thesis "Utilizing waste cooling energy from LNG regasification" was being used in the calculations.

The sixth chapter is about describing specific example companies of food industry– their production processes, existing heat and cold energy production system and its components. Both, designed and realistic thermal and cold energy consumptions were pointed out resulting from measurements conducted within this thesis. An overview of companies's current transportation arrangement and car park is also made.

Concrete solutions and payback periods when replacing shale oil with LNG are calculated in chapter seven. Payback period is evaluated in three different phases – thermal energy production, transportation fuel and cold energy production. Financial winnings and environmental winnings were pointed out separately. In the last sub-chapter, a sensitivity analysis was carried out in order to find the biggest influencers for payback period.

An evaluation was carried out within this paper about LNG potential uses in food industry – financial and environmental savings from replacing shale oil with LNG. Payback period calculations were calculated in different phases which help to draw conclusions to the expedience and ideas raised in this thesis.

### 3. KÜTUSE KASUTUS JA VALIK TOIDUAINETÖÖSTUSES

Tänu mitmetele Euroopa Liidu direktiividele ja globaalsetele kliimalepetele peavad tänased energiatehnoloogia ettevõtted ja erinevad tööstused silmitsi seisma väga raskete optimeerimisülesannetega, mis on seotud näiteks põletusseadmetes kasutatava kütuse valikuga ja vajalike puhastusseadmete paigaldamisega. 19. detsembril 2017 jõustus Eestis uus direktiiv, mille eesmärk on reguleerida põletusseadmetest, mille soojussisendile vastav nimisoojusvõimsus on 1 MW või suurem ning väiksem kui 50 MW, tulenevat õhuheidet. Direktiivi raames kehtestati uued piirväärtused vääveldioksiidi, lämmastikoksiidide ja osakeste heitmetele keskmise võimsusega põletusseadmetele, mis omakorda nõuab paljudele põletusseadmetele täiendavate puhastusseadmete paigaldamist, et kehtestatud piirväärtused saavutada. Keskkonnaministeeriumi poolt tellitud uuringust selgus, et SO<sub>2</sub> piirväärtuste ületamisi esineb enim õlikütel töötavates katlamajades. Õhuheitmete karmistamine paneb katlamajade omanikud raske valiku ette – kas paigaldada kalleid puhastusseadmeid või vahetada katlamajas kasutusel olevat kütust. [2] [3]

Eestis kasutatakse katlamajade kütusena väga palju erinevaid kütuseliike. Kui vaadata energiatootmisettevõtteid ja lokaalseid katlamaju, siis on märgata biomassi suurenevat populaarsust, mis on tingitud Keskkonnainvesteeringute Keskuse poolt antavate toetustega. Kaheksa aasta jooksul, perioodil 2008 - 2016, on puitkütuste kasutamine energiatootmise sektoris peaaegu kahekordistunud. Samuti on endiselt populaarne maagaas – põllumajanduse, transpordi ja äri ning avaliku teeninduse sektoris kasutatav kõige populaarsem kütuseliik soojuse tootmiseks. Tööstuses on gaaskütus puitkütuste järel populaarsuselt teisel kohal. [4] Piirkondades, kus maagaasitrassi olemasolu puudub ning tehnoloogilistel põhjustel tahket kütust kasutada ei saa, levib suurel hulgal erinevate kütteõlide, näiteks põlevkiviõli, kasutamist. Erinevate energia direktiivide ja keskkonnahoiu seisukohalt hakatakse aina enam otsima alternatiive kütteõlidele, kuid kui gaasitrassi lähedal ei ole, siis on kütuse vahetus raskendatud. Üheks heaks alternatiiviks kütteõlile on LNG ehk veeldatud maagaas.

Kõige populaarsemad töötleva tööstuse harud Eestis on puidutööstused, toiduainetööstused ja rõivatööstused. Toiduainetööstus on Eestis väga heal tasemel – statistikaameti andmetel oli 2016. aasta toiduainetööstuse ettevõtete kogum 603, mis on kogu töötleva tööstuse sektorist tervelt 8 %. Toiduainetega tegelevad tööstuseid leiab igast maakonnast ja üldjuhul ei ole tööstused suurte linnade südames, vaid paiknevad pigem linnast väljas kas tooraine läheduse või soodsamate maksude tõttu. Eestis on näiteks 34 erinevat piimatoodete tööstust, 71 lihatoodete tööstust ja 87

joogitööstusega tegelevat ettevõtet 2016 aasta seisuga [1]. Toiduainetehnoloogia vajab suurel hulgal soojusenergiat erinevate protsesside läbiviimiseks. Seetõttu teenindavad paljusid toiduaine tootmistehaseid lokaalsed auru- ja kuuma vee katlamajad. Oma olemuselt nõuab toiduainete tehnoloogia üldjuhul kõrgeid temperatuure ja rõhke ning seda väga lühikese aja jooksul olenevalt tootmistehnoloogiast. Tootmistsüklid on perioodilised ning seetõttu peab katel omama kiiret soojuskoormuse muutmisvõimet. Sellistesse tingimustesse sobib katlamaja kütuseks kõige paremini gaas või kütteõli. Tahkeid kütuseid kasutatakse harva, sest katelde koormust ei saa nii kiiresti reguleerida, kui tootmine nõuab. Tabel 3.1 on toodud loetelu erinevatest Eestis tegutsevatest toiduaine tootmisettevõtetest ja kütustest, mis nende katlamajades kasutatakse.

Tabel 3.1 Eesti toiduainete tööstuses kasutatavate kütuste loetelu (andmed pärinevad Filter AS andmebaasidest)

Ettevõtte	Katla tüüp	Kütus
Valio Eesti AS Võru Juustutööstus	aur	põlevkiviõli
Valio Eesti AS Laeva Meierei	aur	põlevkiviõli
A. Le Coq AS	aur	maagaas
Balbiino AS	aur	maagaas
Eesti Pagar AS	aur	LNG
HKScan Estonia AS	aur	maagaas
Kalev AS	aur	maagaas
Leibur AS	aur	maagaas
Linda Nektar AS	vesi	LPG
Lunden Food OÜ	vesi	maagaas
Paljassaare Kalatööstus AS	aur	maagaas
Saaremaa Lihatööstus OÜ	aur	LNG
Saaremaa Piimatööstus AS	aur	LNG
Saare Leib OÜ	vesi	LNG
Saarioinen Eesti OÜ	aur	põlevkiviõli
Saku Õlletehase AS	aur	maagaas
Salvest AS	aur	maagaas
Scanola Baltic AS	aur	maagaas
Salutaguse Pärmitehas AS	aur	maagaas
Värska Vesi AS	aur	maagaas
Viru Rand OÜ	aur	maagaas
Estover Piimatööstus OÜ	aur	põlevkiviõli

Olgugi, et Tabel 3.1 on kajastatud vaid murdosa Eestis tegutsevatest toiduainetööstuse ettevõtetest, siis võib tabeli andmete põhjal siiski järeldada, et valdavalt kasutatakse maagaasi, ning populaarsuselt järgmisena põlevkiviõli.

## 4. ENERGIAKASUTUSE PROTSESSID TOIDUAINETÖÖSTUSES

Toiduainetööstusel on väga palju erinevaid harusid ja tehnoloogiaid. Näiteks piima- või lihatööstuse tootmises läheb vaja pidevat intensiivset soojusülekannet (suur auru või kuuma vee tarbimine), aga karastusjookide ja mineraalveetootmise puhul soojusülekanne protsesse on väga vähe – ainult mahutite, torude ja muude seadmete perioodiliseks pesuks. Kõikidel tootmistehnoloogiatel on omad eripärad ja parameetrid, kuid enamikes tootmisüksuses peab hakkama saama järgnevate ülesannetega: soojusülekanne, massi voolamine, segamine, mahu muundamine (massi kahandamine või suurendamine) ja separeerimine. Käesolevas peatükis antakse lühike ülevaade populaarseimatest toiduainetööstuses esinevatest energiakasutuse protsessidest.

### 4.1 Soojusenergia

Soojusülekanne rakendamine on üks toiduainetööstuse töötlemistehnoloogia põhitõdesid ja see leiab rakendust erinevates käitamissüsteemides – termiline töötlemine, aurustamine ja kuivatamine, külmutamine, sulatamine, küpsetamine (küpsetusahjudes) ja palju muud. Kuumutamist kasutatakse mikroorganismide hävitamiseks, et tagada tervislik toit ja selle pikaealine säilivusaeg teatud ensüümide kahjutuks tegemise abil ja samuti sobiva maitse, lõhna ja välimuse saavutamiseks. Soojusülekanne toimub tavaliselt toote ja seda ümbritseva aine vahel. Mida suurem on temperatuuride erinevus toote ja soojuskandja vahel, seda suuremaks muutub vajatav soojusvõimsus. Toiduainetööstuse soojuskandjaks on tavaliselt vesi või aur, mis tuleb tootmisüksuse territooriumile ehitatud katlamajast. Olenevalt soojusülekanne liigist, võib soojusülekanne toimuda kas konduktiivse, konvektsioon- või kiirgusülekanne teel. Alljärgnevalt kirjeldatakse põhilisi soojusülekanne aplikatsioone toiduainetööstuses. [5]

- **Veega töötlemine** - Väga paljud tootmistehnoloogiad vajavad tootmisprotsessides kuuma (ja ka külma) vett, kas siis otseseks keetmiseks, mingi konkreetse temperatuuri saavutamiseks või hoidmiseks. Samuti kasutatakse vett otseselt tootmise sees segude valmistamiseks ja jookide tootmisel.
- **Auruga töötlemine** - Aurul on väga tähtis roll toiduainetööstuses. Seda võib kasutada otse toiduaine töötlemiseks (näiteks niisutamiseks), soojusvahetuspinna abil soojusenergia edastamiseks või toiduaine pastöriseerimiseks ja steriliseerimiseks. Pastööri ja steriliseerimise eesmärk on teha kahjutuks toiduainetes olevad kahjulikud patogeensed

mikroobid ja mikroorganismid, et tõsta toote säilivusaega. Vajaliku pastöriseerimisprotsessi pikkuse ja kuumutava vee temperatuuri määrab ära toiduaine eripära ja kogus. Näiteks madala happelisusega ( $\text{pH} > 4.6$ ) toiduainete puhul on toodet vaja töödelda üle  $100^{\circ}\text{C}$  veega (või auruga), tavaliselt vahemikus  $116^{\circ}\text{C}$  kuni  $130^{\circ}\text{C}$ , samas happeliste toitute (näiteks erinevad puuvilja mahlad) puhul ei ole nii intensiivset töötlemist tarvis, sest kõrgete pH tasemete juures ei toimu bakteriaalset arengut. [6]

- **CIP-pesu** - Hügieen on oluline osa toiduaine-, ravimi- ja kosmeetikatööstuse protsessist, kuna kõik seadmeid (mahutid, torustik, pumbad, ventiilid jne) peavad saama korralikult puhastatud. Selleks on välja töötatud CIP (*Clean-In-Place*) lokaalne ja automaatne pesusüsteem, mille ülesanne on tagada perioodiline torustiku, mahutite, filtrite jm seadmestiku sisemine pesu. Tavaliselt koosneb CIP süsteem puhastusvahendist, milleks võib olla äädikhape, fosfor ja lämmastikhape, naatriumhüpoklorit, peräädikhape ja teised sarnased. Pesu võib teostada ka kahes etapis – esimeses etapis eemaldatakse kõrge survega pindadele paakunud osakesed ja teises etapis vaiksema survega eemaldatakse jääkmustus keemilise reaktsiooni teel. CIP pesu seade on eraldiseisev üksus, mis tsirkuleerib puhastusvahendit. Pesu teostamiseks on vaja pesuaine kuumutada, et intensiivistada protsessi. Selleks kasutatakse tavaliselt soojusvahetit, kus sekundaarpoolel on pesuaine ja primaarpoolel on katlamajast saadav kuum vesi või aur. CIP kütmine ja pesu protsess peavad toimuma automaatselt, selleks on tavaliselt süsteemi lisatud automaatselt reguleeritavad ajamitega ventiilid. Lisaks seadmetele teostatakse igapäevast kõrgsurve ja/või kõrge temperatuurilist pesu kõikidele tööpindadele, seadmete väliskorpustele, põrandatele ja seintele. [7]

## 4.2 Jahutusenergia

Toiduainete tööstuses on alati vaja lisaks soojusenergiale ka jahutusenergiat nii tootmisprotsessides kui ka toodete säilitamisel ja ladustamisel. Olenevalt tootest, võib vajaminev jahutusenergia olla erinevate temperatuuride juures – sügavkülmutatud tooted vajavad ekstreemseid külma temperatuure (tavaliselt  $-20^{\circ}\text{C}$  juures), tavatooted aga paarikraadist sooja temperatuuri. Olenevalt toodetavast toiduainest, tuleb lisaks säilitusruumidele reguleerida ka kõikide tootmisruumide õhutemperatuure. Näiteks piimatööstuses kasutatava tooraine kvaliteet on otseselt sõltuv ümbritseva õhuruumi temperatuurist, seega tuleb kõikides tootmisruumides



hoida rangelt lubatud temperatuuri. Kuna tootmisprotsesside käigus eraldub palju soojust, siis peab külmatootmine kompenseerima lisaks välisõhusoojusele ka tootmisest tekkivad jääksoojust.

Jahutusenergia tootmiseks kasutatakse kompressoreid, mida ühendatakse süsteemi tavaliselt paralleelselt mitu tükki. Kui soojusenergia vajadus on tootmises pigem tsükliline ja sõltub suuresti tootmistehnoloogiast, siis jahutusenergia tarbimine on üldjuhul väga stabiilne seda nii ühe tööpäeva kui ka kuu lõikes. Muutusi on märgata ainult suve ja talve perioodil, kus välisõhutemperatuur mõjutab vajamineva elektrilise võimsuse kogust. Kuna jahutusenergia tootmine toimub puhtalt elektrienergia arvelt, siis on see ettevõttele üks suurimaid kuluallikaid ning mida madalamat temperatuuri on vaja, seda madalama efektiivsusteguriga on kompressor. Maailma mastaabis kulub 17 % kogu elektrivõimsusest jahutusenergia tootmiseks ja see tekitab 10 % kogu CO<sub>2</sub> heitmete osakaalust. [8]

## 5. LNG KASUTAMISE VÕIMALUSED TOIDUAINETÖÖSTUSES

LNG on tuntud transpordisektoris nii auto kui ka laeva kütusena ning samuti statsionaarsete põletusseadmete kütusena soojuse tootmiseks. Lisaks kütuse omadustele saab LNG puhul ära kasutada ka selle ladustamisel esinevaid ekstreemseid temperatuure, näiteks 8 bar juures on LNG temperatuuriks  $-128^{\circ}\text{C}$ . Selleks, et maagaasi veeldatud olekust gaasiliseks muuta kasutatakse aurusteid, mis paiskavad LNG-st tuleneva jahutusenergia välisõhku. Toiduainetööstuses on alati vaja jahutusenergiat nii tootmisprotsessides kui ka hiljem toodete säilitamisel. Tavaliselt toodetakse vajaminev jahutusenergia pelgalt elektrienergia arvelt. Kasutades aga kütusena LNG-d, oleks teoreetiliselt võimalik ära kasutada ka aurustumisest saadavat jahutusenergia kogust ja suunata see hoone külmasüsteemi. Alljärgnevates alapeatükkides vaadeldakse LNG erinevate rakendusvõimaluste teoreetilise aluseid. [9]

### 5.1 Katla kütus

Olgugi, et maagaasi puhul on tegemist fossiilse kütusega, on see endiselt üks populaarsemaid katlamajade kütuseid oma kõrge kütteväärtuse ja väiksema keskkonnamõju tõttu just väikestes ja keskmise suurusega põletusseadmetes. Maagaasi tarbimine on viimase kümne aasta jooksul märgatavalt langenud, mida on põhjustanud suuresti energiasäästumeetmete rakendamine kaugküttepiirkondades ning üleminek kohalikele kütustele, nagu puit ja turvas. Toiduainetööstustes ei saa aga gaaskütuseid tahkete kütustega asendada, sest tootmisprotsess nõuab kiiret võimsuse reguleerimist. Suuremates linnades ja asulates on maagaasi võrk suuresti välja arenenud. Joonis 5.1 on toodud Eesti kaart koos peamiste gaastrassi magistraalidega. Nagu näha Joonis 5.1, siis paljudes hõredama asustusega ja raskesti ligipääsetavates piirkondades puudub ühendus gaasivõrguga, näiteks saartel ja Kesk- ning Lääne-Eestis. Toiduainetööstusega tegelevad ettevõtted paiknevad soodsama asukoha tõttu enamasti linnadest väljas või linnapiiri äärealadel, mis tähendab, et paljudel puudub ühendus gaasivõrguga. Sellistel puhkudel kasutatakse suures osas kütteõli kütuseid, milleks on sageli põlevkiviõli. [10]



Joonis 5.1 Eesti gaasivõrkude peamised magistraalid [11]

Maagaasi võrgu puudumisel on toiduainetööstusele väga heaks alternatiiviks LNG. Olemasoleva katelseadme kütust saab väga lihtsasti asendada õli- ja gaaskütuse vahel. Vahetades kütust kütteõlilt gaasile (või vastupidi) tuleb üldjuhul rekonstrueerida või välja vahetada vaid põleti. Võimalus on kasutada ka kahekütuselist põletit, mis suudab katelt varustada nii gaasi kui ka õlikütusega. Seega on võimalik kasutada kahte erinevat kütust, mis tõstab energetilist varustuskindlust. Katla kolde osas muudatusi tegema üldjuhul ei pea, aga õlikütuse kasutamisel peab arvestama ka võimalike suitsugaaside puhastusseadmega. Kütteõli asendamine tahke kütusega, näiteks biokütusega, on juba veidi keerulisem, sest lisaks põleti välja vahetamisele tuleb ümber ehitada ka katla kolde osa, varustada katlamaja kütuse lao ja transportööridega ning suitsugaaside puhastusseadmetega.

Statsionaarse põletusseadme kütusena konkureerib LNG eelkõige kütteõli, LPG ja tavalise maagaasiga. Tabel 5.1 on lisatud põlevkiviõli ja selle asendamiseks sobilikud alternatiivsed kütused koos kütteväärtuste ja kütuse hindadega. Tabelist on näha, et kütuse energia maksumuse poolest on põlevkiviõli ja erinevad gaaskütused üsna sarnases suurusjärgus. Võrgu olemasolul oleks kõige mõistlikum kasutada maagaasi, sest selle hind on kõige soodsam ja samas ei lisandu muid lisakohustusi kütuse mahutite või seadmete rendi näol. Tabel 5.1 toodud kütuse hinna väärtused

on võetud Filter AS andmebaasist ja need sisaldavad kõiki lisamakse, näiteks aktsiis. Antud kütuse hinnad võivad varieeruda, sest on sõltuvad konkreetse objekti asukohast, tarbimisest ja muudest tingimustest.

Tabel 5.1 Kütuse hinna võrdlustabel erinevatele gaaskütustele ja põlevkiviõlile

Nimetus	Ühik	Põlevkiviõli	LNG	LPG	Maagaas
Kütuse maksumus	€/t	390	410	400	306 [12]
Kütuse kütteväärtus	MJ/kg	38,00 [13]	48,15 [14]	46,11 [15]	47,83 [13]
Kütuse kütteväärtus	MWh/t	10,80	13,38	12,81	13,29
<b>Kütuse energia maksumus</b>	<b>€/MWh</b>	<b>36,11</b>	<b>30,65</b>	<b>31,23</b>	<b>23,00</b>
Kütuse tarne	-	lisakulud õlimahuti ja pumpamis- keskusele	võimalikud lisakulud rendile	võimalikud lisakulud rendile	sõltub gaasivõrgu olemasolust

Lisaks kütuse maksumusele tuleb arvestada ka kokkuhoidu keskkonna seisukoha pealt. Gaas on heitmete kohapealt samuti kõige mõistlikum valik. Õhuheitmete võrdlustabel on toodud Tabel 5.2, kus on võrreldud põlevkiviõli ja maagaasi õhuheitmete eriheitme väärtusi. Tabelis toodud eriheitmete väärtused on võetud Keskkonnaministri määrusest „Põletusseadmetest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramise kord ja määramismeetodid“.

Tabel 5.2 Kütuse eriheitmete võrdlustabel [16] [17]

	Summaarsed tahked osakesed g/GJ	Süsinikoksiidi eriheide g/GJ	Lenduvad orgaanilised ühendid g/GJ	Lämmastik-oksiidide eriheide g/GJ	Väävel-dioksiidi eriheide g/GJ
Põlevkiviõli	100	100	1,1	150	400
Maagaas	0	60	4	60	0

## 5.2 Transpordi kütus

Pariisi kliimaleppe eesmärkide saavutamiseks on Eesti võtnud sihiks aastaks 2050 kasvuhoonegaaside heidet vähendada ligi 80 % võrreldes 1990. aasta tasemega, kusjuures 2030. aastaks planeeritakse vähendada 70 % ja 2040. aastaks 72 %. Kasvuhoonegaaside teke peaks enim vähenema energeetikas, tööstuses ning transpordis – summaarselt peaks kahandama heitmeid tänaselt 21 miljonilt tonnilt ligi 8 miljoni tonni CO<sub>2</sub> ekvivalendini 2050. aastaks [18]. Loetletud kliimalepped annavad alust bensiini- ja diiselkütustele alternatiivide otsimisele. Selleks on kas elektri- või gaasiautod. Gaasitanklaid on Eestis aina enam arendatud ja avatud. Gaasitanklaid on

põhiliselt kahte tüüpi – maagaasil töötavad CNG tanklad ja vedelgaasil töötavad LPG tanklad. CNG tanklat saab rajada otse maagaasi trassist või teha see LNG mahuti juurde. Sellisel juhul on tegemist LCNG tanklaga. Samuti on olemas ka tehnoloogia otse LNG tanklate rajamiseks, et teenindada busse ja veoautosid, kuid neid leidub Euroopas veel vähe.

LNG mahuti paigaldamisel statsionaarse põletusseadme juurde võiks kaaluda ka kohaliku ettevõtte autoparki üleviimist gaaskütusele. Toiduainetööstusega tegelevad ettevõtted kasutavad töösõitude tegemiseks ja transpordi organiseerimisel nii sõiduaautosid kui ka suuremaid veokeid. Tänapäeva autotööstus areneb nii kiiresti, et gaasiseadme lisamise teenust olemasoleva diisli- või bensiinikütusega autole pakuvad turul mitmed töökojad ja investering on kiiresti tasuv. Gaasiseadme tasuvusaja arvutamiseks tehtud tehe on toodud valemis 5.1, kus on arvestatud ka kütuse kulu suurenemist gaasiseadme paigaldamisel olemasolevasse diisel- või bensiinikütusel töötavasse autosse. Eesti suurima gaasiseadmete paigaldaja ettevõtte Gaznet OÜ hinnangul suureneb kütuse kulu 20-30 %. Maagaasi müüakse kilogrammides – üks kilo CNG on võrdne 1,35 liitri bensiiniga ehk kui 1 kg CNG-d maksab 0,811€, siis tegelik ekvivalent hind bensiiniga oleks 0,600€, mis on toodud ka valemis 5.1 tähisega *e*. [19]. CNG gaasiseadme hind koos paigaldusega maksab ligikaudu 2 000€ [20]. Arvestades, et CNG kütuse hind on 0,811 €/kg, ja bensiini hind aprilli 2018. a seisuga on 1,372 €/l, siis tuleb keskmiselt 20 000 kilomeetrise aastase läbisõidu ja 7,2l/100km vedelkütuse kulu juures sõiduauto kütuse vahetusest tulenev tasuvus kätte 19 kuuga [21]. Bensiini, diisli ja CNG kütuste võrdlus on toodud Tabel 5.3.

$$T = \frac{I_{inv}}{(l \cdot a \cdot q \cdot 100) - (l \cdot a \cdot q \cdot e \cdot 100)}, \quad (5.1)$$

kus  $T$  – tasuvusaeg, kuudes,

$I_{inv}$  – esialgne investering, €,

$l$  – aastane läbisõit, km,

$a$  – kütuse hind, €/l või €/kg,

$q$  – kütuse kulu, l/100 km,

$e$  – ekvivalent CNG ja vedelkütuse kütuse kulu arvestamiseks,

Tabel 5.3 Transpordikütuste hinnavõrdlustabel

Kütus	Kütuse kulu (l/100)	Kütuse hind (€/l või €/kg)	Aastane läbisõit (km)	Aastane kulu kütusele (€)	Gaasiseadme investeering(€)	Kokkuhoid aastas (€)	Gaasiseadme tasuvus (aastates)
Diiseli	7,2	1,249	20 000	1798,6	2 000	1 098	1,8
Bensiin	7,2	1,372	20 000	1975,7	2 000	1 275	1,6
CNG	4,3	0,811	20 000	700,9	-	-	-

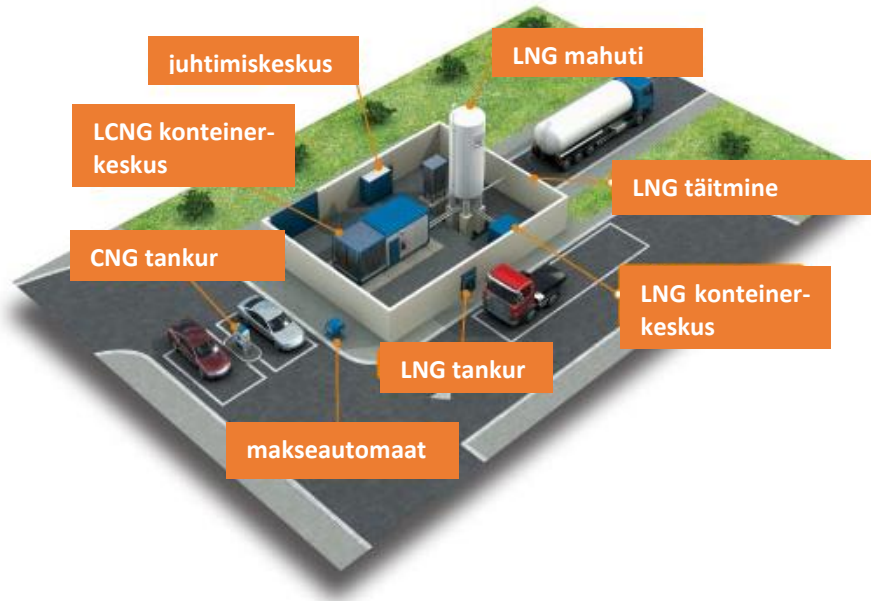
Olemasoleva LNG gaasistamisjaama juurde on võimalik rajada avalik kommerts-tankla nii CNG kui ka LNG autokütustele kui ka paigaldada pelgalt kohalik CNG kütuse tankurseade ainult ettevõtte autode tankimiseks. Avaliku tankla rajamine eeldab potentsiaalsete klientide olemasolu LNG jaama asukoha vahetus läheduses, milleks piisab näiteks kohaliku linnaliini bussipark, transpordi ettevõtte autopark või suur eratarbijate arv. Kahjuks ei ole gaasitankla rajamisel kindlalt rusikareeglit, millise tarbimiskoormuse juures oleks mõistlik uut tanklat rajada, sest igat piirkonda ja juhtumit vaadeldakse eraldiseisvalt. Suuremate linnade puhul mängib rolli õige asukoha leidmine, krundi hind, piirkonnas kehtestatud maksud ja palju muid väikseid nüansse. Väiksemas piirkonnas mängib jällegi suuremat rolli ligipääsetavus, varustuskindlus ja tarbimiskoormuse jätkusuutlikkus. Ühe tavalise surugaasitankla ehitamine maksab Eesti Gaas AS-i andmetel suurusjärgus 400 000 eurot sõltumata, millise ärimudeliga on arvestatud. See hind sisaldab kulutusi kompressorjaama, mahutite, tankuri ja automaatikale.

Teiseks võimaluseks on rakendada statsionaarse põletusseadme juurde niinimetatud kodutankur, mis teenindaks ainult oma ettevõtte autosid. Sellised seadmed ei ole küll tänasel päeval veel väga populaarsed, aga arendustööd selles suunas käivad. Sellist seadet saab kasutada nii LNG mahuti kui ka tavalise maagaasi võrguühenduse korral. Seadme hind on hetkel vahemikus 2000-3300€ [22]. Joonis 5.1 on toodud foto ühest võimalikust kodutankur tüüpi seadmest PHILL P30, mida müüakse USA turul ning mille tootlikkus on 1,43 nm<sup>3</sup>/h ja keskmine elektri tarbimine 0,85 kW/h [22]. Selline tehnoloogia on uus ja Eesti turule selliseid seadmed pole veel jõudnud, mistõttu on hetkel veel ebaselge, kui palju kulub sellise seadme hooldamine ja käitamine. Kütuse hind tuleb küll soodsam kui surugaasitanklas, kuid juurde peab arvestama ka transpordikütusena kasutatava gaasi aktsiisi. Samuti on sellise seadme puhul üheks piiranguks tankimisele kuluv aeg, eriti kui tankur peab teenindama ettevõtte tervet autoparki.



Joonis 5.2 CNG kodutankur PHILL P30

Suuremateks tankimiskogusteks tuleb rajada avalik surugaasi tankla. Alltoodud skeemil Joonis 5.3 on toodud kompaktse LCNG jaama põhimõtteline mudel, kus osa kütusest läheb otse LNG tankurisse, mis teenindab kaubikuid ja veokeid ning teine osa kütusest käib läbi aurusti CNG tankuri tarvis. Sellist süsteemi saaks kombineerida ka statsionaarse põletusseadmega – osa aurustatud gaasist läheb otse tarbija juurde, näiteks katlamajja ning teine aurusti teenindab CNG tanklat. Lisaks on skeemil ära näidatud ka LNG mahuti täitmine. Käesolevas lõputöös uuritava kahe ettevõtte otstarbekus ja tasuvus CNG takla rajamiseks tuuakse välja peatükis 7.2.



Joonis 5.3 LNG ja CNG tankimisjaam ja selle komponendid [23]

## 5.3 Jahutusenergia allikas

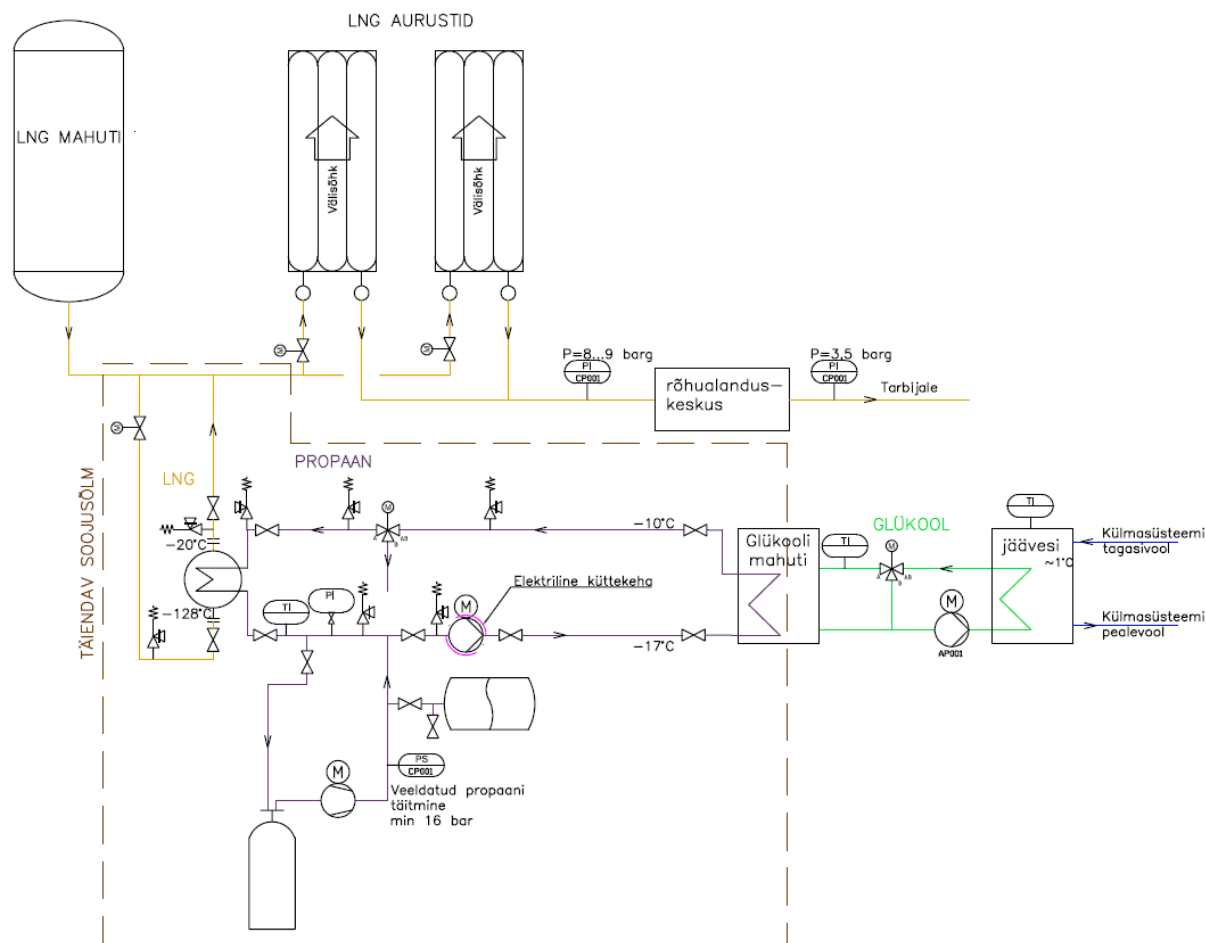
LNG hoitakse suurtes kõrgsurvelistes vertikaalsetes või horisontaalsetes mahutites, kus maagaas on viidud veeldatud olekusse. Olenevalt hoiustamise rõhust, on LNG temperatuur väga madalatel temperatuuridel. Jetgas OÜ poolt tarnitav veeldatud maagaas hoitakse rõhul 8 bar, mis teeb LNG temperatuuriks minimaalselt  $-129^{\circ}\text{C}$ . LNG hoiustamise rõhk ja temperatuur on sõltuvuses kütuse kvaliteedist ja selles sisalduvatest ainetest. Nagu näha kütuse kvaliteedi sertifikaadi lehelt Lisas 1, siis on Venemaalt imporditaval gaasil kõrge  $\text{CO}_2$  sisaldus – 0,2587 % mahust, mis võib hakata mahutis madalamate rõhkudel mineraliseeruma. Katlasse antav gaas peab olema gaasilisel kujul ning vähemalt  $0^{\circ}\text{C}$  temperatuuri juures. Veeldatud maagaasi aurustumiseks ja soojendamiseks kasutatakse spetsiaalseid välisõhu aurusteid, mida on süsteemi ühendatud paralleelselt mitu tükki. Lisaks aurustile kasutatakse veel vajadusel täiendavat elektriküttekeha, kui gaasi temperatuuri aurustitega piisavalt kõrgeks ei saa. LNG aurustumissoojusega eralduv jahutusenergia kogus paisatakse välisõhku, kuigi teoreetiliselt oleks võimalik gaasistamisel tekkiv jahutusenergia kogus hoone külmasüsteemis taaskasutada. Seda saab teha lisades LNG jaama tavaliste aurustite juurde soojusvaheti, mis edastab energia mõnele muule soojuskandjale. [9]

Sander Orasi poolt 2017. aastal kirjutatud magistritöös „LNG gaasistamisel tekkiva jääkjahutusenergia kasutamine“ toodi välja LNG-st saadava jahutusenergia koguste teoreetilised



alused. Gaasistamise protsessist saadava jahutusenergia koguse arvutamisel tuleb arvesse võtta energiahulga arvutamine kahes erinevas etapis – temperatuuride erinevusest tulenev energia kogus ning faasimuutusest tulenev energia kogus. Saadava jahutusenergia hulk on suuresti sõltuv kahest tegurist – gaasi tarbimine ja selle alg- ning lõpptemperatuurid. Mida suurem on gaasi tarbimine ja temperatuuride erinevus, seda rohkem jahutusenergiat on võimalik kätte saada. Samuti mängib elektrienergia kokkuhoiu seisukohalt rolli olemasolevate kompressorite efektiivsustegurid. Sander Orasi töös kirjeldatud Paides asuva Eesti Pagari näite puhul tuli 114 kg/h LNG koguse juures temperatuuril  $-135^{\circ}\text{C}$  saadav jahutusenergia kogus 208 MWh, millest 141,9 MWh on faasimuutusest tulenev ning 66,1 MWh temperatuurierinevusest tulenev jahutusenergia kogus. 120 €/MWh elektri hinna ja 1,27 COP efektiivsusteguri juures tuli aastaseks kokkuhoiuks elektri arvelt 19 651 €. [14]

Potentsiaalse jahutusenergia koguse kättesaamiseks tuleb LNG gaasistamissüsteemiga liita täiendav soojusvaheti, mis ühelt poolt aurustab veeldatud kujul maagaasi ning teiselt poolt edastab saadud jahutusenergia tootmise külmasüsteemi. Sisuliselt moodustub täiendav soojusvahetussõlm, mille primaarpoolel on tootmistehase olemasolev külmasüsteem ja sekundaarpoolel LNG gaasistamise protsess. Soojusvaheti primaarpoolel olev soojuskandja peab olema madala külmumistemperatuuriga, sest soojusvahetisse sisenemisel on LNG ekstreemsete temperatuuride juures ( $-130^{\circ}\text{C}$ ...  $-160^{\circ}\text{C}$ ). Üheks võimaluseks oleks kasutada veeldatud kujul propaani kontuuri (edaspidi LPG) või süsinikdioksiidi kontuuri, mis edastaks külma LNG gaasistamisjaamast tootmise külmasüsteemi, näiteks glükooli kontuurile. Täpne soojusülekanne skeem oleneb olemasoleva hoone külmasüsteemist ja seal kasutatavatest külmutusagenssidest. Üheks võimalikuks skeemiks on LNG-LPG-etüleenglükool-jäävesi soojusülekanne, mida iseloomustab Joonis 5.4 toodud põhimõtteline skeem. Sõlme skeemi valikul tuleb arvestada ka vahemaid erinevate üksuste vahel. Tavaliselt on LNG gaasistamisjaam õues, krundi äärealadel, aga hoone olemasolev külmakeskus võib asuda majas sees, näiteks hõne keskosas ja keldrikorrusel. Käesolevas lõputöös vaadeldava kahe näite-ettevõtte jahutusenergia potentsiaalsed kogused ja sõlme ehitamise tasuvus tuuakse välja lõputöö peatükis 7.3.



Joonis 5.4 Põhimõtteline skeem täiendavast soojusõlmest LNG jahutusenergia ära kasutamiseks

### 5.3.1 Sõlme komponendid

Selleks, et LNG jahutusenergiat kätte saada, edastada, vajadusel säilitada ja olemasoleva külmasisüsteemiga ühendada tuleb koostada olukorrale vastav soojasõlme skeem. Süsteem peab töötama automaatselt ja olema tagatud reguleer-, ohutus-, mõõte-, täitmise- ja tühendamisseadmetega. Seadmete valikul tuleb arvestada rõhuklasse ja valida õiged materjalid. Kuna taoline seade asub üldjuhul välistingimustes, siis peavad kõik sõlme komponendid ja torustik vastu pidama ekstreemsetele välistingimustele – nii külma kui ka soojakraadidele, niiskusele ja otsesele kokkupuutele veega. Seadmete ja torustiku rõhuklassi valikul tuleb arvestada süsteemis lubatavat maksimaalset rõhku. Samuti tuleb valida vastavalt kõige väiksema tööõhuga seadme järgi süsteemi kaitseklapp. Alljärgnevalt loetletakse LNG jahutusenergia taaskasutamise sõlme põhilised komponendid, baseerudes Joonis 5.4 toodud näiteskeemil ja EN 13645:2002, EN 1473:2016 standarditel.

- **Soojusvaheti** – soojusvahetit kasutatakse LNG kütuse ja soojuskandja (LPG) vahelise soojusülekanne teostamiseks. Oma vastupidavuse ja kompaktsuse poolest sobib antud keskkonda keevitatud *plate&shell* tüüpi soojusvaheti, mis koosneb silindrilisest korpusest, mille sisse on keevitatud plaatide komplekt – üks soojuskandjatest liigub silindrilises osas ja teine soojuskandja plaatide vahel. Sellistele parameetritele pakub soojusvahetit Soome tootja Vahterus OY. Samuti sobib oma tugevuse ja lihtsuse tõttu ka Saksa tootja Hering AG toru-torus tüüpi soojusvaheti, mis puhul on silindrilise korpuse (toru) sees mitmed sisemised väiksemad torud. Selliste soojusvahetite eeliseks on konstruktsiooni tugevus ja kuluvate osade puudumine. Soojusvaheti tootja Alfa Laval kirjelduste järgi sobib antud süsteemi ka joodetud vasesulamist plaatsoojusvaheti, mille eeliseks on väiksemad gabariidid ja odavam hind, samas on sellise soojusvaheti puhul suurem oht materjali kiirema termilise väsimuse tekkimiseks ebastabiilsete parameetrite puhul. Tihenditega plaatsoojusvaheti aga antud valdkonda näiteks ei sobiks oma limiteeritud temperatuuri ja rõhu taluvuse tõttu.
- **Ajamitega ventiilid** – protsessi automaatseks juhtimiseks kasutatakse iga sõlme kontuuris ajamitega 2-tee või 3-tee ventiile. Näiteks on võimalik 2-tee ventiiliga juhtida, kas LNG käib läbi jahutusenergia taaskasutussõlme või läheb otse aurustisse. Samuti on võimalik reguleerida soojusvaheti primaarpoolel propaani kontuuri – vastavalt kui palju jahutusenergiat parasjagu juurde on vaja, nii palju lastakse 3-tee ventiili portide avamise ja sulgemise teel propaani läbi soojusvaheti või tsirkuleeritakse seda tarbija juures. Lisaks reguleeriventiilidele kasutatakse süsteemis ka mehaanilisi sulgventiile seadmete eraldamiseks. Ventiilide arv süsteemis peab olema lekete vältimiseks minimaalne ent need peavad tagama tähtsamate seadmete (näiteks mahutite) ja LNG eraldatavuse süsteemist. Kõik ühendused on soovituslik teha keevisühendusega, äärikühendusi teostada minimaalselt (ainult hoolduse ja inspekteerimise tarvis). Ventiilid peavad olema valmistatud krüogeenset materjalidest vastavalt standardile EN 12567 ja need peavad olema võimelised töötama ka jäätunud olukorras. *In-line* tüüpi poolitatava kehaga ventiile ei soovitata kasutada. Ventiilide hooldamised peavad olema teostatavad ilma ventiili kere eemaldamiseta torustikust. Tulekindlus peab olema vastavalt EN ISO 10497 standardile. Ventiilid peavad tagama torustiku ja seadmete astmelise rõhu vähenemise ja LNG mahu piiramise võimaluse lekete tekkimise olukorras. Kõrge rõhu ja madalate temperatuuridega keskkonda sobivad näiteks ventiilitootja Herose GmbH või RTK (Regeltechnik Kornwestheim GmbH).

- **Pumbad** – Soojuskandja primaarpoole kontuuridesse on vaja paigaldada tsirkulatsioonipumbad, et tagada vedeliku pidev ringlus ning rõhk kuna soojuskandja torustikud võivad olla mitukümmend meetrid pikad ja seetõttu on vajalik kompenseerida torustikust ja seadmetest tulenevat rõhukadu. LPG pumpamisel kasutatakse üldjuhul magnetsiduriga pumpa ning lisaks tuleb paigaldada pumbale elektriline küttekeha et vältida vedeliku jäätumist olukorras, kus pump seisab. LNG ja LPG keskkonnas kasutatavatel pumpadel peavad olema kõrgkvaliteetsed tihendid ja sukelmootorid. Sellist pumpa pakub näiteks Grundos. LNG vooluhulga juhtimine käib ventiili reguleerimise ja kõrge rõhu ning väikeste torulõikude tõttu ei ole antud juhul LNG poolele pumpa vaja. Glükooli kontuuril, mis tavatingimustes asub siseruumides ja kus ei ole enam niivõrd suuri rõhke, kasutatakse juba tavalisi tsentrifugaalpumpasid.
- **Kaitseklapp** – Kaitseklapid ja ohutusventiilid peavad olema seadmetele võimalikult lähedal. Iga torulõik, kus on teoreetiliselt ülerõhu tekkimise võimalus, peab olema varustatud kaitseklapiga, mis valitakse süsteemis olevate seadmete kõige väiksema töö rõhu järgi. Kõik kaitseklapid peavad olema suunatud ohutusse kohta.
- **Instrumendid** – Kõikidele anduritele tuleb paigaldada kõrgsurvele vastupidav anduritasku, mille läbi välditakse otsesest kokkupuudet LNG või LPG keskkonna ja anduri sondi vahel. Seetõttu ei ole anduri korpusele erinõudeid, juhul kui see pole välitingimustele avatud. Temperatuuriandurid peavad olema PT100 A-tüüpi täpsusklassiga, sest PT100 B-tüüpi täpsusklassi puhul on näiteks  $-100^{\circ}\text{C}$  temperatuuri juures piihälbe väärtus  $\pm 0,80^{\circ}\text{C}$ , aga PT100 A-tüüpi anduril  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$  [24].
- **Täitmissüsteem** – LPG kontuuri täitmiseks saab kasutada propaani mahutit või ballooni ja kompressorit eelrõhu saavutamiseks. Täitmist tuleb teostada aeglaselt ja esialgses soojas torustikus tekkinud propaani aur tuleb tagasi suunata propaani paaki, kus seda uuesti kompressori abil vedelikuks tehakse. Olles kontuuri lõplikult täitnud vedelal kujul propaaniga, võib käivitada süsteemis oleva tsirkulatsioonipumba.
- **Paisupaak** – Süsteemi tuleb paigaldada propaani temperatuuri muutusest tuleneva paisumise kompenseerimiseks kõrgsurvele vastupidav membraaniga paisupaak. Propaani paisumise maht tuleb arvutada vastavalt maksimaalsele võimalikule temperatuuri muutusele süsteemis. Propaani paisumise muutu arvutatakse mahulise temperatuuri paisumisteguri abil – valem mahu suuremise arvutamiseks on toodud valemis 5.1 [25]. Paisupaagi valimisel tuleb arvestada ka paagi enda töömahtu – üldjuhul on paisupaakide töömahtuks 3/4 nende nimimahust, sest membraan ei paisu kogu mahuti mahus, vaid jätab paagi ja membraani vahele õhu kihi.

$$\Delta V = V_0 \cdot \beta \cdot \Delta t, \quad (5.1)$$

Kus  $\Delta V$  – mahu muutus, m<sup>3</sup>

$V_0$  – algmaht, m<sup>3</sup>

$\beta$  – mahuline temperatuuri paisumistegur

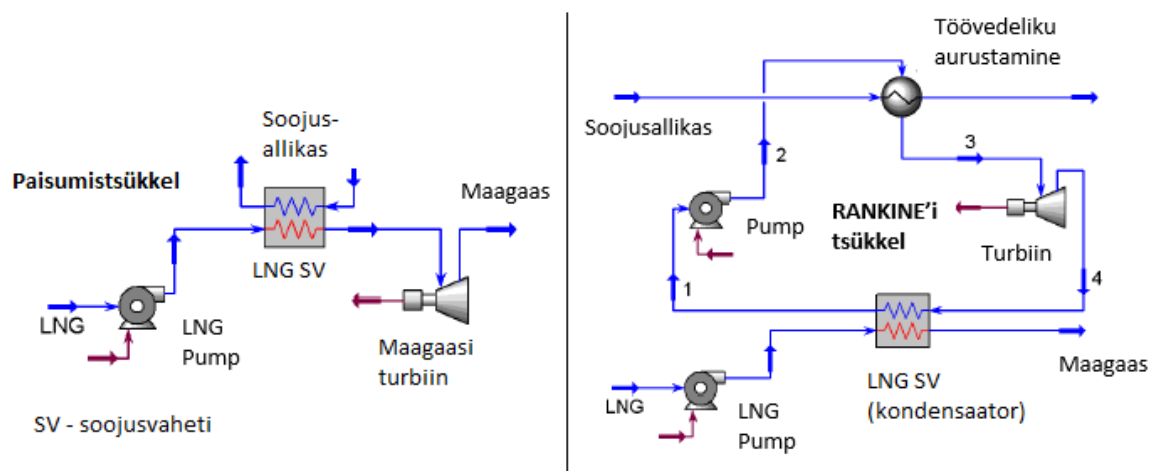
$\Delta t$  – temperatuuri erinevus, °C

- **Kogumismahutid** – olenevalt süsteemist tuleb valida, kas soojusskeem lahendatakse erinevate soojusvahetite rakendamisega või lisatakse süsteemi ka kogumismahuti, et salvestada jahutusenergiat. Mahutisse saab paigaldada küttesiu või täiendava soojusvahetuskontuuri koos pumbaga vedeliku pidevaks ringlemiseks.
- **Torustik** – Torustiku puhul eristatakse materjale LNG kokkupuute järgi – pideva kokkupuute puhul tuleb kasutada krüogeenseid materjale, et vältida väga külmast temperatuurist tekkivat rabedust. Juhuslikku kokkupuute võimalusel tuleb vastavalt standardis toodud ohuhinnangule rakendada etteantud ettevaatusabinõusid – kas kasutada krüogeenset materjali või isoleerida teras vastava kaitsematerjaliga. Miinuskraadide juures oleva keskkonna puhul vältida liikuvaid osi, mis võivad tekitada deformatsioone, kinni kiilumist ja joendusvigu. Vältida atmosfäärile avatud komponentide jäätumist. Kui selle vältimine pole võimalik, peab toetusarvutuste raames arvestama ka tekkinud jää raskusega. Torustikus tuleb tagada inspekteerimiseks ja hooldamiseks eraldatus – kasutada isoleerivaid ventiile (ajutised pimedad). Kasutada paisumisaasasid, liigend-kompensaatoreid (pikisuunaline vibreerimine) ja materjale, mis taluvad süsteemis esinevaid kahanemis-paisumis tsükleid, ent vältida löötsadega kompensaatoreid. Erinevate seadmete ja torustiku ühendamiseks võib LNG süsteemis kasutada ka voolikuid, aga selle pikkus ei tohi ületada 15 m ja maht 0,5 m<sup>3</sup>.
- **Elektrisüsteemid** – kaablikanalid peavad olema täidetud tihendatud liivaga ja kaetud ventileerimisavadega lamedate plaatidega. [26] [27]

### 5.3.2 LNG jahutusenergia taaskasutamise näiteid maailmast

Eestis ei ole seni LNG jahutusenergia taaskasutamise projekte ellu viidud kuna gaasistamisjaamasid on veel üsna vähe ja kütuse populaarsus kogub alles hoogu. Maailma mastaabis on aga antud teemast kirjutatud mitmeid uurimistöid ning arvustusi. Lisaks LNG jahutusenergia taaskasutamisele

olemasoleva hoone külmasüsteemis, on võimalik LNG gaasistamisest tekkivat energiat ära kasutada elektri tootmiseks Rankine'i või Brayton'i tsükli baasil, teostada merevee destillatsiooni, jahutada gaasiturbiini sisselaske õhku elektrijaamas ja palju muud. Joonis 5.5 on toodud skeem kahest lihtsaimast lahendusest, kuidas Rankine'i tsükli abil LNG gaasistamisest elektrit toota. Vasakpoolsel skeemil kasutatakse ära pelgalt gaasi oleku muutust – esmalt suunatakse LNG läbi soojusvaheti, kus välise soojusallika (näiteks merevesi) tõttu algab gaasistamisprotsess. Seejärel lastakse gaas läbi gaasiturbiini, kus paisumise tõttu tekkinud mehaanilist energiat muundatakse elektriks. Parempoolsel skeemil on eraldi suletud kontuuris töövedelik ja selle aurustamine toimub läbi välise soojuskandja. Peale aurustumist liigub kõrgetel parameetritel aur edasi turbiini, kus paisumise tõttu tekitatakse mehaaniline energia mis muundatakse edasi elektrienergiaks. Turbiinist väljudes suunatakse töövedelik edasi kondensaatorisse, kus seda jahutab läbi soojusvaheti LNG. Tänu soojusvahetusele toimub ühelt poolt LNG gaasistamine ja teiselt poolt töövedeliku kondenseerumine, pärast mida saab vedelikku pumba abil taas tsükli algusesse saata [28].



Joonis 5.5 Lihtsustatud skeem paisumistsükli (vasakul) ja Rankine'i tsükli (paremal) kasutamisest LNG gaasistamisel [28]

LNG jääenergia taaskasutamiseks on enim näiteid Jaapanis ja Lõuna-Koreas. Joonis 5.5 kirjeldatud elektrienergia tootmisüksuste puhul on LNG keskmine vooluhulk 40 kg/s, mis on käesolevas lõputöös vaadeldavatest ettevõtetest tuhandetes kordades suuremad [29]. Olemasolevat toiduainetööstusesse ehitatud LNG jahutusenergia taaskasutamise projekti näiteid polnud võimalik leida, küll aga on koostatud uurimistöös Sitsiilias asuva põllumajandus ja toiduainetööstuspargi näitel, milles leiti LNG jahutusenergia sõlme tasuvusajaks 5,87 aastat jahutusenergia hinna 0,03 €/kWh juures [30]. Samuti on arendustöös külmasüsteemid suurte kruisilaevadel, kus kasutatakse LNG kütust ning kus konditsioneerid ning jahutusenergia tootmine hotellide, restoranide ja ühiskondlike ruumide jahutamiseks võtab ligi poole kogu laeva elektritarbimisest [8].

## 6. ETTEVÕTETE ENERGIAVARUSTUS

Toiduainetööstus omab suurt potentsiaali LNG kasutamiseks kaasnevate energeetiliste voogude maksimaalseks rakendamiseks, sest lisaks pidevale soojusenergiale on tootmiseks vaja alati ka jahutusenergiat. Samuti sobib LNG toiduainetööstuse tootmisprotsessidele, mis on reeglina tsüklilised ja nõuavad kiiresti käivitavat ja moduleerivat põletusseadet.

LNG rakendamise võimaluste otstarbekuse analüüsimiseks on uurimisobjektidena kasutatud kahte Eestis tegutsevat toiduainetööstusettevõtet – Saarioinen Eesti OÜ ja Saaremaa Piimatööstus AS. Esimese näite puhul kasutatakse hetkel veel põlevkiviõli, aga käesoleva aasta jooksul on kindel plaan minna üle LNG kütuse peale. Teise näite puhul on LNG juba primaarkütusena kasutusele võetud. Käesolevas peatükis tuuakse välja konkreetsete ettevõtete energeetilised näitajad – soojus- ja külmavarustuse ülevaade ning tootmistsüklite omapära. Samuti kirjeldatakse ettevõtete olemasolevat logistika ja transpordi korraldust, et analüüsida LNG tankla rajamise otstarbekust lõputöö peatükis 7.2.

### 6.1 Saarioinen Eesti OÜ

Saarioinen Eesti OÜ (edaspidi Saarioinen) valmistoidutehas rajati Eestisse 2009. aastal eesmärgiga alustada Mamma nimelise valmistoitade sarja väljaarendamist ja tootmisega. Tehase toodangu mahuks on kuni üheksa miljonit kilogrammi aastas ja töötajaid kokku 190. Tootevalikus on nii soolaseid valmisrooge, näiteks supid, salatid ja külmutatud pitsad kui ka magusaid tooteid – keedised ja marmelaadid. Joonis 6.1 Saarioineni modernne tootmistehas Raplamaal 1 toodud tootmistehas asub Raplamaal, Kalevi külas. [31]



Joonis 6.1 Saarioineni modernne tootmistehas Raplamaal [31]

### 6.1.1 Soojusvarustus

Saarioineni tootevalik on väga lai ja seega on igale tootegrupile ka oma tootmistehnoloogia, mis vajab erinevate parameetritega energiat. Soojusenergiat on vaja toodete keetmiseks, kuumutamiseks, pastöriseerimiseks, küpsetamiseks ja ka seadmete puhastamiseks. Hetkeseisuga on tehases aktiivselt kasutusel 8 keedukatelt, 2 autoklaavi, 2 aurukeedukappi ja 2 küpsetusahju. Lisaks tootmistehnoloogiale vajab soojust ka hoonete ja ladude küte ning soe tarbevesi. Kuna toiduainete tehnoloogia vajab väga kõrgeid temperatuure ja korraka on kasutuses palju võimsust, siis on soojusvarustuse süsteem tagatud aurukatliga. Tabel 6.1 on ära toodud kõik tehases asuvad soojusenergia tootjad ning nende töötamistsükliid.

Tabel 6.1 Saarioineni tootmistehases olevad soojusenergia tootmiseseadmed

Seade	Võimsus
Aurukatel Vapor TTK 80	2,3 MW
Aurukatel Vapor TTK 100	3 MW
Küpsetusahi	250 kW
Küpsetusahi	250 kW

Saarioineni tehast teenindab krundil eraldiseisev katlamaja hoone, kus on kaks aurukatelt – 2,3 MW Vapor TTK 80 ja 3 MW Vapor TTK 100, kogutootlusega 8,1 t/h. Katlamaja on täisautomatiseeritud ja katel kõrge 93,6 % kasuteguriga - katlad on varustatud ökonomaiseritega ja põletid töötavad moduleerivas režiimis, mispuhul saab põletit sujuvalt reguleerida kõige madalama ja kõrgema tööastme vahel. Kütusena kasutab katlamaja hetkel põlevkiviõli mark B. 2009. aastal ehitatud katlamaja projekteeriti tuleviku laienemise perspektiiviga võimsuse poolest suuremaks, kui tegelikult vaja. Pidevalt töötab väiksem 2,3 MW katel ning suurem, 3 MW katel on hetkel reservis.



Seda kasutatakse korraliste hooldustööde ajal. Lisaks ei opereeri töötav katel maksimaalsel režiimil, vaid moduleerib vastavalt tootmisprotsessidele ja hoone soojavajadusele.

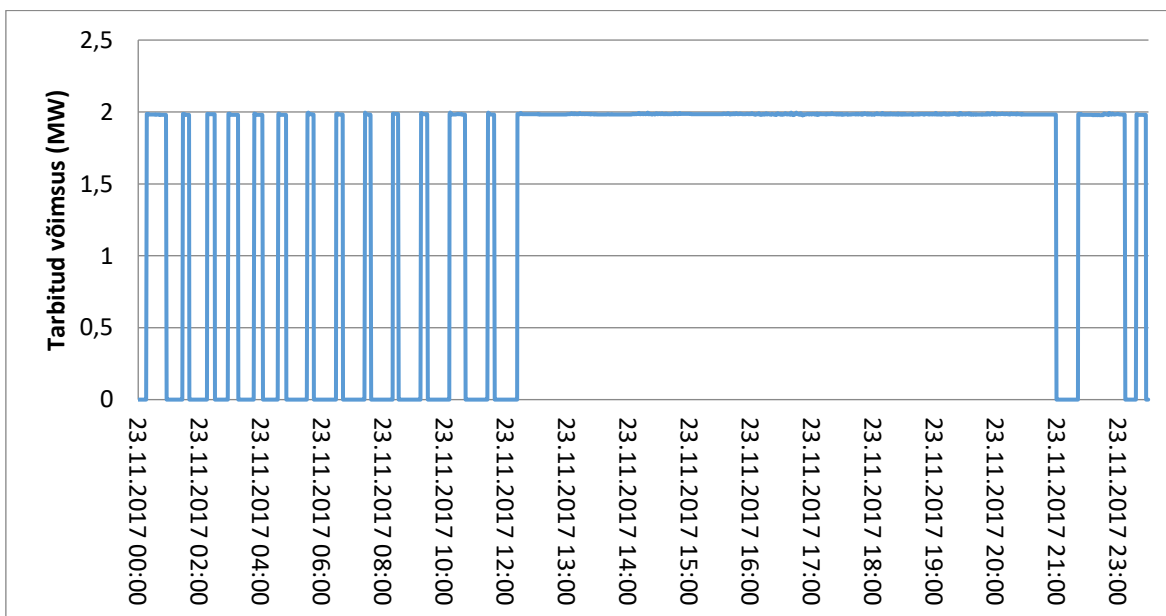
Pidevalt töötav Vapor TTK 80 aurukatel on varustatud Saksa põletitootja Saacke SKVJ25 õlipõletiga, mille võimsus on reguleeritav vahemikus 0,45 kuni 2,44 MW. Tegemist on moduleeriva põletiga misjuhul õli ja õhu kogust reguleeritakse sujuvalt ja automaatselt. Kuna tootmisprotsessis võib esineda lühiajalisi seisakuid ning tootmisperiood on kindlaks määratud pikkusega, siis on olukordi, kus vajaliku soojuse tagamiseks käivitub katel ainult hetkeks ja enamik aega ei tööta. Katla käivitamise hetkel käivitab põleti alati ennast minimaalsest astmest maksimaalseni ning seejärel jääb töötama vajaliku astme juures.

Lõputöös püstitatud eesmärkide täitmiseks oli vaja teada ettevõtte soojusvarustuse reaalsel energiatarbimist ja kütuse kulu. Kuna oli teada, et kahest katlast töötab pidevalt ainult üks, töötades moduleerivas režiimis ja teenindades perioodilist tootmistehnoloogiat, siis võis reaalne kütuse kulu olla märkimisväärselt madalam, kui projekteeritud. Selleks, et analüüsida lõputöö raames antud tööstuse reaalsel kütuse tarbimist paigaldati Joonis 6.2 oleva põleti servomootori potentsiomeetritele kolmeks kuuks kaug I/O moodul Advantech WISE-4012, mis saatis võrguühenduse abil jooksvat infot põleti töörežiimi kohta. I/O moodul edastas reaajas protsessist 4...20 mA signaali, kus 4 mA puhul põleti seisis ning 20 mA puhul töötas maksimaalsel koormusel. Ainult servomootori positsiooniga ei olnud võimalik eristada, kas miinimum asendis põleti seisab või töötab. Selleks tuli lisaks võtta signaal põleti kontrollerilt, mis edastas info kas põleti töötab või seisab. Joonisel 4.2 on toodud foto põletist, mille külge paigaldati lõputöö arvutuste teostamiseks isekirjutaja. Info edastuseks paigaldati kaug I/O mooduli ühendamiseks wifi-ruuter, mille abil tekitati katlamajja internetiühendus ning mis võimaldas edastada andmed Exceli tabelis Dropboxi kausta. Mõõtmised toimusid novembri keskpaigast kuni veebruari keskpaigani.



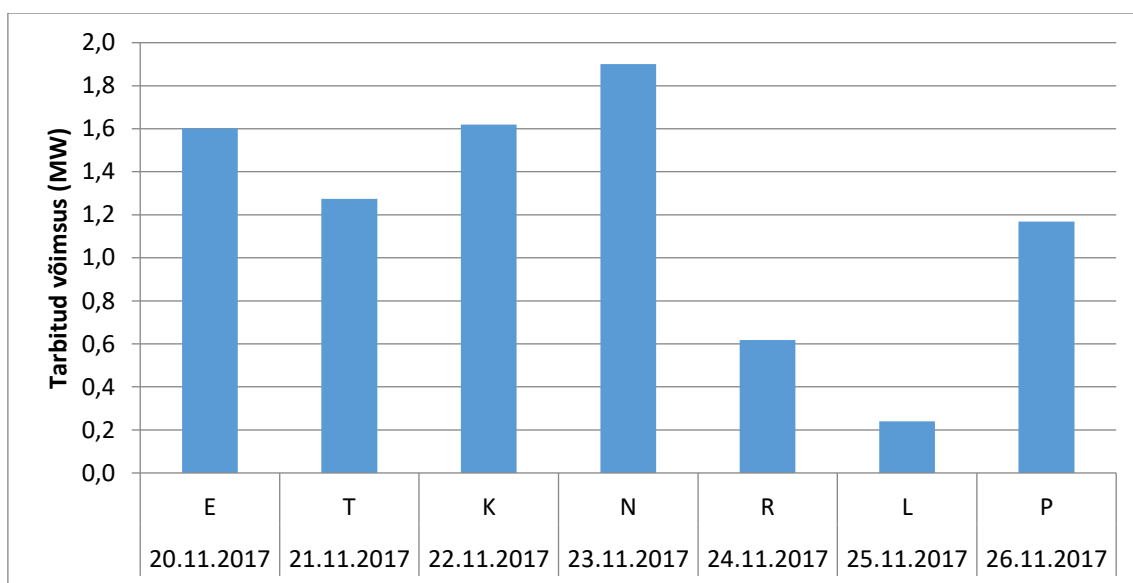
Joonis 6.2 Saarioineni katla õlipõleti Saacke SKVJ25 (allikas: Filter AS erakogu)

Tulemustest selgus, et põleti sisse-välja lülitamist oli päeva jooksul palju – keskmise tööpäeva jooksul lülitus põleti välja 20 korda. Joonisele 6.3 on toodud ühe keskmise tööpäeva koormusgraafik ning Joonis 6.4 ühe täispika kalendrinädala koormusgraafik.



Joonis 6.3 Saarioineni soojusvõimsusgraafik ühe tööpäeva lõikes

Kolme kuu näitude põhjal töötas katel keskmiselt 0,7...1 MW juures ehk alla poole nimivõimsusest. Tarbimine oli üldjuhu suurem tööpäevadel ja väiksem nädalavahetuseti. Seisakuid mõõdistuste teostamise ajal ei toimunud, küll aga jagunes mõningatel nädalatel tarbimine tööpäevade lõikes ebaühtlaselt. Mõõtetulemuste koondtabel on toodud lõputöö lisas Lisa 2, kuhu on lisatud tarbimisvõimsused ja ümberarvutatud gaasi kulu päeva lõikes. Tänu tehtud mõõdistustele oli võimalik analüüsida katlamaja õli tarbimist ning seeläbi arvutada välja ka hilisem LNG tarbimine. Analüüsi käigus leitud andmeid kasutatakse lõputöö peatükis 7.1.1 kütuse vahetusest tuleneva tasuvuse arvutamisel ja peatükis 7.3.1 LNG-st saadava jahutusenergia osakaalu arvutamisel.



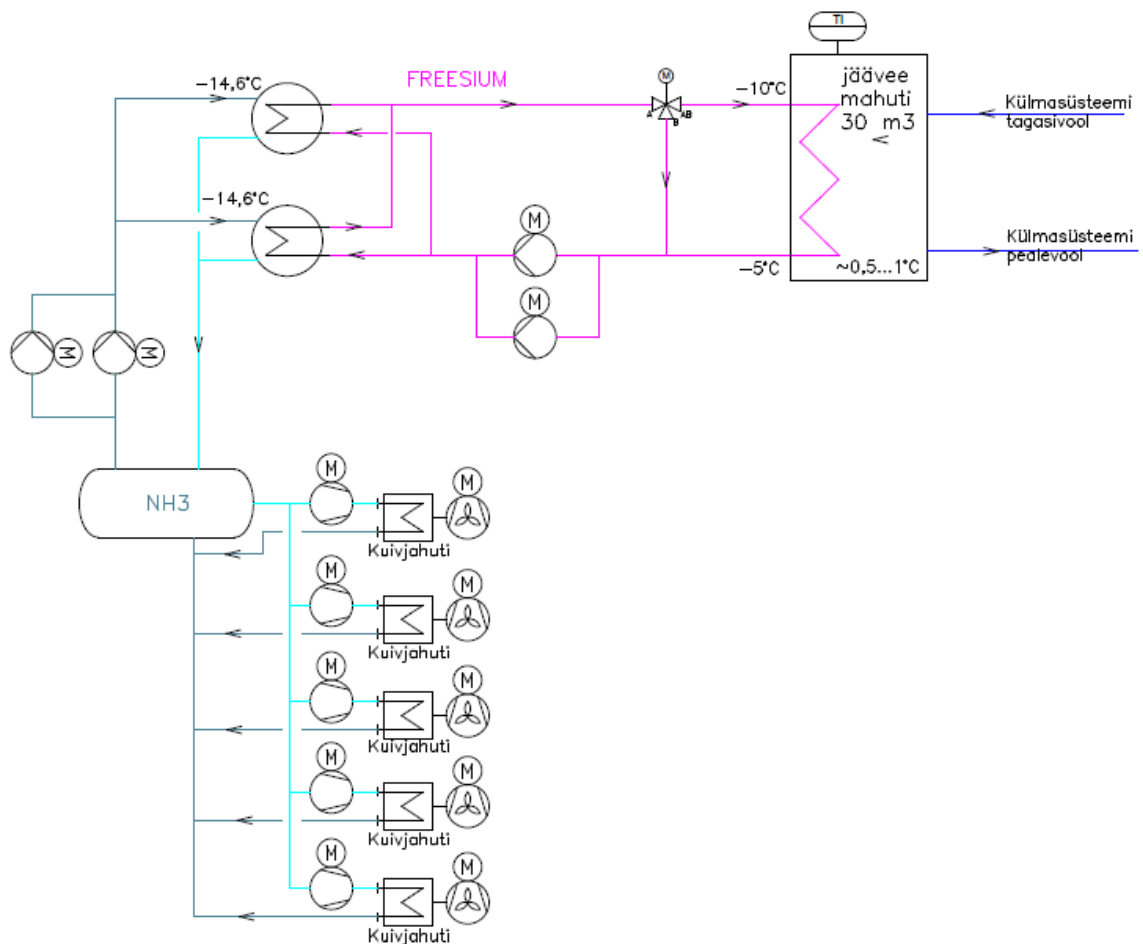
Joonis 6.4 Saarioineni soojusvõimsused ühe tööpäeva lõikes

## 6.1.2 Transpordikorraldus

Käesolevas lõputöös analüüsitakse võimalust liita statsionaarsele põletusseadmele ehk katlamajale juurde ka CNG tankla ja autokütusest vahetusest tulenevat tasuvust, et kasutada ära LNG potentsiaali maksimaalselt. Selleks, et avaliku kommertstankla rajamine end ära tasuks, oleks vaja pidevaid tarbijaid ning konkreetseid autoparki, mis tanklat kasutaks. Saarioinen kasutab toodete ja tooraine transpordiks erinevaid logistika ettevõtteid ning ei oma autoparki transpordi korraldamiseks. Küll aga kasutatakse ettevõtte müügi- ja administratiivosakonnas kuute erinevat diiselkütusel töötavat sõiduautoot kliendivisiitide ja tööga seotud toimingute tegemiseks. Keskmiselt on ühe auto aastane läbisõit 24 000 km.

### 6.1.3 Jahutusenergia

Saarioineni tootmistehas kasutab jahutusenergiat toodete jahutamiseks ja säilitamiseks külmaruumides, mida teenindavad viis kompressorit. Pikemas prognoosis on kaalutud ka täiendava külmaruumi juurde ehitamist, kuid antud lõputöös seda arvesse ei võeta. Maksimaalne elektriline võimsus jahutusenergiale on suveti 300 kW juures ja talvel 150 kW. Jahutusenergia lihtsustatud kujul põhimõtteline skeem on toodud Joonisel 6.5. Kogu tehase külmavajadust hoitakse ühes 30 m<sup>3</sup> mahuga jäävee mahutis, mille temperatuuri hoitakse kompressoritega. Jäävee mahutis on soojusülekande teostamiseks freesiumi siug. Kompressorites kasutatakse külmutusagenssi R717 ehk ammoniaaki (Joonisel 6.5 tähisega NH<sub>3</sub>) mis annab jahutusenergia läbi soojusvahetite freesiumile. Kogu külmasüsteemi juhtimine käib automaatselt.



Joonis 6.5 Saarioineni jahutusenergia põhimõtteline skeem

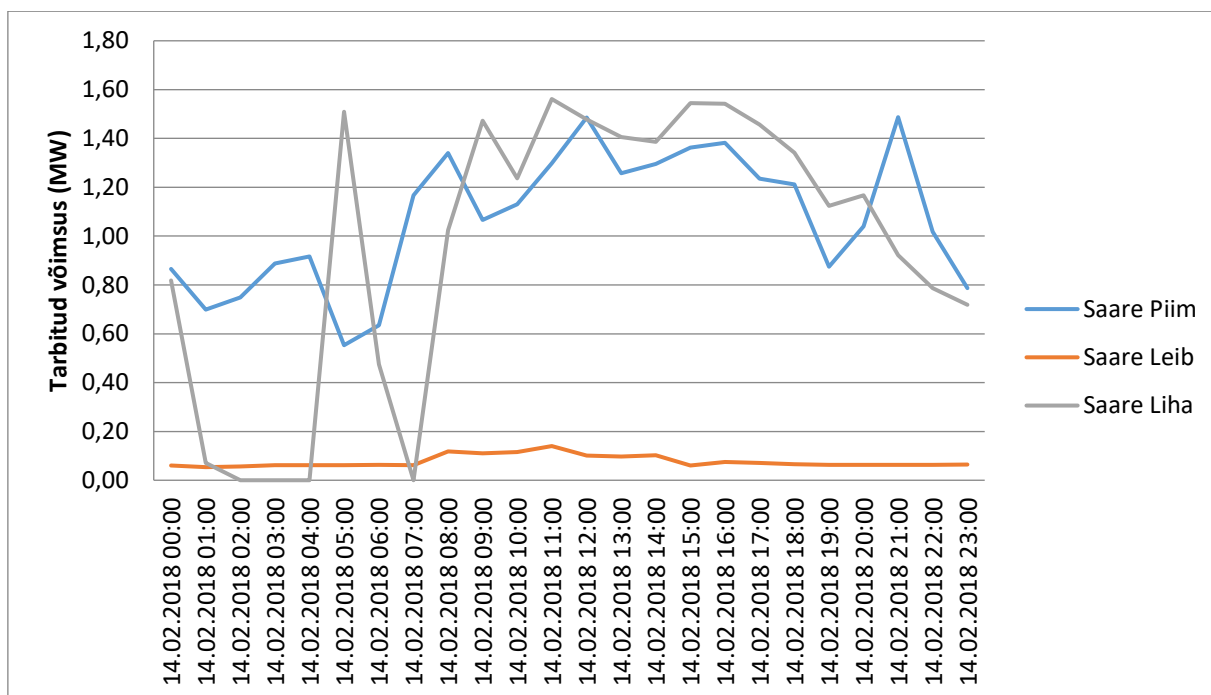
## 6.2 Saaremaa Piimatööstus AS

Saaremaa Piimatööstus AS on piimanduse alal suurte kogemuste ja pikaajaliste traditsioonidega ettevõtte, mille peamiseks tegevuseks on piima kokkuost. Piima väärindavad juustuks ja võiks Eesti ühes kaasaegsemas tööstuses ligi 90 töötajat. Lisaks juustu ja või tootmisele tegeletakse ka vadaku tootmisega. Ettevõttes toodetud piimatootmeid müüakse nii Eestis kui ka eksporditakse välismaale. Saaremaa Piimatööstus AS-i tootmistehas asub Kuressaare linnas, aadressil Pikk 64.

### 6.2.1 Soojusvarustus

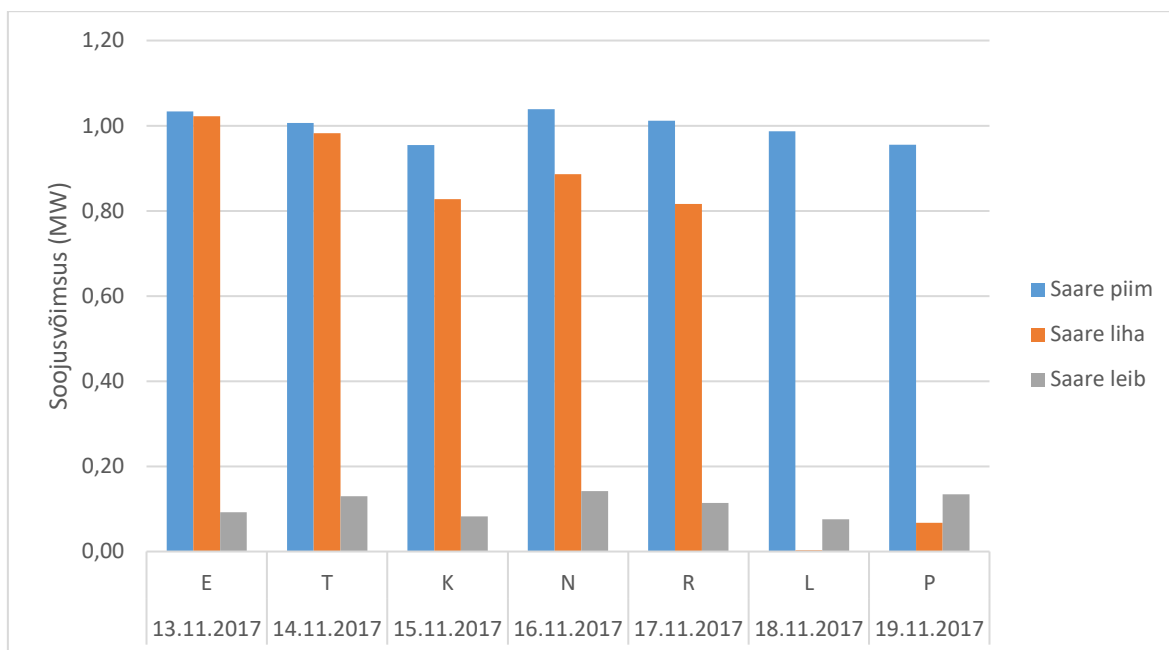
Saaremaa Piimatööstus AS primaarkütuseks on LNG ja reservkütuseks põlevkiviõli. Eelnevalt kasutati ainult põlvkiviõli, kuid aastal 2014 ehitati tootmisterritooriumile juurde koostöös Jetgas OÜ-ga esimene Saaremaal asuv LNG mahuti ja gaasistamisjaam. Lisaks piimatööstusele ühines lähedal asuvatest ettevõtetest LNG gaasitrassiga veel Saaremaa Lihetööstus OÜ ning hiljem ka Saare Leib OÜ, aga valdavalt kõige suurem gaasi tarbija on tänaseni siiski piimatööstus.

Piimatööstust teenindab hetkel kaks Vapori aurukatelt, millest üks töötab pidevalt ning teine on reservis. Pidevalt töös olev 3 MW võimsusega katel ehitati 2012. aastal. Katel on varustatud ökonomaiseri ja kahekütuselise moduleeriva Saacke põletiga. Tootmine toimub ööpäevaringselt iga päev seega peab auru varustuskindlus olema kõrge. Auru läheb tootmises vaja väga paljudes protsessides näiteks piima ja koore soojendamine, juustukatelde kütmine, CIP-pesude teostamine, pastöriseerimine ja ruumide ning tarbevee kütmine.



Joonis 6.6 AS Saaremaa LNG tarbijate soojusvõimsusgraafikud ühe tööpäeva lõikes

Selleks, et hinnata käesoleva lõputöö raames LNG jahutusenergia potentsiaali Saaremaa Piimatööstuses, oli vaja teada täpset gaasi tarbimist. Sarnaselt eelmisele ettevõttele on ka Saaremaa piimatööstuses kasutuses moduleeriv põleti ja tarbimine on otseselt sõltuv tootmisprotsesside ajastusest. Seega ei saa projekteeritud vajaminevat nimivõimsust arvutuste tegemisel arvesse võtta, sest tegelikkuses töötab põleti ööpäeva lõikes erinevatel astmetel. LNG varustajal Jetgas OÜ-l on iga tarbija juurde paigaldatud gaasi kulumõõtja ja seetõttu olid gaasi tarbimise täpsed andmed hästi kättesaadavad. Joonis 6.6 on toodud Saaremaa LNG jaama tarbijate võimsused ühe keskmise tööpäeva lõikes ning Joonis 6.7 nädala lõikes. Kõigist kolmest LNG tarbijast on Saaremaa Piimatööstus kõige ühtlasema ning suurima tarbimisega. Tootmine toimub aasta läbi ja igapäevaselt. Teiste tarbijate puhul on märgata koormuse langusi nädalavahetustel ning üleüldisi seisakuid oli samuti rohkem. Saadud võimsused on arvutatud vastavalt kulumõõtjast saadud gaasi kogustele ja kasutatava kütuse kütteväärtusele, mille anded pärinevad lisas Lisa 1 toodud kvaliteedisertifikaadilt. Saaremaa LNG jaama tarbijate gaasitarbimise koondtabel on toodud lõputöö lisas Lisa 3. Antud andmeid kasutatakse käesoleva lõputöö peatükis 7.3.2 LNG-st saadava jahutusenergia osakaalu arvutamisel.



Joonis 6.7 Saaremaa LNG tarbijate soojusvõimsused ühe tööädala lõikes

## 6.2.2 Transpordikorraldus

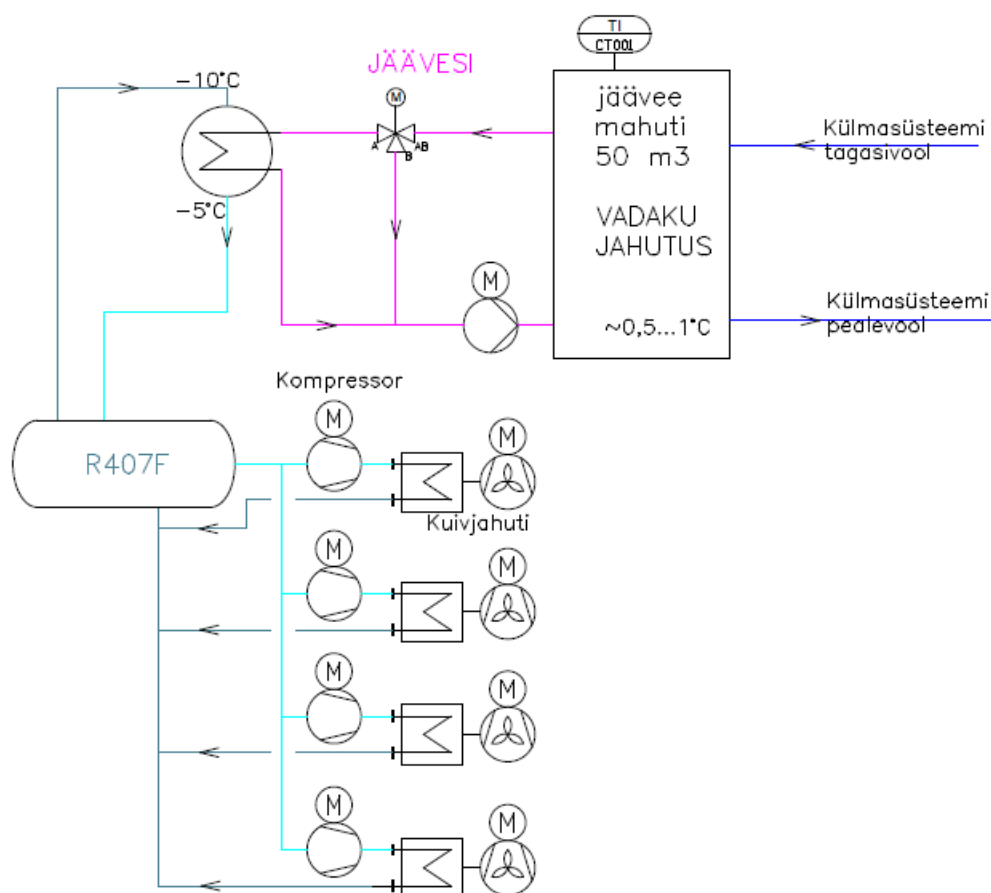
Saaremaa Piimatööstus AS-il on oma autopark, mis koosneb nii sõiduautodest kui ka suurematest veokitest. Autopargis on igapäevase töökorralduse ja transpordi organiseerimise eesmärgil kasutamiseks viis diiselmootoriga piimaautot, üks diiselmootoriga traktor, viis diiselmootoriga sõiduautot ja kaks bensiinimootoriga sõiduautot. Aastaseks läbisõiduks on nii sõiduautel kui ka raskeveokitel keskmiselt 24 000 kilomeetrit.

## 6.2.3 Jahutusenergia

Saaremaa Piimatööstuses on kokku kolm erinevat jäävee mahutit, kus hoitakse kompressoritega vett 0...1 °C juures. Üks 15 m<sup>3</sup> jäävee mahuti teenindab piimatootmise külmavajadust, teine 15 m<sup>3</sup>-se mahuga jäävee mahuti tagab vadaku külmavajaduse ning kolmas 50 m<sup>3</sup> mahuti on samuti vadaku tootmise tarbeks. Kokku on süsteemi paigaldatud 9 kompressorit, millest kaks on kruvikompressorid ja ülejäänud 7 kolbkompressorid. Kõik süsteemis olevad kompressorid ja nende jahutus- ja elektrivõimsused on toodud Tabel 6.2. 50 m<sup>3</sup> jäävee mahuti põhimõtteline skeem vadaku jaoks vajamineva jahutusenergia tootmiseks on toodud Joonis 6.8.

Tabel 6.2 Saaremaa Piimatööstuses kasutatavate kompressorite koondtabel

Piima jääpanga 15 m <sup>3</sup> vee jahutus		
Bitzer 4G20.2.	170	kW
Külmaaine	R404a	
COP	2,93	
Elektriline võimsus	58,02	kW
50 m <sup>3</sup> veemahuti jahutus		
Bitzer 4NES 20Y	176	kW
Külmaaine	R407F	
COP	3,62	
Elektriline võimsus	48,62	kW
Vadaku pastööri 15 m <sup>3</sup> vee jahutus		
Bitzer HSK6164-60	306	kW
Külmaaine	R404a	
COP	3,39	
Elektriline võimsus	90,27	kW
<b>Jahutusvõimsus kokku</b>	<b>652</b>	<b>kW</b>
<b>Elektriline võimsus kokku</b>	<b>196,90</b>	<b>kW</b>



Joonis 6.8 Saaremaa Piimatööstuse vadaku jahutamiseks vajaliku jahutusenergia tootmise põhimõtteline skeem



## 7. LNG RAKENDAMISE VÕIMALUSED ETTEVÕTETES

Praeguses energeetikasektoris kasutatakse LNG-d ainult katlamajades kütusena ja transpordisektoris laevakütusena. Käesolevas töös uuritakse ka teisi rakendusvõimalusi ning LNG kasutamisest tulenevaid lisandväärtusi tööstusettevõttele kahe Eesti toiduainetööstus ettevõtte näitel. Esimese uurimisobjekti puhul kasutatakse lõputöö kirjutamise ajal veel põlevkiviõli, kuid ehitused ja katlamaja ümberseadistamise tööd käivad, et minna üle LNG kütuse peale. Tööde lõppemisaeg on orienteeruvalt käesoleva aasta juunikuu. Teise näite puhul kasutati samuti eelnevalt põlevkiviõli, kuid üleminek toimus juba varem – 2014. aastal. Sellest ajast saadik on kasutatud LNG kütust primaarkütusena ning põlevkiviõli on reservkütus. Käesolevas peatükis arvutatakse tasuvust LNG kütusele ülemineku korral kolmes erinevas etapis – katla kütus, transpordi kütus ja jahutusenergia taaskasutamine.

### 7.1 Tasuvus katla kütuse vahetusest

Kütuse vahetusest tulenev tasuvus on sõltuv peamiselt kütuse hinnast ning selle jaoks vajamineva taristu ja seadmete maksumusest. Samuti tuleb arvestada kütuste heitmetest tulenevat erinevust, mis kajastub aastases heitmetasudes ja katla perioodiliste puhastustööde teostamise sageduses. Tabel 7.1 on toodud kütuse hinnast ja kütteväärtusest tuleneva energeetilise maksumuse võrdlus parema ülevaatlikkuse tõttu mõlema ettevõtte puhul. Olgugi, et ühe tonni kütuse hind on LNG puhul kõrgem, tuleb kütuse energia maksumus põlevkiviõliga võrreldes väiksem.

Tabel 7.1 Kütuse energia maksumuse võrdlus ettevõttele

	Ühik	Põlevkiviõli	LNG		
Kütuse maksumus	€/t	390	410		
Kütuse kütteväärtus	MJ/kg	38,88 [13]	48,15 [14]		
Kütuse kütteväärtus	MWh/t	10,80	13,38		
<b>Kütuse energia maksumus</b>	<b>€/MWh</b>	<b>36,11</b>	<b>30,65</b>		
		<b>Saarioinen</b>		<b>Saaremaa</b>	
Aastane energiavajadus	MJ/a	22 075 200		31 536 000	
Aastane energiavajadus	MWh/a	<b>6 132</b>		<b>8 760</b>	
		<b>Põlevkiviõli</b>	<b>LNG</b>	<b>Põlevkiviõli</b>	<b>LNG</b>
Aastane kütusevajadus	t/a	568	458	811	655
Kütuse aastane maksumus	€/a	221 433	187 972	316 333	268 531

## 7.1.1 Saarioinen Eesti OÜ

Kütuse päritolust sõltub kütuse koostis ja sellest kütteväärtus, mistõttu võivad erinevad kütused eraldada erinevas koguses õhuheitmeid. Lõputöö raames vaadeldav kütuse vahetus toimub mõlema näite puhul põlevkiviõli ja maagaasi vahel, mispuhul aastased heitmetetasud vähenevad märgatavalt. Tabel 7.2 on toodud Saarioinen Eesti OÜ katlamaja õhuheitme koguste ja tasude võrdlus põlevkiviõli, kerge kütteõli ning maagaasi kasutamise korral. Kerget kütteõli on saastetasudes samuti arvestatud, sest tootmises olevad kütsetusahjud kasutasid kütusena diiselkütust, aga kütuse vahetusega lähevad ka kütsetusahjude põletid üle gaasile. Kütuse saastekoguste määramisel on kasutatud Keskkonnaministeeriumi poolt koostatud määruses „Põletusseadmetest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramise kord ja määramismeetodid“ toodud arvutusmeetodeid ja Keskkonnatasude seaduses toodud saastetasumäärasid [32] [33]. KKÕ tähistab tabelis kerget kütteõli, MG maagaasi ja PKÕ põlevkiviõli. Samuti on arvutuste tegemisel kasutatud Keskkonnaameti poolt koostatud arvutusmooduleid [34]. Arvutuste teostamisel on võetud arvesse reaalseid kütuse kulusid vaadeldaval perioodil. Katla puhastusele kuluva ressursi hindamisel on arvesse võetud Filter AS-i hooldusosakonna seniseid kogemusi.

Tabel 7.2 Saarioinen Eesti OÜ aastase heitmetasude võrdlus maagaasi ja põlevkiviõli puhul

	Saastetasu määr (€/t)	KKÕ heitmed (t/a)	MG heitmed (t/a)	PKÕ heitmed (t/a)	Kulu aastas, KKÕ (€)	Kulu aastas, MG (€)	Kulu aastas, PKÕ (€)
Väeveldioksiid (SO <sub>2</sub> )	145,46	0,070	0,00	5,68	10,22	0,14	825,89
Süsinikoksiid (CO)	7,7	0,148	1,87	2,21	1,14	14,42	17,00
Süsinikdioksiid (CO <sub>2</sub> )	2	109,51	1224,83	1706,64	219,02	2449,67	3413,29
Tahked osakesed	146,16	0,148	0,00	2,21	21,63	0,00	322,65
Lämmastikoksiidid	122,32	0,148	1,87	3,31	18,10	229,08	405,04
Raskmetallid ja nende ühendid	1278	0,000	0,00	0,09	0,08	0,00	111,90
Lenduvad orgaanilised ühendid	122,32	0,002	0,12	0,02	0,27	15,27	2,97
<b>Kokku aastased tasud (€)</b>					<b>270,45</b>	<b>2708,57</b>	<b>5098,73</b>
<b>Eeldatav kulu katla pindade perioodilisele puhastusele (€)</b>					<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>800</b>

Tabel 7.3 on toodud koondtulemused tasuvuse arvutamisel põlevkiviõli vahetamisel LNG kütuse vastu ettevõttes Saarioinen Eesti OÜ, kus on arvesse võetud nii kütuse hinnast, seadmete maksumusest, saastetasudest kui ka hoolduskuludest tulenevat säästu. Antud juhul tuleb silmas pida ka seda, et LNG tarnija Jetgas OÜ müüb tarbijale pelgalt kütust ja omab ning hooldab LNG

tanklaid ja gaasistamisjaamu ise. Seetõttu ei rakendu tarbijale lisakulusid LNG mahutite paigaldamisest objektile.

Tabel 7.3 Tasuvus põlevkiviõlilt LNG kütusele üleminekul ettevõttes Saarioinen Eesti OÜ

	Saarioinen Eesti OÜ
Kütus	LNG
Investeering	65 301€
Eeldatav kokkuvõtte kütuse hinnast	33 462€
Eeldatav kokkuvõtte säästetasudelt	2 661€
Eeldatav kokkuvõtte hoolduskulult	800€
Kokkuvõtte aastas	36 922€
Kokkuvõtte kuus	3 077€
<b>Tasuvusaeg (aastates)</b>	<b>1,77</b>

Tabel 7.3 toodud investeeringu maksumuses 65 301€ sisaldub, uue gaasipõleti paigaldamist ja häälestamist, automaatika ja elektritöid, gaasitrassi ehitust, dokumentatsiooni, jooniseid, gaasiprojekti, projektijuhtimist ning Inspecta kooskõlastusi. Samuti paigaldati tööde käigus tootmises olevatele pagariahjudetele maagaasipõletid, mis eelnevalt töötasid kerge kütteõli peal. Saarioineni aurukatla paigaldati moduleeriv Oilon WD 32-34 GP-250 M WD 33, 370 - 2500 kW gaasipõleti koos hapnikuanduri ja sagedusmuunduriga ventilaatorile. Olemasoleval Saacke õlipõletil oli töötamisvahemik 1:5, mis tähendab, et 2,5 MW võimsuse korral saab põleti minimaalselt töötada 0,45 MW juures. Oiloni gaasipõletiga on võimalik saavutada töötamisvahemikuks 1:7 (0,37 MW), mis võimaldab töötada madalamal koormusel ja vältida põleti sagedasi sisse ja välja lülitamisi. Sellest tulenevalt on võimalik säästa süütamisel tekkivast soojuskaost kolde läbipuhumisel. Hapniku järgi juhtimisega toimub pidev peenhäälestus põlemisõhu ja kütuse vahekorra optimaalseks reguleerimiseks et anda põlemisprotsessi võimalikult vähe liigõhku. Täpne juhtimine kompenseerib õhu ja gaasi tiheduse ning teiste omaduste muutumise ajas. Need muutused on tingitud välistest teguritest nagu õhurõhk ja niiskus ning välistemperatuur. Selle tulemusena annab põleti koldesse minimaalse vajaliku õhu koguse vältides liigõhuteguri suurenemist ning annab ka õige koguse gaasi antud võimsusel, et tagada kütuse täielik põlemine ja vingugaasi koguse hoidmise etteantud piirides. Sagedusmuunduriga põleti ventilaatori juhtimine vastavalt koormusele võimaldab säästa elektrienergia arvelt. Samuti väheneb müratase. Katlamaja häälestus ja seadmete valik teostati selliselt, et vajadusel oleks võimalus ümber lülitada ka LPG kütuse peale. Käesoleva lõputöö kirjutamise ajal käib Saarioineni katlamajas kütuse vahetuseks teostatavad ümberehitustööd, projekti oodatav lõpp on juunikuu alguses. Põleti esmane käivitus gaaskütusel toimus juba maikuu keskel.

## 7.1.2 Saaremaa Piimatööstus AS

Saaremaa Piimatööstuse puhul on sarnaselt eelmisele näitele märgata kokkuhoidu heitmetasude ja hoolduskulude pealt nagu näha Tabel 7.4. Tabelis toodud väärtuste arvutusmetoodika on sama, mis eelmises alapeatükis Saarioineni puhul. Tabelis olev PKÕ lühend tähistab põlevkiviõli.

Tabel 7.4 Saaremaa Piimatööstus AS aastase heitmetasude võrdlus maagaasi ja põlevkivi(PK)õli puhul

	Saastetasu määr (€/t)	Maagaas (t/a)	PKÕ (t/a)	Kulu aastas, maagaas (€)	Kulu aastas, PK õli (€)
Vääveldioksiid (SO <sub>2</sub> )	145,46	0	8,051	0,000	1171,167
Süsinikoksiid (CO)	7,7	2,531	3,130	19,487	24,104
Süsinikdioksiid (CO <sub>2</sub> )	2	1655,180	2420,134	3310,361	4840,268
Tahked osakesed	146,16	0,000	3,130	0,000	457,541
Lämmastikoksiidid	122,32	2,531	4,696	309,563	574,368
Raskmetallid ja nende ühendid	1278	0,000	0,012	0,000	15,869
Lenduvad orgaanilised ühendid	122,32	0,169	0,034	20,638	4,212
<b>Kokku aastased tasud (€)</b>				3660,05	7087,53
<b>Eeldatav kulu katla pindade perioodilisele puhastusele (€)</b>				0,00	800,00

Tabel 7.5 toodud investeeringu maksumuses 12 362 sisaldub olemasoleva gaasipõleti rekonstrueerimine ja häälestamine, automaatika ja elektritööd, gaasitrassi ehitamine, dokumentatsioon, joonised, projektijuhtimine ning Inspecta kooskõlastused. Saaremaa piimatööstuse puhul ei paigaldatud uut põletit vaid ehitati ümber olemasolev põleti kahele kütusele. Selleks tuli muudatusi teha põleti kontrollieris ja automaatikas. Olemasoleva põleti rekonstrueerimise eelis on odavam investeering võrreldes uue põleti ostmisega. Samuti lisab see varustuskindlust, sest kahekütuselise põletiga on võimalus vajadusel koheselt priimarkütuselt ümber lülituda taas reservkütuse peale ilma reservkatla rakendamiseta. Põleti rekonstrueerimise puuduseks on see, et kõik põletitootjad seda ei võimalda ning soov tulevikus kütust vahetada peab olema teada juba põleti tellimisel.

Tabel 7.5 Tasuvus põlevkiviõlilt LNG kütusele ülemine misel ettevõttes Saaremaa Piimatööstus AS

	Saaremaa Piimatööstus AS
Kütus	LNG
Investeering	12 362€
Eeldatav kokkuhoid kütuse hinnast	47 802€
Eeldatav kokkuhoid saastetasudelt	3 427€
Eeldatav kokkuhoid hoolduskulult	800€
Kokkuhoid aastas	52 030€
Kokkuhoid kuus	4 336€
<b>Tasuvusaeg (aastates)</b>	0,24

## 7.2 Tasuvus ametiautode üleviimisest CNG kütusele

Olemasoleva LNG jaama juurde on võimalik rajada avalik gaasitankla nii CNG kui ka LNG autokütustele või paigaldada CNG kütuse tankurseade ainult ettevõtte autode teenindamiseks. Alljärgnevalt hinnatakse ettevõtete asukoha sobivust potentsiaalse gaasitankla rajamiseks. Kodutankuri rakendamisest tulenevat tasuvusarvutust käesolevas lõputöös ei arvatata, sest tankurseadme tehnoloogia on niivõrd uus, et selle käitamis- ja hoolduskulud ei ole teada ja seetõttu oleks tasuvusarvutus mitmete eelduste tõttu ebaadekvaatne.

Käesolevas peatükis hinnatakse ettevõtte rahalisi sääste bensiini- ja diiselkütuste asendamisel surugaasi kütusega. Äriline põhjustel on raske hinnata avaliku tankla rajamise otstarbekust lähtudes otsitavast tasuvusest gaasi tarbivatele ettevõtetele, mitte gaasi tarnijatele.

### 7.2.1 Saarioinen Eesti OÜ

Asukoha tõttu pole Saarioineni tehase territoorium soodne paik avaliku gaasitankla rajamiseks kuna asub üsna eraldatud alas, mis ei ole mõne suurema maantee vahetus läheduses. Rapla linnast asub Saarioinen viie kilomeetri kaugusel, aga kuna Rapla on rahvaarvult võrreldes teiste Eesti linnadega pigem väiksem linn, siis ei pruugi tavatarbijate näol tanklale suurt potentsiaali olla. Samuti puudub Rapla linnas suur linnaliini busside taristu, miks võiks olla gaasitankla baaskoormuse suurim tagaja. Lähimad CNG gaasitanklad asuvad Pärnus ja Tallinnas. Alljärgnevas tabelis, Tabel 7.6 arvutatakse kütuse hinnast tulenev tasuvusaeg ettevõtte autopargi üleviimisel CNG kütusele. Arvutuste teostamisel on kasutatud peatükis 5.2 toodud arvutusmeetodeid. Nagu tabelist näha, tuleb kuue auto üleviimisel CNG kütusele tasuvusajaks 1,5 aastat.

Tabel 7.6 Tasuvus Saarioinen Eesti OÜ autopargi üleviimisel gaaskütusele

Kütus	Keskmine kütuse kulu (l/100)	Kütuse hind (€/l või €/kg)	Aastane läbisõit (km)	Autode arv	Aastane kulu kütusele (€)	Gaasiseadme investeering ühe auto kohta(€)	Kokkuhoid aastas (€)	Gaasiseadme tasuvus (aastates)
Diiseli	7,2	1,249	24 000	6	12 950	2 000	7 903	1,5
CNG	4,3	0,811	24 000	6	5 046			

## 7.2.2 Saaremaa Piimatööstus AS

Saaremaa näite puhul on tootmistehase ja LNG gaasistamisjaama asukoht tunduvalt soodsamas kohas võrreldes eelmises alapeatükis toodud näitega. Tootmine asub Kuressaare linnas, kuhu tänaseks veel ühtegi maagaasil töötavat gaasitanklat rajatud ei ole, seevastu vedelgaasitanklaid on Kuressaares juba kolm [35]. Saaremaa Piimatööstusel on lisaks bensiini ja diiselmootoril töötavatele sõiduautodele ka 5 diiselmootoril töötavat veoautot. Diiselmootoril töötavatele on võimalik paigaldada ka raskeveokitele – seadme hind koos paigaldustöödega ühe veoki jaoks on gaasiseadmete paigaldaja Gaznet OÜ hinnangul alates 6 000€ [20]. Ühe tankimisega on võimalik raskeveokil surugaasiga sõita ligikaudu 500 km [19]. Tabel 7.7 on toodud ettevõtte kõikide autode üleviimisest tulenevat tasuvust eraldi kütuse liigi järgi. Arvutuste teostamisel on kasutatud peatükis 5.2 toodud meetodikat.

Tabel 7.7 Tasuvus Saaremaa Piimatööstus AS autopargi üleviimisel gaaskütusele

Kütus	Keskmine kütuse kulu (l/100)	Kütuse hind (€/l või €/kg)	Aastane läbisõit (km)	Autode arv	Aastane kulu kütusele (€)	Gaasiseadme investeering ühe auto kohta(€)	Kokkuhoid aastas (€)	Gaasiseadme tasuvus (aastates)
Diiseli, sõiduauto	7,2	1,249	24 000	5	10 791	2 000	6 586	1,5
CNG, sõiduauto	4,3	0,811	24 000	5	4 205			
Bensiini, sõiduauto	7,2	1,372	24 000	2	4 742	2 000	3 060	1,3
CNG, sõiduauto	4,3	0,811	24 000	2	1 682			
Diiseli, veoauto	29	1,249	24 000	5	43 465	6 000	26 528	1,1
CNG, veoauto	17,4	0,811	24 000	5	16 938			

Tabelis toodud arvutustulemustest selgub, et tasuvusaeg gaaskütusele üleminekul tuleb sellistel parameetritel juba pooleteise aasta jooksul. Nii Saaremaa Piimatööstuse kui ka Saarioinen puhul on arvatud lihttasuvused gaasiseadme kasutamisest, kuid mõlema puhul pole arvestatud, et

tegelikkuses kasutab auto külma mootoriga paralleelselt ka vedelkütust. Raskeveokite puhul lülitatakse gaasiseade sisse, segatakse gaas õhuga ning segu siseneb mootorisse. Mootoris süttib diisel õhu ja gaasiseadega samaaegselt. Valikuliselt piiratakse diisli pöördemomenti ning asendatakse gaasi juurdepihustamisega, mille tulemusena saavutatakse originaalne mootori pöördemoment. Osalise koormusega sõidul (näiteks maanteel), tõuseb gaasi pihustamise tulemusena mootori võimsus [19]. Seetõttu võivad tegelikud tasuvusajad olla arvutuslikest veidi erinevad.

## 7.3 Tasuvus LNG gaasistamisel tekkiva jahutusenergia taaskasutusest

LNG gaasistamisel tekkiva jääenergia taaskasutamise potentsiaal on sõltuv mitmetest parameetritest – LNG temperatuur ja kulu, olemasolevate kompressorite efektiivsustegur, elektri hind ja investeeringu maksumus. Investeeringu maksumuse arvestamisel tuleb silmas pidada, kuidas oleks kõige optimaalsem viis tootmise olemasolev jahutusenergia süsteem ühendada LNG gaasistamisõlmega. Rolli mängivad olemasolevate külmutusagensside omadused ja mõlema sõlme omavaheline vahemaa. Käesolevas peatükis vaadeldakse tasuvust eraldi mõlema ettevõtte puhul, kui palju jahutusenergiat on võimalik LNG gaasistamisel kätte saada, ning millised on ligikaudsed investeeringud soojusülekanne sõlmele. Investeeringute arvutusel on tegemist baasarvutusega, kus enamik seadmete hindadest on tootjapoolsete pakkumuste alusel ning osade tööde hinnad on võetud kolleegide kogemuse või eksperthinnangu alusel. Tasuvusarvutuste tundlikkuse analüüs on toodud lõputöö peatükis 7.3.3.

### 7.3.1 Saarioinen Eesti OÜ

Tabel 7.8 on toodud koondtulemused LNG jahutusenergia teoreetilistest kogustest Saarioineni tarbimise juures. Arvutused on teostatud vastavalt Sander Orasi magistritöös „LNG gaasistamisel tekkiva jääjahutusenergia kasutamine“ toodud valemitele, kus üks osa saadavast jahutusenergia hulgast tuleb aine faasimuutusest ja aurustumissoojusest ning teine osa energiat temperatuurimuutusest.

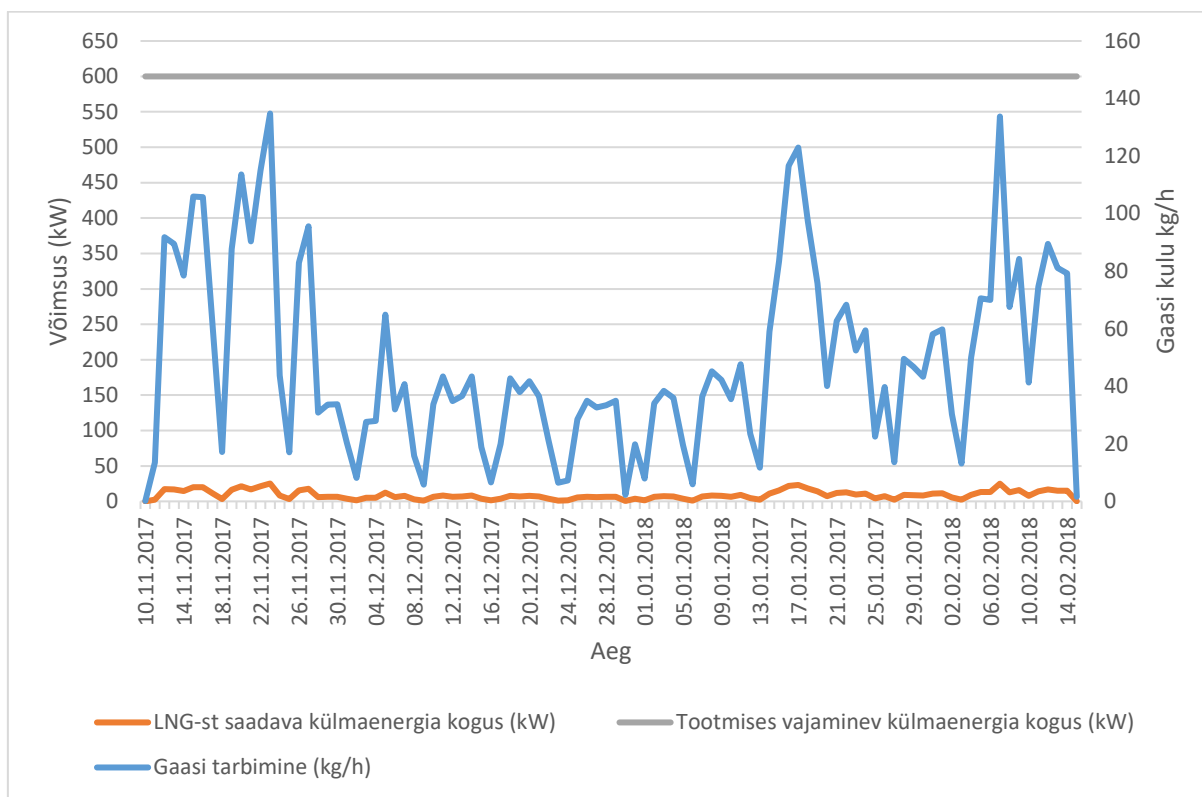
Tabel 7.8 Saarioinen Eesti OÜ LNG jahutusenergia potentsiaalsed kogused

LNG parameetrid	Rõhk	8	bar
	Temperatuur sisse	-130	°C
	Temperatuur välja	-20	°C
	Aurustumissoojus (keemispunktil)	421,47 [36]	kJ/kg
Gaasistatud kütuse parameetrid	Keskmine erisoojus gaasistatud faasis	2,286 [37]	kJ/kgK
	kulu, normaaltingimustel	60	m <sup>3</sup> /h
	kulu, normaaltingimustel	43	kg/h
	tihedus 0°C, 1 atm	0,72	kg/m <sup>3</sup>
Soojushulk temp. muutusest ilma faasiirdeta		2,97	kW
Soojushulk faasiirdest		5,04	kW
Soojushulk kokku		<b>8,01</b>	kW

Jahutusenergia koguste arvutamisel on arvestatud ettevõtte reaalse gaasi tarbimisega, mitte maksimaalse tarbimise järgi. Saarioineni 2,3 MW võimsusega aurukatel töötab lõputöö raames teostatud mõõtetulemuste järgi madalamal koormusel – umbes 0,7-1 MW juures. Selleks, et arvatud jahutusenergia kogused oleksid realistlikud, on gaasi kulu arvestatud 0,7 MW juures ning lisatud on ka pagariahjade kütteks kuluv gaasi hulk. Tabelist selgub, et sellise gaasitarbimise juures on saadav jahutusenergia kogus väike – 8 kW, kusjuures Saarioineni kogu jahutusenergia vajadus on keskmiselt 600 kW juures. Kui arvutada saadav jahutusenergia kogus maksimaalse võimaliku



gaasi tarbimise juures (kui põleti töötaks maksimaalkoormusel aastaringsest), oleks võimalik kätte saada ligi 30 kW jahutusenergiat.



Joonis 7.1 Saarioinen Eesti OÜ LNG potentsiaalse jahutusenergia kogus sõltuvana gaasi tarbimisest

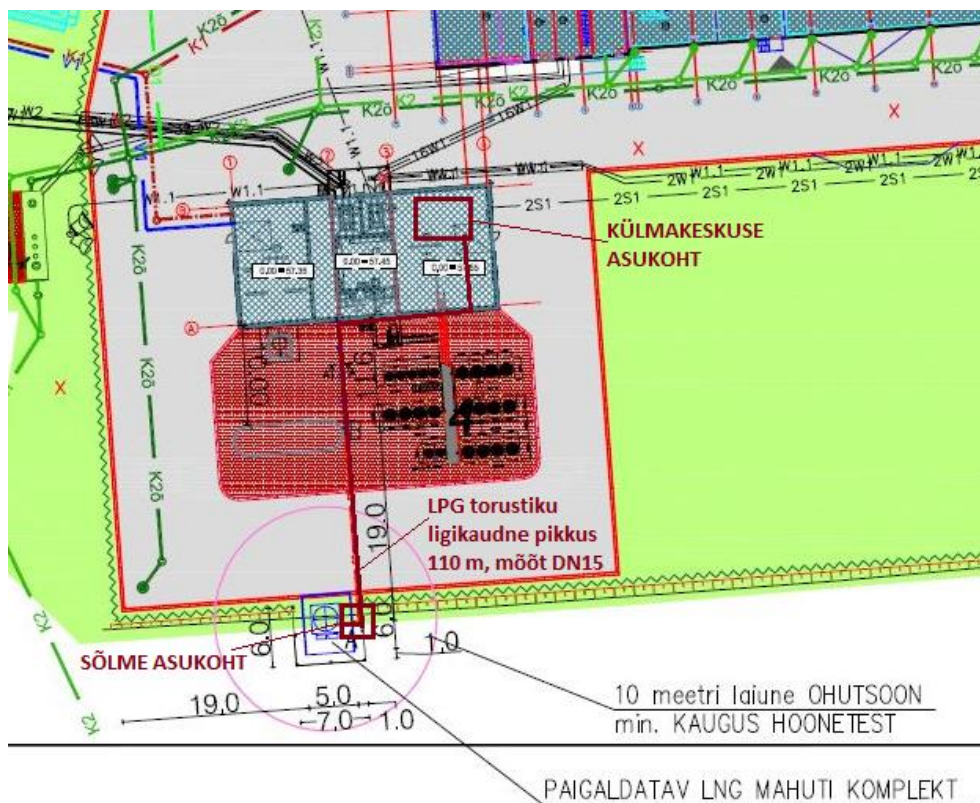
Joonis 7.1 on toodud saadava jahutusenergia kogus sõltuvana gaasi tarbimisest kolme kuu lõikes, kui toimus põleti töötamise monitooring isekirjutajaga. Graafikule on kantud halli joonega ka tegelik jahutusenergia kogus, mida tootmises aastaringsest vaja läheb.

Tabel 7.9 on toodud tasuvusarvutuse algandmed ja tulemused LNG jahutusenergia taaskasutamisele. Kokkuhoitava elektrienergia arvutamiseks oli vaja teada olemasoleva kompressorseadme COP väärtust ja ettevõtte elektri hinda. Elektri energia hind on reaalne hind, mida Saarioinen praegusel hetkel maksab ning see arvestab kõiki lisatasusid – elektri aktsiisi ja võrgutasusid. Investeeringu puhul on arvestatud soojasõlme kõikide komponentide hindu koos seadmete montaaži ja muude projekti teostuskuludega. Sõlme komponendid ja soojasõlme tehnoloogiline lahendus on toodud skeemil Joonis 7.3 ning sõlme asukoht ja torustiku võimalik kulgemine Saarioineni territooriumil Joonis 7.2.

Tabel 7.9 Saarioinen Eesti OÜ tasuvusarvutus LNG jahutusenergia kasutamisele

Kokkuhoitav jahutusenergia kogus	8,01	kW
Olemasoleva kompressori COP	3	
Kokkuhoitav elektrienergia kogus	2,67	kW
Elektri hind	0,0762	€/kwh
Potentsiaalne sääst aastas	1 782	€
Ligikaudne investeering	60 000,00	€
<b>Tasuvusaeg</b>	<b>33,7</b>	<b>a</b>

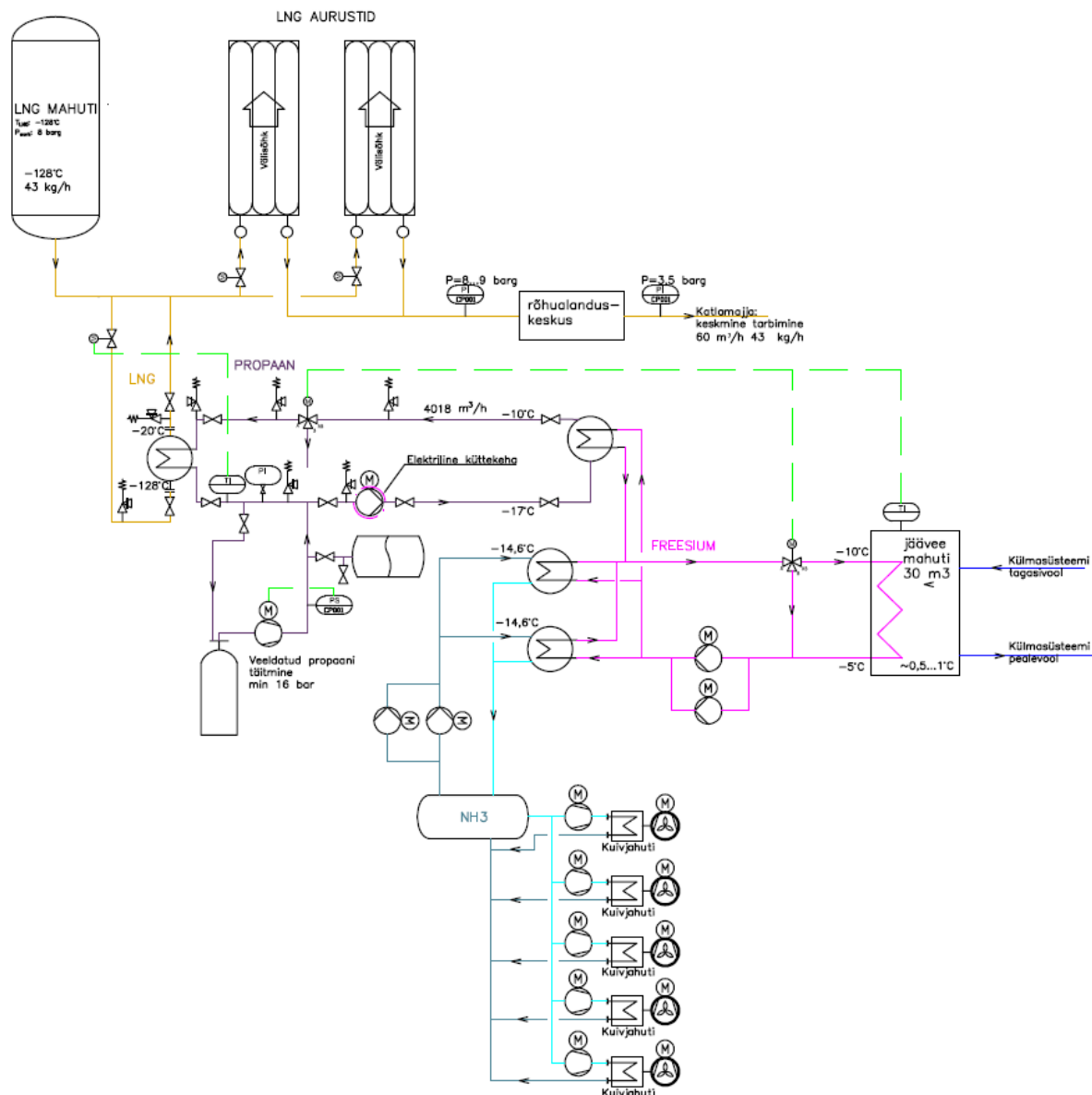
Nagu oli arvata saadava jahutusenergia koguse järgi, siis tuleb tasuvusaeg äärmiselt kõrge – 33,7 aastat. Kui arvutada tasuvusaeg aurukatla maksimaalse tarbimise järgi, siis tuleks see umbes 8 aasta juurde, mis oleks ettevõttele juba palju atraktiivsem. Sellisest võrdlusest tuleb välja, kui oluline on arvutusi teostada reaalsete tarbimisnäitajate juures, mitte nominaal- või maksimaalväärtuste juures.



Joonis 7.2 LNG jahutusenergia sõlme ligikaudne asukoht ja torustiku kulgemine Saarioineni territooriumil

Saarioineni tehases käisid samaaegselt lõputöö kirjutamisega katlamaja ümberehitustööd põlevkiviõililt gaaskütusele ja LNG mahuti ning gaasistamisjaama ehitus. Joonis 7.2 on näidatud LNG

mahuti komplekti asukoht krundil ja tootmise olemasoleva külmakeskuse asukoht. Sama hoone vasakul poolel asub ka katlamaja. Kuna külmakeskus ja LNG gaasistamissõlme ei asu üksteisest kaugel, siis on ka torustiku pikkused väikesed – soojuskandja LPG torustiku pikkus edasi-tagasi tuleb arvestuslikult 110 m ja toru suuruseks DN15. LPG maht torustikus ja soojusvahetis 30 liitrit. Sõlme skeemi koostamisel on arvestatud ka LPG paisumisega, milleks võib olla maksimaalselt kuni 3 liitrit.



Joonis 7.3 Saarioineni LNG külmasõlme põhimõtteline skeem ja liitmine olemasoleva külmasüsteemiga

### 7.3.2 Saaremaa Piimatööstus AS

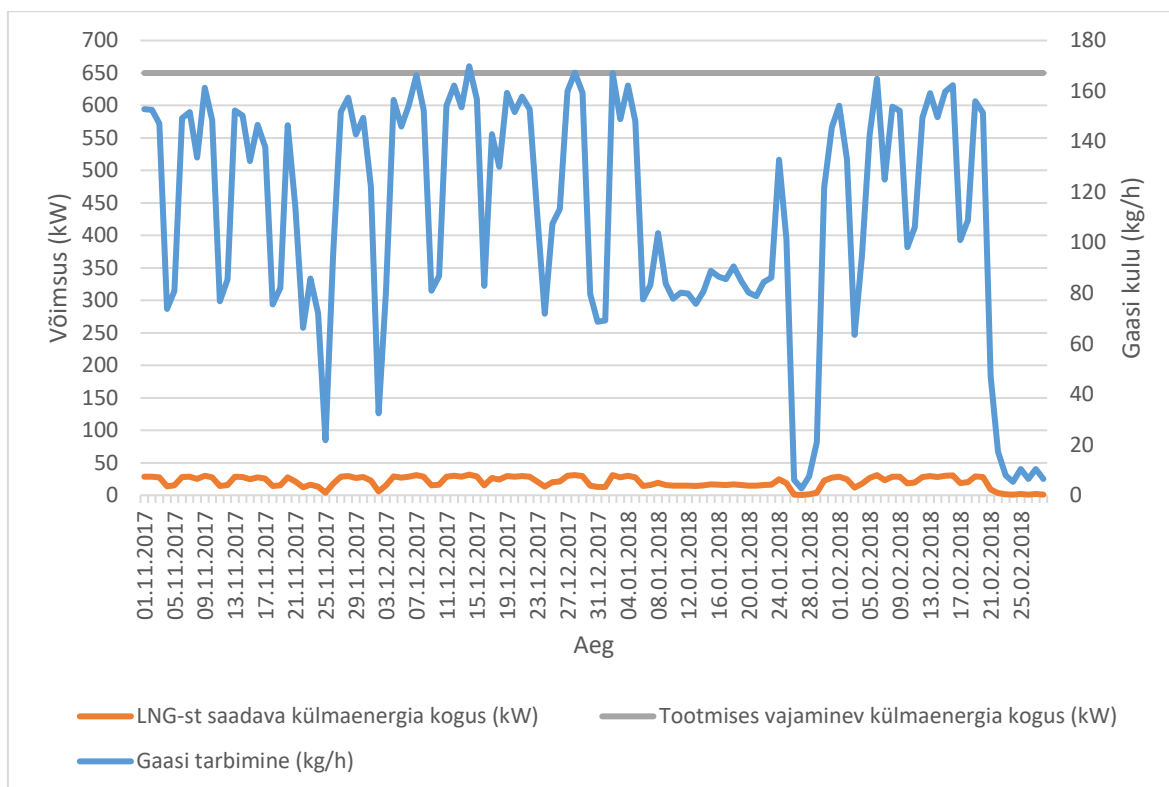
Tabel 7.10 on toodud Saaremaa Piimatööstuse LNG kasutamisest tekkiva potentsiaalse jahutusenergia koguse hulk, mis koosneb nii temperatuuri erinevusest kui ka faasisiirdest

tulenevast soojushulgast. Arvutuste teostamisel on kasutatud Sander Orasi magistritöös toodud arvutusmeetodeid ja Saaremaa LNG gaasistamisjaama keskmise tööpäeva tarbimisinäitajaid [14].

Tabel 7.10 Saaremaa Piimatööstuse LNG jahutusenergia potentsiaalsed kogused

LNG parameetrid	Rõhk	8	bar
	Temperatuur sisse	-130	°C
	Temperatuur välja	-20	°C
	Aurustumissoojus (keemispunktil)	421,47 [36]	kJ/kg
Gaasistatud kütuse parameetrid	Keskmine erisoojus gaasistatud faasis	2,286 [37]	kJ/kgK
	kulu, normaaltingimustel	209	m <sup>3</sup> /h
	kulu, normaaltingimustel	150	kg/h
	tihedus 0°C, 1 atm	0,72	kg/m <sup>3</sup>
Soojushulk temp. muutusest ilma faasisiirdeta		10,45	kW
Soojushulk faasisiirdest		17,51	kW
Soojushulk kokku		<b>27,96</b>	kW

Nagu näha Tabel 7.10, siis 150 kg/h gaasitarbimise juures tekib jahutusenergiat ligi 30 kW, mis on üsna väike hulk arvestades ettevõtte summaarset külmavajadust, milleks on ligikaudu 650 kW. Joonis 7.4 olevale graafikule on illustreerivaks ülevaateks toodud gaasi tarbimise kõver lõputöö analüüsi tarbeks vaadeldud perioodil ja sellest sõltuvalt ka potentsiaalse külmenergia kogus sel perioodil. Halli joonega on tähistatud ettevõtte jahutusenergia vajadus maksimaalses olukorras.



Joonis 7.4 Saaremaa Piimatööstus AS LNG potentsiaalse jahutusenergia kogus sõltuvana gaasi tarbimisest Kokkuhoitava elektrienergia arvutamiseks oli vaja teada olemasoleva kompressorseadme COP väärtust ja ettevõtte elektri hinda. Tabel 7.11 on toodud lihttasuvusarvutuse teostamiseks vajalikud andmed. Elektri energia hind on reaalne hind, mida Saaremaa Piimatööstus praegusel hetkel maksab ning see arvestab kõiki lisatasusid – elektri aktsiisi ja võrgutasusid.

Tabel 7.11 Saaremaa Piimatööstus AS tasuvusarvutus LNG jahutusenergia kasutamisele

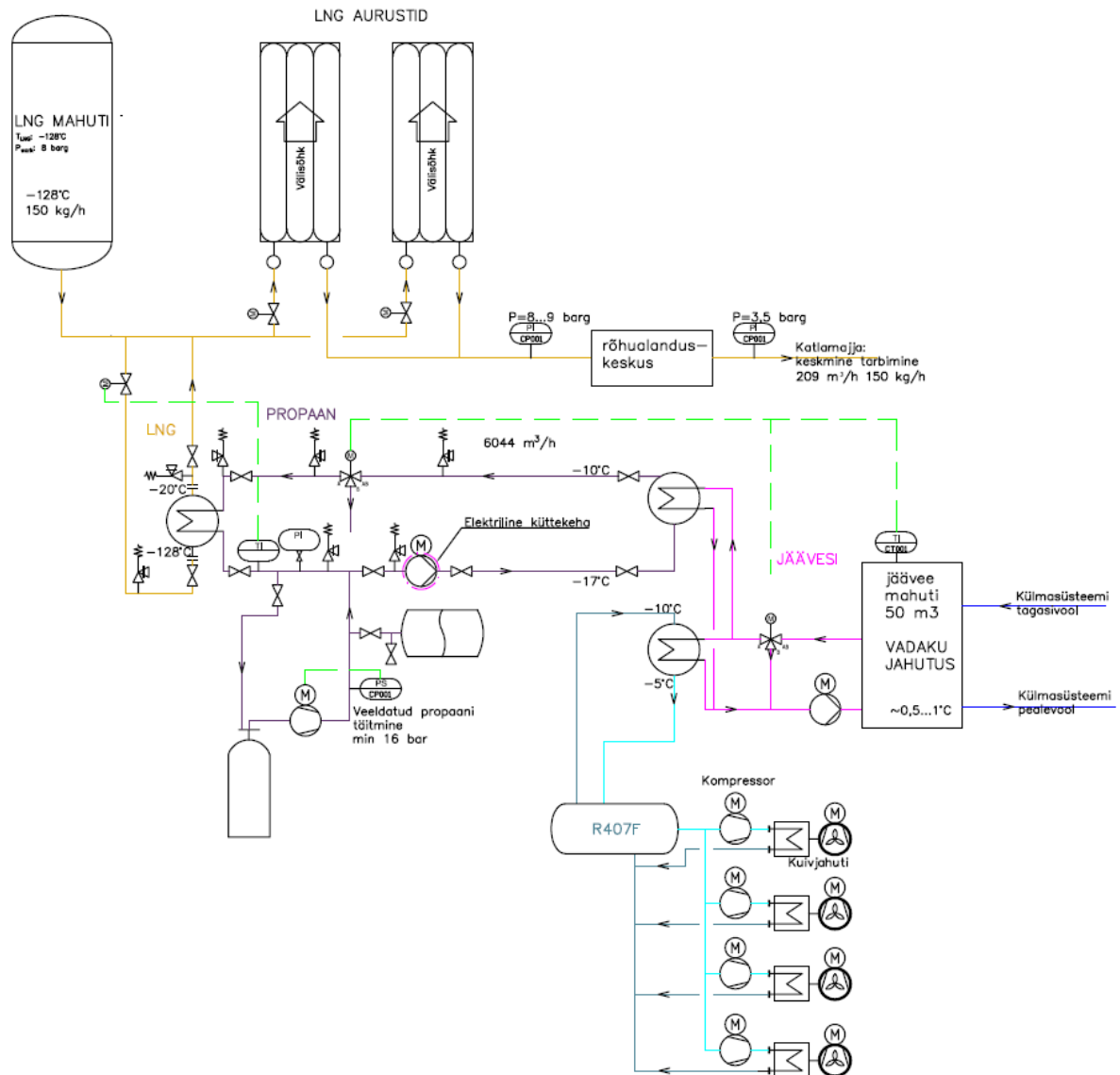
Kokkuhoitav jahutusenergia kogus	27,96	kW
Olemasoleva kompressori COP	2,93	
Kokkuhoitav elektrienergia kogus	9,54	kW
Elektri hind	0,0668	€/kwh
Potentsiaalne sääst aastas	5 584	€
Ligikaudne investeering	70 000,00	€
<b>Tasuvusaeg</b>	<b>12,5</b>	<b>a</b>

Investeeringu maksumus sisaldab kõiki komponente, mida on vaja, et LNG jahutusenergia edastada ja ühendada tootmise külmasüsteemiga kasutades selleks veeldatud propaani kontuuri. Kallimateks seadmeteks sõlmes on soojusvaheti ja sagedusmuunduri ning elektrilise küttekehaga tsirkulatsioonipump. Samuti sisaldub hinnas automaatika lahendus, torustiku montaaž ja kõik muud instrumendid ning toimingud projekti teostamiseks.



Joonis 7.5 LNG jahutusenergia sõlme ligikaudne asukoht ja torustiku kulgemine

Sõlme potentsiaalne asukoht on vahetult LNG gaasistamisjaamas olevate aurustite kõrval, soojuskandja (LPG) torustiku saab viia tootmise külmaruumi suunas paralleelselt olemasoleva gaasi toruga, sest külmaruum asub vahetult katlamaja taga. LPG torustiku kogupikkuseks tuleb ligikaudu 220 m ja mahuks 98 L. LPG kontuuri paisumiseks on arvestatud 9 liitrit. Süsteemi sõlmede asukohad ja torustiku arvatav kulgemine krundil on toodud Joonis 7.5. Sõlme põhimõtteline skeem ja liitmine olemasolevaga on toodud Joonis 7.6.



Joonis 7.6 Saaremaa Piiatööstuse LNG külmasõlme põhimõtteline skeem ja liitmine olemasoleva külmasüsteemiga

### 7.3.3 Võimalused tasuvusaja parendamiseks

Tabelites 7.9 ja 7.11 toodud tasuvusarvutuste tulemus 33,7 ja 12,5 aastat ei ole ressursi kokkuhoiu mõttes just eriti atraktiivsed. Senine kogemuse põhjal ettevõtete ja nende tootmise ressursitõhususe ja kokkuhoiu võimaluste otsimisel, arvestatakse positiivseks tasuvusajaks maksimaalselt 5 aastat. Arvestada tuleb ka, et käesolev lahendus vajab siiski perioodilist hooldust ja omab piiratud eluiga – suurusjärgus 20 aastat. Lisaks tuleb tähele panna, et tasumise hindamisel on arvestamata ka hoolduskulud ja elektrikulud sõlme komponentide, näiteks pumba ja ajamite käitamiseks. Samas ei ole ka kokkuhoiu arvestamisel arvesse võetud olemasoleva külmasüsteemi elektri tarbimise potentsiaalset vähenemist, näiteks pumpade tööpunkti alandamist ja sealt

tulenevat elektri kokkuhoidu, kuna seda on teoreetiliselt raske hinnata ja arvutuste teostamiseks peab tegema väga palju eeldusi. Seetõttu on käesolevas lõputöös lihtsustamise mõttes arvestatud hooldus- ja käidukulud uuele süsteemile ja võit käidu- ning hoolduskuludelt vana süsteemiga võrreldes võrdseks. Alljärgnevalt loetletakse ideid, kuidas või millistel juhtudel oleks peatükis 7.3 kirjeldatud LNG jahutusenergia taaskasutuse süsteem kiiremini tasuvam. Lihtsustamise mõttes on arvutustes kasutatud ainult Saaremaa Piimatööstuse LNG gaasistamisjaama parameetreid.

- **Suurem gaasi kulu** – mida suurem on gaasi kulu, seda rohkem jahutusenergiat on võimalik kätte saada. Üheks võimaluseks Saaremaal oleks leida samale gaasistamisjaamale tööstustarbijaid juurde. Teiseks võimaluseks oleks avada sama jaama tarbijaks CNG tankla, mis lisaks tööstustarbijatele veel ka kommertstarbijad autokütuse näol. Tarbimise suurenemisel tuleb arvestada ka LNG jahutusenergia sõlme komponentide suurenemist, mis omakorda tõstab investeeringu suurust. Soojusvaheti tootja Vahterus poolt saadetud hinnapakumiste järgi oli võimalik ligikaudselt hinnata, kui palju suureneb seadme hind gaasi kulu suurenedes, sest lõputöö raames küsiti soojusvaheti hinda nii 150 kg/h kui ka 43 kg/h kulu juures, kusjuures muud parameetrid jäid samaks. Arvutuse lihtsustamiseks kasutati soojusvaheti hinnaerinevusest tulenevat kordajat ka kõikide muude seadmete ja hindade arvutamise puhul. Tabel 7.12 on toodud erinevad kütuse kulu väärtused ja sõlme tasuvusaeg antud kulu juures, kui kõik muud parameetrid jäävad samaks. Nagu näha, siis 5 aastase tasuvusaja saavutab 450 kg/h gaasi kulu juures.

Tabel 7.12 LNG jahutusenergia sõlme tasuvusarvutused erinevate gaasi kulude juures

LNG rõhk (bar)	8	8	8	8	8
LNG temperatuur SV sisenemisel (°C)	-130	-130	-130	-130	-130
LNG temperatuur SV väljumisel (°C)	-20	-20	-20	-20	-20
<b>Gaasi kulu (kg/h)</b>	<b>150</b>	<b>250</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>450</b>
Soojushulk temp. muutusest (kW)	10	17	24	28	31
Soojushulk faasisiirdest (kW)	18	29	41	47	53
Soojushulk kokku (kW)	28	47	65	75	84
Olemasoleva kompressori COP	2,93	2,93	2,93	2,93	2,93
Kokkuhoitav elektrienergia kogus (kW)	9,57	15,95	22,33	25,52	28,71
Elektri hind (€/kwh)	0,0668	0,0668	0,0668	0,0668	0,0668
Potentsiaalne sääst aastas (€)	5 600	9 333	13 067	14 933	16 800
Investeering (€)	70 000	72 435	74 954	77 561	80 259
<b>Tasuvus (a)</b>	<b>12,5</b>	<b>7,8</b>	<b>5,7</b>	<b>5,2</b>	<b>4,8</b>

- **Madalam COP väärtus** – mida ebaefektiivsem on olemasolev külmatootmise süsteem, seda tasuvam on LNG jahutusenergia ära kasutamine. Alljärgnevas Tabel 7.13 on toodud tasuvusaja muutused erinevate COP väärtuste juures – nagu tabelist näha, saavutatakse 5



aastane tasuvusaeg 1,13 COP väärtuse juures. Madala efektiivsusteguriga kompressorseadmeid kasutatakse sellistes külmasüsteemides, kus kasutatakse niinimetatud äkk-külmutust. Toiduainetööstuses on selleks näiteks pagaritoodetega tegelevad ettevõtted, kes jahutavad oma tooteid temperatuuril ligi -20 °C.

Tabel 7.13 LNG jahutusenergia sõlme tasuvusarvutused erinevate COP väärtuste juures

LNG rõhk (bar)	8	8	8	8	8
LNG temperatuur SV sisenemisel (°C)	-130	-130	-130	-130	-130
LNG temperatuur SV väljumisel (°C)	-20	-20	-20	-20	-20
Gaasi kulu (kg/h)	150	150	150	150	150
Soojushulk temp. muutusest (kW)	10	10	10	10	10
Soojushulk faasisiirdest (kW)	18	18	18	18	18
Soojushulk kokku (kW)	28	28	28	28	28
<b>Olemaoleva kompressori COP</b>	<b>2,93</b>	<b>2,43</b>	<b>1,93</b>	<b>1,43</b>	<b>1,13</b>
Kokkuhoitav elektrienergia kogus (kW)	9,57	11,54	14,53	19,61	24,91
Elektri hind (€/kwh)	0,0668	0,0668	0,0668	0,0668	0,0668
Potentsiaalne sääst aastas (€)	5 600	6 752	8 501	11 474	14 520
Investeering (€)	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000
<b>Tasuvus (a)</b>	<b>12,5</b>	<b>10,4</b>	<b>8,2</b>	<b>6,1</b>	<b>4,8</b>

- **Kõrgem elektri hind** – mida kõrgem on elektri energia hind ettevõttele, seda tasuvam on LNG jahutusenergia taas kasutamise sõlm. Ettevõtte elektrikpaketi olev elektrienergia hind sõltub mitmest asjaolust, näiteks asukohast, tarbimisvõimsusest ja protsesside ajastusest öö- ning päevatariifi suhtes. Lõputöö peatükkides 7.3.1 ja 7.3.2 teostatud tasuvusarvutuste puhul kasutati ettevõtete reaalseid elektri energia hindasid, mis olid madalamad võrreldes Eesti tööstustarbija keskmise elektri hinnaga, milleks oli Eurostati andmetel 2016. aasta teises poles keskmiselt 0,090 €/kwh [38]. Tabelis 7.14 on toodud tasuvusarvutused erinevate elektri hindadega, mida on tõstetud sammuga 0,01 €/kwh.

Tabel 7.14 LNG jahutusenergia sõlme tasuvusarvutused erinevate elektrienergia hindade juures

LNG rõhk (bar)	8	8	8	8	8
LNG temperatuur SV sisenemisel (°C)	-130	-130	-130	-130	-130
LNG temperatuur SV väljumisel (°C)	-20	-20	-20	-20	-20
Gaasi kulu (kg/h)	150	150	150	150	150
Soojushulk temp. muutusest (kW)	10	10	10	10	10
Soojushulk faasisiirdest (kW)	18	18	18	18	18
Soojushulk kokku (kW)	28	28	28	28	28
Olemaoleva kompressori COP	2,93	2,93	2,93	2,93	2,93
Kokkuhoitav elektrienergia kogus (kW)	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57
<b>Elektri hind (€/kwh)</b>	<b>0,0668</b>	<b>0,0768</b>	<b>0,0868</b>	<b>0,0968</b>	<b>0,1068</b>
Potentsiaalne sääst aastas (€)	5 600	6 438	7 277	8 115	8 953
Investeering (€)	70 000	70 000	70 000	70 000	70 000
<b>Tasuvus (a)</b>	<b>12,5</b>	<b>10,9</b>	<b>9,6</b>	<b>8,6</b>	<b>7,8</b>

Nagu näha tabelist 7.14, siis elektrienergia hind mõjutab tasuvusaega olulisel määral, kuid Eesti keskmist elektri hinda arvestades ei suudetud siiski atraktiivset tasuvusaega saavutada jättes kõik muud parameetrid muutumatuks.

Kõige suuremat rolli mängib sellises süsteemis siiski saadaolev gaasi kulu. Mida rohkem tarbijaid lisandub ja mida suurema LNG gaasistamisjaamaga on tegu, seda rohkem on potentsiaali LNG jahutusenergiale. Lisaks mängivad olulist rolli olemasolev külmasüsteem – kompressorite COP väärtused ja asukoht LNG gaasistamisjaama suhtes. Antud lõputöös kasutatud näidete puhul ei osutunud LNG jahutusenergia taaskasutamise projekt piisavalt atraktiivseks, sest mõlemal puhul tuli tasuvusajaks üle 5 aasta. Küll aga oli võimalik arvutada, millistel parameetritel tasuvusaeg paremaks läks ja see andis alust arvata, et teatud ettevõtete puhul võib sellise süsteemi tasuvusaega tulla oluliselt parem, näiteks olukorras kus samaaegselt gaasi kulu on veidi suurem, olemasolev külmasüsteem ebaefektiivsem ja elektri hind kallim.

## KOKKUVÕTE

Tänases tööstussektoris on katlamajade kütusena veel endiselt kasutusel erinevaid kergeid ja raskeid kütteõlisid, millest üheks populaarseimaks Eestis on põlevkiviõli. Suur osa põlevkiviõli kasutajaid on toiduainete tööstusettevõtted, kelle tootmised asuvad maagaasi võrgust kaugel ning kus tootmisprotsessid nõuavad katelde poolt kiiret reguleerimisvõimet ja moduleerivat põlemisrežiimi, mistõttu ei ole võimalik kõrge väävlisisaldusega kütteõli mõne taastuva tahke kütuse (näiteks biokütuse) vastu vahetada. Olukorras, kus taastuvaid kütuseid kasutada ei saa, tuleks valida fossiilsetest kütustest kõige efektiivsem ja puhtam variant, et vältida lisakulutusi suitsugaaside puhastusseadmetele ja katla puhastamisele. Üheks võimaluseks oleks asendada kütteõli veeldatud maagaasi ehk LNG kütusega. Lisaks puhtamale katla kütusele oleks võimalik LNG-d rakendada ka transpordikütusena ettevõtte autopargis ja jahutusenergia allikana tootmise külmasüsteemis. Toiduainetööstus oli lõputöös püstitatud rakendusvõimaluste uurimiseks sobiv tööstusharu, sest toiduainete tootmistehases läheb reeglina vaja kõiki LNG kütuse potentsiaalseid energeetilisi võimalusi. LNG erinevate rakendusvõimaluste analüüsimiseks ja arvutuste tegemiseks kasutati lõputöös kahte näite-ettevõtet – Saarioinen Eesti OÜ, kes lõputöö kirjutamise ajal vahetas oma priimarkütuse põlevkiviõlilt LNG vastu ning Saaremaa Piimatööstus AS, kes on kasutanud LNG kütust aastast 2014 jättes põlevkiviõli reservkütuseks.

LNG kütuse asendamisel põlevkiviõliga tuleb üleminemiseks rekonstrueerida olemasolev põleti või vahetada see täielikult välja gaasi- või kahekütuselise põleti vastu. Lisaks tuleb arvestada gaasitorustiku ehitamisega ja katla automaatikas muudatuste tegemisega. Samuti säilib tarbijale varustuskindlus, sest üldjuhul jäätakse põlevkiviõli reservkütuseks. LNG kütus on väävli-, lämmastikoksiidi-, tuha- ja raskemetallide heitmete poolest oluliselt puhtam katla kütus, kui põlevkiviõli või muud kütteõlid, mistõttu vähenevad põletusseadme aastased õhuheitmed ja sellele kuluvad maksud keskkonnaametile. Lõputöös selgus, et tänu õhuheitme tasude vähenemisele ja katla iga-aastase puhastustööde vähenemisele hoiti aastas kokku Saarioinenis 2 661€ ja Saaremaa Piimatööstuses 3 427€. Kui arvestada kokku kütuse vahetuseks tehtud investeering ja aastased säästud kütuse maksumusest, keskkonnatasudest ja katla hooldusest, siis tuli kütusevahetuse arvutuslikuks tasuvusajaks Saarioinenis 1,77 aastat ja Saaremaal 0,24 aastat.

LNG transpordikütuse potentsiaal on sõltuv lähedal asuva surugaasitankla olemasolust või võimalusest liita olemasoleva LNG gaasistamisjaamaga uus surugaasi tankla. Arendustöös on ka väiksed kodutankur-seadmed, mida saab liita olemasolevasse maagaasi võrku või LNG

gaasistamisjaama. Kuna selliste tankurseadmete hooldus- ja käidukulud on tänaseks veel teadmata, samuti oli sellise seadme tootlikkus madal ja lisaks tuleb kütuse hinnastamisel arvestada ka aktsiisiga, siis ei olnud antud lõputöö raames otstarbekas kodutankur seadme paigaldamist analüüsida. Küll aga selgus, kui palju oli ettevõtetel võimalik rahaliselt säästa, kui paigaldada olemasolev autopargi autodele CNG kütuse gaasiseadeldis. Mõlema ettevõtte puhul saavutati tasuvus üsna kiiresti – 1,5 aastaga. Samuti hinnati lõputöö raames, kuivõrd palju potentsiaali on gaasi tarnijal liita olemasoleva LNG gaasistamisjaama juurde avalik kommertstankla gaaskütusele – Saarioinen ei olnud selleks asukoha tõttu soodne paik, aga Saaremaa Piimatööstus see-eest oli.

LNG jahutusenergia potentsiaalsed kogused on arvatud Sander Orasi poolt 2017. aastal kirjutatud lõputöös „LNG gaasistamisel tekkiva jääkjahutusenergia kasutamine“ toodud põhimõtete ja valemite järgi. Tasuvusarvutustes kasutatud investeeringu hind sisaldas endas soojasõlme komponente ja nende paigaldamist. Soojasõlm koosnes soojusvahetist, kus primaarpoolel oli olemasolev külmasüsteem ja sekundaarpoolel LNG enne aurusteid. Soojuskandjana kasutati veeldatud kujul propaani. Saadavad jahutusenergia kogused olid mõlema näite puhul tagasihoidlikud, kui arvestada kogu tootmises vajaminevat jahutusenergia hulka, mis mõlema ettevõtte puhul jäid 600 kW juurde. Saarioinenis oli kättesaadava jahutusenergia kogus kõigest 8 kW ja tasuvuseks tuli 33,7 aastat, Saaremaal oli võimalik rohkem jahutusenergiat kätte saada – 30 kW ja tasuvuseks 12,5 aastat. Arvestada tuleb ka seda, et Saaremaal on ühel LNG mahutil kolm tarbijat – lisaks Saaremaa Piimatööstus AS-le ka Saare Leib OÜ ja Saare Lihatööstus OÜ, seetõttu oli sealne tarbimine suurem. Lisaks oli Saarioineni tarbimises märgata rohkem kõikumisi ja põleti sissevälja lülitamisi. Selleks, et lõputöö raames arvestatud tulemused oleksid arvestatavad, kasutasid ettevõtete reaalseid tarbimiskõveraidsid ja keskmist gaasi kulu. Saarioinenis paigaldati andmete hankimiseks olemasolevale põletile kolmeks kuuks isekirjutaja, Saaremaa Piimatööstuse puhul olid tarbimisandmed kättesaadavad LNG tarnija Jetgas OÜ käest.

Lõputöös kasutatud kahe näite-ettevõtte puhul suudeti atraktiivne tasuvusaeg saavutada nii katla kütuse vahetamisega kui ka auto kütuse muutmisega, küll aga jäi LNG jahutusenergia taaskasutamise investeering võrreldes potentsiaalse energia võidu ja rahalise säästuga võrreldes mõlema näite puhul liiga suureks. Lõputöö viimasel peatükil teostati arvutusmudeli baasil katsetusi erinevate lähteandmetega, et välja selgitada, millises olukorras sarnane investeering end ära tasuks. Arvutustest selgus, et tasuvust aitab suuresti tõsta gaasi tarbimise suurenemine – 5 aastane tasuvusaeg saavutati 450 kg/h kütuse kulu juures jättes kõik muud parameetrid samaks. Lisaks mängib suurt rolli ka tootmise olemasoleva külmasüsteemi efektiivsus tegur – mida madalam COP väärtus kompressoril, seda parem tasuvusaeg saavutati. 5 aastane tasuvusaeg oli võimalik

saavutada 1,13 COP väärtuse juures. Lisaks võrreldi ka elektri hinna mõju tasuvusarvutusele, kuid selle mõju oli võrreldes eelmiste teguritega veidi väiksem.

Lõputöö tulemustest järeldus, et kahe näite-ettevõtte puhul kõiki LNG potentsiaale rakendada ei ole otstarbekas, küll aga saavutati kiire tasuvusaeg mõlema näite puhul kui asendati olemasolevas katlamajas põlevkiviõli kütus LNG vastu ja paigaldati olemasolevatele ametiautodele gaasiseade. Jahutusenergia taaskasutussõlme rakendamine ei tasunud ära valdavalt gaasi tagasihoidliku tarbimise, efektiivsete kompressorseadmete ja soodsa elektri hinna tõttu antud ettevõtetes. Kuna analüüs näitas, et eelpool loetletud tegurite vähene muutumine mõjutas lõpptulemust suuresti, siis võib lõputöös koostatud arvutusmudeli põhjal eeldada, et LNG kütuse laiema kasutuselevõtu ja suure tarbimise mõjul leidub Eestis tulevikus objekte ja tööstuseid, kelle puhul saaks kasutada kõiki LNG potentsiaalseid rakendusvõimalusi. Üheks järgmiseks uurimisobjektiks võiks olla sellised tööstused, kes kasutavad oma tootmistehnoloogias äkk-külmutust ja ekstreemseid miinuskraade, sest see viib tavaliselt kompressorseadme efektiivsusteguri madalaks.

LNG kõikide rakendusvõimaluste kasutamine viib ettevõtte energiatõhususe kõrgemaks, hoiab kokku primaarenergiat ning vähendab väävli-, lämmastikoksiidiheitmeid ja tahkete osakeste tekkimist põlemisproduktis. Samuti vähendab LNG kasutamine põletusseadmete hoolduskulusid ja investeeringuid puhastusseadmetele.

## SUMMARY

Many industries still use heavy and light fuel oil as a primary fuel in their boiler house to produce thermal energy for production processes. In Estonia one of the popular fuel oil is shale oil which is mostly used by food industry companies whose territory is far from natural gas piping and where production technology requires fast regulation and modulating combustion. This means that it is hard to replace high sulphur emission shale oil with some solid renewable fuel (for an example bio fuel). In this kind of situation where it is hard or impossible to replace fossil fuel with renewable, it is important to choose the best and cleanest fuel as possible in order to avoid extra expenses on flue gas cleaning equipment and regular maintenance costs on boiler firebox cleaning. One opportunity to replace fuel oil is using liquefied natural gas or in other words LNG. In addition to boiler fuel, LNG has potential in transport sector by changing cars from diesel or gasoline to CNG and in cold energy production as it is possible to use its cold temperatures in an existing cold system. Food industry was a good example in this paper since this production typically needs all above mentioned LNG potential energetic offers. To calculate and analyse different uses of LNG, two objects were taken as an example – Saarioinen Eesti OÜ, who currently is changing its fuel from shale oil to LNG and Saaremaa Piimatööstus AS who made the switch in 2014 and who is now using LNG as primary fuel and shale oil as a reserve fuel.

In order to replace existing boiler fuel from shale oil to LNG, certain changes must be conducted. Firstly the existing burner has to be retrofitted or replaced with a new gas or dual fuel burner. Gas pipe components and installation has to be made together with changes in boiler house automation system. In addition LNG consumer increases its security of supply for the fuel due to the fact that usually shale oil will stay as a reserve fuel. LNG is cleaner fuel compared with shale oil or other fuel oils on sulphur-, nitric oxide, ash and heavy metals emissions and this leads to lower costs on yearly emission fees to environmental agents. In the analyse conducted during this thesis, it turned out that Saarioinen reduced its yearly emission fees by 2 661€ and Saaremaa Piimatööstus by 3 427€. If all investments and yearly savings from fuel cost, environmental fees and maintenance were analysed, the results were payback period from fuel change for Saarioinen were 1,77 years and 0,24 years for Saaremaa.

LNG potential as transportation fuel depends on the location of filling station or on the potential of adding one on the existing gasification station. In addition, a new technology is being developed in smaller home filling stations which could be connected to existing natural gas pipe whether from

regular gas pipe or from LNG station. Since this technology is quite new and its costs on maintenance and operation are still unknown, also the capacity of device was rather low and when calculating the price of gas then an extra transportation excise duty has to be added, then it wasn't practical to analyse payback period for this device in this current paper. But it was possible to evaluate the cost effectiveness of replacing existing car park from diesel or gasoline to CNG fuel in the example companies. Both firms reached fast payback time – about 1,5 years. In addition an evaluation was given whether the location of the plant has good potential for a CNG filling station – Saarioinen's location wasn't as good as Saaremaa's, where there is a good potential of opening a gas fuel station in the future.

The potential amounts of LNG cold energy were calculated from Sander Orasi's 2017 year master's thesis „Utilizing waste cooling energy from LNG regasification“ formulas and principles. The financial investment for LNG cold energy unit includes heat-exchange unit components and installation. The heat exchanger unit consists of heat-exchanger, where on the primary side is existing cold system LNG and on the secondary side. Heat carrier for this system was liquid propane or in other word LPG. The amount of cold energy received in both examples was rather small compared to the whole amount of cold energy needed in the production which were around 600 kW for both cases. It was possible to achieve 8 kW of cold energy in Saarioinen with payback time of 33,7 years and 30 kW of cold energy in Saaremaa Piimatööstus which lead to payback period of 12,5 years. It must be taken into consideration that Saaremaa LNG station has three different consumers - Saaremaa Piimatööstus AS, Saare Leib OÜ and Saare Lihatööstus OÜ, but Saarioinen only has one. Saarioinen consumption was unstable and had many standstills. In order to make the calculations with realistic values, the real consumption graph had to be analysed. In Saarioinen there was a need to install an I/O module to receive burner working data for three months and in Saaremaa the consumption data of LNG was received by LNG supplier Jetgas OÜ.

In both food industry examples boiler fuel change from shale oil to LNG and car fuel switch from diesel or gasoline to CNG showed attractive payback periods easily, but the effectiveness from LNG cold energy utilization was too low considering the estimated price for heat exchange unit. In the last chapter, a sensitivity calculation was made on the basis of the calculation model done previously to estimate which source data affects the effectiveness most. It turned out that five years of payback time was reached when gas flow through the system was around 450 kg/h and all other inputs were left the same. Other big role has the COP value of existing compressor – the lower the COP, the more bigger payback time for the system. Five year payback period was able to reach with COP value of 1,13. In addition, calculations were made to compare the effect of electricity price to effectiveness, but this parameter affected the cost effectiveness least.

The result of this paper was that it wasn't effective to fulfill all LNG potentials in the example companies, but it was practical to replace just the fuel of boiler from shale oil to LNG and transportation fuel from diesel or gasoline to CNG at companies car park. The potential of cold energy utilization was low due to smaller amount of gas flow, effective compressor aggregates or inexpensive electricity prices. Since the sensitivity analyses showed that changing a small amount of input data changes the outcome, then it is strongly possible to assume that in the light of LNG popularization and bigger amount of consumers will lead to a possible object in the future where all the potential uses of LNG are cost effective. One specific industry could be production technologies who use shock-frost and extreme minus temperatures for treating its products due to low COP values of existing compressor units.

Using LNG full potential in energy and other industries will lead to higher energy efficiency, primary energy savings and reduction of sulphur-, nitric oxide, ash and heavy metals emissions in combustion product. Also, LNG reduces maintenance costs on existing combustion plants and investments on flue gas cleaning equipment.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Statistikaamet, „Eesti Statistika,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=EM026&ti=ETTEV%D5TETE+AASTASTATISTIKA+%DCLDKOGUM%2C+VALIM+JA+VASTANUD+TEGEVUSALA+%28EMTAK+2008%29+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/03Ettevetete\\_majandusnaitajad/10Ettevetete\\_uldkogum\\_valim/02Aastastatis](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=EM026&ti=ETTEV%D5TETE+AASTASTATISTIKA+%DCLDKOGUM%2C+VALIM+JA+VASTANUD+TEGEVUSALA+%28EMTAK+2008%29+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/03Ettevetete_majandusnaitajad/10Ettevetete_uldkogum_valim/02Aastastatis). [Kasutatud 06 05 2018].
- [2] „Keskkonnaministeerium,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/valisohukaitse/keskmise-voimsusega-poletusseadmed>. [Kasutatud 04 04 2018].
- [3] K. Vainumäe, „Keskkonnaministeerium,“ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.envir.ee/sites/default/files/mcp\\_mootmised\\_190616.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/mcp_mootmised_190616.pdf). [Kasutatud 04 04 2018].
- [4] Statistikaamet, „Eesti Statistika,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE044&ti=KATLAD%2C+NENDE+V%D5IMSUS+JA+TOODETUD+SOOJUS+MAJANDUSHARU+JA+KATLA+LIIGI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia\\_tarbimine\\_ja\\_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE044&ti=KATLAD%2C+NENDE+V%D5IMSUS+JA+TOODETUD+SOOJUS+MAJANDUSHARU+JA+KATLA+LIIGI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia_tarbimine_ja_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2). [Kasutatud 06 05 2018].
- [5] S. Park, B. P. Lamsal ja V. Balasubramaniam, „Unit operations in food processing,“ %1 *Principles of Food Processing*, Columbus, John Wiley & Sons, Ltd, 2014, pp. 2-3.
- [6] „HRS Heat Exchangers,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hrs-heatexchangers.com/resource/thermal-treatment-food-industry/>. [Kasutatud 07 04 2018].
- [7] „Process Worldwide,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.process-worldwide.com/what-is-cleaning-in-place-and-how-does-it-work-a-320588/index2.html>. [Kasutatud 08 04 2018].
- [8] M.Corkhill, „LNG World Shipping,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.lngworldshipping.com/news/view,cold-energy-extracts-value-from-the-lng-supply-chain\\_44974.htm](http://www.lngworldshipping.com/news/view,cold-energy-extracts-value-from-the-lng-supply-chain_44974.htm). [Kasutatud 01 05 2018].
- [9] B. Wischnewski, „Peace Software,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.peacesoftware.de/einigewerte/methan.html>. [Kasutatud 28 04 2018].

- [10] Elering, „Gaasituru käsiraamat,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/sites/default/files/gaasituru-kasiraamat.pdf>. [Kasutatud 28 04 2018].
- [11] „Elering,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/gaasisusteem>. [Kasutatud 16 04 2018].
- [12] „Eurostat,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Natural\\_gas\\_prices,\\_second\\_half\\_of\\_year,\\_2014-2016\\_\(EUR\\_per\\_kWh\)\\_YB17.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Natural_gas_prices,_second_half_of_year,_2014-2016_(EUR_per_kWh)_YB17.png). [Kasutatud 28 04 2018].
- [13] „Riigiteataja,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.riigiteataja.ee/akti/1181/0201/2001/MKM\\_m63\\_lisa4.pdf](https://www.riigiteataja.ee/akti/1181/0201/2001/MKM_m63_lisa4.pdf). [Kasutatud 28 04 2018].
- [14] S. Orasi, „LNG gaasistamisel tekkiva jääkjahutusenergia kasutamine,“ Tallinn, 2017.
- [15] „Eesti Gaasiliit,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.egl.ee/index.php?page=76>. [Kasutatud 28 04 2018].
- [16] Keskkonnaministerium. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/789462>. [Kasutatud 07 05 2018].
- [17] „Tresorgas,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.tresorgas.ee/index.php?frm\\_app\\_page=6&frm\\_app\\_action=1&frm\\_app\\_id=19](http://www.tresorgas.ee/index.php?frm_app_page=6&frm_app_action=1&frm_app_id=19). [Kasutatud 07 05 2018].
- [18] B. Maaten, „Loodushoid Eestis,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2017.
- [19] „Gaznet,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://gaznet.ee/autogaasiseadmetest/>. [Kasutatud 15 04 2018].
- [20] „Gaznet,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://gaznet.ee/hinnad/>. [Kasutatud 10 04 2018].
- [21] „1182,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.1182.ee/kytusehinnad>. [Kasutatud 15 04 2018].

- [22] „SkyCNG,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://skycng.com/homefillingstation.php>. [Kasutatud 15 04 2018].
- [23] „Cryostar,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.cryostar.com/web/lcng-lng-filling-stations.php>. [Kasutatud 29 04 2018].
- [24] „Standel,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.standel.ee/et/tooted?category\\_id=210](http://www.standel.ee/et/tooted?category_id=210). [Kasutatud 17 05 2018].
- [25] E. Toolbox. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/volumetric-temperature-expansion-d\\_315.html](https://www.engineeringtoolbox.com/volumetric-temperature-expansion-d_315.html). [Kasutatud 28 05 2018].
- [26] E. Standardikeskus, „EVS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-13645-2002>. [Kasutatud 05 01 2018].
- [27] E. Standardikeskus, „EVS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-1473-2016>. [Kasutatud 05 01 2018].
- [28] M. Gonzalez-Salazar, „System analysis of waste heat applications with LNG regasification,“ Munich, 2008.
- [29] H. Dhameliya ja P. Agrawal, „LNG Cryogenic Energy Utilization,“ ScienceDirect, Mumbai, 2015.
- [30] A. Messineo ja G. Panno, „LNG cold energy use in agro-food industry: A case study in Sicily,“ *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 3, pp. 356-363, 01 04 2011.
- [31] „Mamma,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://mamma.ee/ettevotetest/>. [Kasutatud 25 02 2018].
- [32] Keskkonnaminister, „Riigiteataja,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/789462>. [Kasutatud 09 05 2018].
- [33] Riigikogu, „Riigiteataja,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/117122010040>. [Kasutatud 09 05 2018].

- [34] Keskkonnaministeerium, „Keskkonnaamet,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/katlad\\_arvutusmoodulid\\_2.xls](https://www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/katlad_arvutusmoodulid_2.xls). [Kasutatud 11 05 2018].
- [35] „Gaznet,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://gaznet.ee/tanklad/>. [Kasutatud 15 05 2018].
- [36] D. White ja P. Hestermans., „THE VAPOR PRESSURE, HEAT OF VAPORIZATION AND HEAT CAPACITY OF METHANE FROM THE BOILISG POINT TO THE CRITICAL TEMPERATURE,“ kd. 65, pp. 362-365, 1960.
- [37] „Peace Software,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.peacesoftware.de/einigewerte/methan\\_e.html](http://www.peacesoftware.de/einigewerte/methan_e.html). [Kasutatud 26 05 2018].
- [38] „Eurostat,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity\\_prices\\_for\\_industrial\\_consumers,\\_second\\_half\\_2016\\_\(EUR\\_per\\_kWh\)\\_YB17.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices_for_industrial_consumers,_second_half_2016_(EUR_per_kWh)_YB17.png). [Kasutatud 26 05 2018].
- [39] Statistikaamet, „Eesti statistika,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE062&ti=K%DCTUSE+TARBIMINE+TEGEVUSALA+JA+K%DCTUSE+LIIGI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia\\_tarbimine\\_ja\\_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE062&ti=K%DCTUSE+TARBIMINE+TEGEVUSALA+JA+K%DCTUSE+LIIGI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia_tarbimine_ja_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2). [Kasutatud 02 05 2018].

## LISAD

LISA 1 – LNG kütuse kvaliteedi sertifikaat

LISA 2 – Saarioinen Eesti AS aurukatla põletile paigaldatud isekirjutaja mõõtetulemuste koondtabel

LISA 3 – Saaremaa LNG gaasistamisjaama tarbimiste koondtabel

## LISA 1 – LNG kütuse kvaliteedi sertifikaat

**QUALITY CERTIFICATE № 35K-K** dated 30.01.2017.

Liquefied natural fuel gas according to TU 51-03-03-85

Natural gas analysis according to GOST 31371.7-2008

Organization-supplier: Jsc «CRYOGAS»

Consignment № *K-01.17/1*

LNG sample is picked out by the handheld sampler.

Temperature: 0 °C

*Component composition of liquefied natural gas (LNG) consignment:*

Name of the component	Vol. %	Mass. %	Mol. %
Carbon dioxide	0,2587	0,6773	0,2594
Oxygen	0,0070	0,0133	0,0069
Ethane	2,9293	5,2397	2,9505
Nitrogen	0,4030	0,6716	0,4020
Propane	0,5011	1,3144	0,5105
I-butane	0,0916	0,3167	0,0953
N-butane	0,0792	0,2738	0,0825
I-pentane	0,0154	0,0661	0,0164
N-pentane	0,0108	0,0464	0,0117
Neopentane	0,0026	0,0155	0,0027
N-hexane	0,0089	0,0456	0,0099
Helium	0,0017	0,0004	0,0017
Hydrogen	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Sum:</b>	<b>4,3093</b>	<b>8,6808</b>	<b>4,3495</b>

**Calculation according to GOST 31369-2008:**

Rate: 100

Air density: 1,2047

Estimated value of methane: **95,6907 O6 %, 91,3192 Macc. %, 95,6505 Мол. %**

Tabular information of methane: density – 0,6669 kg/m<sup>3</sup>, Condensability factor – 0,9981

Relative gas density with regard to the air: 0,5821

Wobbe number: the lowest – 48,492 MJ/m<sup>3</sup>, the highest - 53,869 MJ/m<sup>3</sup>

Calorific value: the lowest – 8693 kc/m<sup>3</sup>, the highest - 9660 kc/m<sup>3</sup>

Gas density with regard to the standard conditions - 0,7467 kg/m<sup>3</sup>

Condensability factor with regard to the standard conditions: 0,9975

**Calculation according to ISO 6976-2005:**

(Temperature: 0 °C)

Calorific value the lowest – 36,397 MJ/m<sup>3</sup>, the highest – 40,447 MJ/m<sup>3</sup>

Density of LNG – 394,2 kg/m<sup>3</sup>

Technical Director of Jsc «CRYOGAS»

*M.A. Mashkantsev*  
M.A. Mashkantsev

Chief OPK LNG AGFC «Kryosepp»

*V. V. Pinezhko*  
V. V. Pinezhko



LISA 2 – Saarioinen Eesti AS aurukatla põletile paigaldatud isekirjutaja  
mõõtetulemuste koondtabel

Kuupäev	Päev	MW	m <sup>3</sup> /h		Kuupäev	Päev	MWh	MW	m <sup>3</sup> /h
10.11.2017	R	0,0	0		29.12.2017	R	4 321,8	0,5	49
11.11.2017	L	0,2	19		30.12.2017	L	275,0	0,0	3
12.11.2017	P	1,3	128		31.12.2017	P	2 450,2	0,3	28
13.11.2017	E	1,3	125		01.01.2018	E	973,4	0,1	11
14.11.2017	T	1,1	109		02.01.2018	T	4 201,8	0,5	47
15.11.2017	K	1,5	148		03.01.2018	K	4 743,9	0,5	54
16.11.2017	N	1,5	147		04.01.2018	N	4 445,2	0,5	50
17.11.2017	R	0,9	86		05.01.2018	R	2 400,7	0,3	27
18.11.2017	L	0,2	24		06.01.2018	L	732,7	0,1	8
19.11.2017	P	1,2	122		07.01.2018	P	4 500,0	0,5	51
20.11.2017	E	1,6	158		08.01.2018	E	5 586,5	0,6	63
21.11.2017	T	1,3	126		09.01.2018	T	5 203,7	0,6	59
22.11.2017	K	1,6	160		10.01.2017	K	4 389,3	0,5	50
23.11.2017	N	1,9	188		11.01.2017	N	5 888,9	0,7	66
24.11.2017	R	0,6	61		12.01.2017	R	2 903,0	0,3	33
25.11.2017	L	0,2	24		13.01.2017	L	1 439,1	0,2	16
26.11.2017	P	1,2	116		14.01.2017	P	7 283,0	0,8	82
27.11.2017	E	1,3	133		15.01.2017	E	10 311,7	1,2	116
28.11.2017	T	0,4	43		16.01.2017	T	14 405,3	1,6	163
29.11.2017	K	0,5	47		17.01.2017	K	15 176,7	1,7	171
30.11.2017	N	0,5	47		18.01.2017	N	12 007,2	1,4	136
01.12.2017	R	0,3	28		19.01.2017	R	9 362,4	1,1	106
02.12.2017	L	0,1	11		20.01.2017	L	4 951,8	0,6	56
03.12.2017	P	0,4	39		21.01.2017	P	7 734,8	0,9	87
04.12.2017	E	0,4	39		22.01.2017	E	8 443,6	1,0	95
05.12.2017	T	0,9	90		23.01.2017	T	6 469,3	0,7	73
06.12.2017	K	0,5	45		24.01.2017	K	7 343,9	0,8	83
07.12.2017	N	0,6	57		25.01.2017	N	2 782,3	0,3	31
08.12.2017	R	0,2	22		26.01.2017	R	4 907,7	0,6	55
09.12.2017	L	0,1	8		27.01.2017	L	1 685,1	0,2	19
10.12.2017	P	0,5	47		28.01.2017	P	6 113,2	0,7	69
11.12.2017	E	0,6	60		29.01.2017	E	5 779,7	0,7	65
12.12.2017	T	0,5	49		30.01.2017	T	5 346,0	0,6	60
13.12.2017	K	0,5	51		31.01.2017	K	7 175,3	0,8	81
14.12.2017	N	0,6	61		01.02.2018	N	7 380,4	0,8	83
15.12.2017	R	0,3	26		02.02.2018	R	3 737,9	0,4	42
16.12.2017	L	0,1	9		03.02.2018	L	1 622,0	0,2	18
17.12.2017	P	0,3	28		04.02.2018	P	6 169,2	0,7	70
18.12.2017	E	0,6	60		05.02.2018	E	8 709,4	1,0	98
19.12.2017	T	0,5	53		06.02.2018	T	8 642,6	1,0	98
20.12.2017	K	0,6	58		07.02.2018	K	16 520,9	1,9	187
21.12.2017	N	0,5	51		08.02.2018	N	8 337,2	1,0	94
22.12.2017	R	0,3	29		09.02.2018	R	10 397,5	1,2	117
23.12.2017	L	0,1	9		10.02.2018	L	5 101,0	0,6	58
24.12.2017	P	0,1	10		11.02.2018	P	9 210,4	1,1	104
25.12.2017	E	0,4	40		12.02.2018	E	11 051,8	1,3	125
26.12.2017	T	0,5	49		13.02.2018	T	10 016,6	1,1	113
27.12.2017	K	0,5	46		14.02.2018	K	9 788,1	1,1	111
28.12.2017	N	0,5	47		15.02.2018	N	190,7	0,0	2

## LISA 3 – Saaremaa LNG gaasistamisjaama tarbimiste koondtabel

Kuupäev	Päev	Saare piim (m <sup>3</sup> /h)	Saare piim (MW)	Saare liha (m <sup>3</sup> /h)	Saare liha (MW)	Saare leib (m <sup>3</sup> /h)	Saare leib (MW)	SUMMA (m <sup>3</sup> /h)	SUMMA (MW)
01.11.2017	K	100,5	1,02	103,6	1,05	8,9	0,09	213,1	2,2
02.11.2017	N	102,5	1,04	96,8	0,98	13,5	0,14	212,8	2,2
03.11.2017	R	99,1	1,00	94,8	0,96	11,2	0,11	205,2	2,1
04.11.2017	L	95,1	0,96	0,2	0,00	7,5	0,08	102,8	1,0
05.11.2017	P	92,9	0,94	6,7	0,07	13,1	0,13	112,7	1,1
06.11.2017	E	101,0	1,02	98,3	0,99	8,8	0,09	208,1	2,1
07.11.2017	T	99,8	1,01	98,4	0,99	13,3	0,13	211,5	2,1
08.11.2017	K	98,4	0,99	78,1	0,79	9,9	0,10	186,4	1,9
09.11.2017	N	111,8	1,13	99,1	1,00	13,8	0,14	224,8	2,3
10.11.2017	R	103,2	1,04	93,5	0,95	10,4	0,11	207,1	2,1
11.11.2017	L	99,5	1,01	0,3	0,00	7,4	0,07	107,1	1,1
12.11.2017	P	99,1	1,00	6,6	0,07	13,3	0,13	119,1	1,2
13.11.2017	E	102,3	1,03	101,1	1,02	9,1	0,09	212,4	2,1
14.11.2017	T	99,5	1,01	97,2	0,98	12,8	0,13	209,5	2,1
15.11.2017	K	94,4	0,95	81,8	0,83	8,2	0,08	184,4	1,9
16.11.2017	N	102,8	1,04	87,6	0,89	14,0	0,14	204,4	2,1
17.11.2017	R	100,0	1,01	80,7	0,82	11,3	0,11	192,1	1,9
18.11.2017	L	97,6	0,99	0,2	0,00	7,5	0,08	105,3	1,1
19.11.2017	P	94,5	0,95	6,7	0,07	13,3	0,13	114,4	1,2
20.11.2017	E	104,0	1,05	90,5	0,91	9,7	0,10	204,2	2,1
21.11.2017	T	46,3	0,47	99,2	1,00	13,3	0,13	158,8	1,6
22.11.2017	K	0,0	0,00	83,2	0,84	9,1	0,09	92,3	0,9
23.11.2017	N	0,0	0,00	104,8	1,06	14,7	0,15	119,5	1,2
24.11.2017	R	0,0	0,00	89,6	0,91	10,7	0,11	100,3	1,0
25.11.2017	L	22,5	0,23	0,2	0,00	7,6	0,08	30,4	0,3
26.11.2017	P	110,8	1,12	8,8	0,09	13,7	0,14	133,3	1,3
27.11.2017	E	106,3	1,08	95,7	0,97	9,6	0,10	211,6	2,1
28.11.2017	T	102,3	1,03	103,0	1,04	14,2	0,14	219,5	2,2
29.11.2017	K	107,4	1,09	82,1	0,83	9,6	0,10	199,1	2,0
30.11.2017	N	90,5	0,92	103,2	1,04	14,6	0,15	208,3	2,1
01.12.2017	R	62,2	0,63	95,2	0,96	12,6	0,13	170,0	1,7
02.12.2017	L	36,6	0,37	0,4	0,00	8,3	0,08	45,2	0,5
03.12.2017	P	93,2	0,94	6,7	0,07	12,5	0,13	112,4	1,1
04.12.2017	E	103,5	1,05	109,4	1,11	5,3	0,05	218,1	2,2
05.12.2017	T	86,2	0,87	105,3	1,06	12,0	0,12	203,5	2,1
06.12.2017	K	106,3	1,07	101,0	1,02	7,7	0,08	215,0	2,2
07.12.2017	N	106,0	1,07	113,5	1,15	12,2	0,12	231,7	2,3
08.12.2017	R	103,5	1,05	99,4	1,00	9,5	0,10	212,4	2,1
09.12.2017	L	102,5	1,04	4,9	0,05	5,5	0,06	112,9	1,1