

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Nesteytetyn maakaasun kilpailukyky Suomen
teollisuudessa

Competitiveness of liquefied natural gas in Finnish
industry

Työn tarkastaja: Professori, TkT Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: Professori, TkT Esa Vakkilainen

Lappeenrannassa 21.11.2016

Joona Heinonen

TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi: Joonas Heinonen

Opinnäytteen nimi: Nesteytetyn maakaasun kilpailukyky Suomen teollisuudessa

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2016

54 sivua, 9 kuvaa, 3 kuvaajaa ja 14 taulukkoa

Hakusanat: LNG, nesteytetty, maakaasu, biokaasu, teollisuus, markkina, hinta, kilpailukyky, päästöt

Nesteytetty maakaasu eli LNG on suomalaiselle teollisuudelle uusi polttoainevaihtoehto, joka on varteenotettava energiaratkaisu erityisesti öljyperäisten polttoaineiden korvaamisessa. Nesteytys- ja varastointitekniikka tarjoaa kehittyvät mahdollisuudet myös uusiutuvan energian hyödyntämiseen.

Teollisuusyritysten kannalta olennaisia tekijöitä energialähdettä valittaessa ovat ennen kaikkea luotettavuus ja kustannustehokkuus. LNG-laitteet ovat maailmalla testattuja, mutta Suomessa vielä melko tuntemattomia. Tässä työssä tarkastellaan teollisuudelle soveltuvia polttoainevaihtoehtoja ja vertaillaan näitä SWOT-analyysiä hyödyntäen.

Uudentyyppisen polttoaineen kaupallinen käyttö yleistyy tyypillisesti vasta, kun tekniikka saavuttaa luotettavan ja kilpailukykyisen aseman. Tämän työn yksi keskeinen kysymys on, miten yritysten keskinäinen symbioosi voi laskea investoinnin kustannuksia ja tehdä uuden polttoaineratkaisun entistä kannattavamaksi jokaiselle osapuolelle. Kilpailukykyyn määrittämiseksi on tarpeellista laskea investoinnin kustannukset sekä minimikulutus, jolla investointi käyttölaitteisiin on taloudellisesti kannattavaa. Työn loppuosassa esitetäänkin kustannuslaskelma LNG:stä elintarviketeollisuusyrityksen energialähteenä ja lämpökeskuksen varapolttoaineena.

Tutkimuksessa analysoidaan energiamarkkinoiden kehitystä tavoitteena määrittää kilpailukykyisin polttoaine investoinnin käyttöikä huomioiden. Tehtyjen havaintojen perusteella polttoaineen kilpailukykyyn vaikuttaa monta huomion arvoista muuttujaa. Investoinnin kannalta näistä olennaisimmaksi tekijäksi havaitaan käyttöasteen merkitys.

ABSTRACT

Author's name: Joonas Heinonen

Name of thesis: Competitiveness of liquefied natural gas in Finnish industry

Lappeenranta University of Technology
School of Energy Systems
Energy engineering study program

Bachelor's thesis 2016

54 pages, 9 pictures, 3 charts and 14 tables

Keywords: LNG, liquefied, natural gas, biogas, industry, market, price, competitiveness, emissions

Liquefied natural gas (LNG) is a new fuel option for Finnish industry. This new energy source is a viable option, especially for replacing fuels derived from oil. Liquefaction and storage technology can also be instrumental in developing renewable energy usage.

Reliability and cost-efficiency are the critical requirements for technology used by industrial clients. LNG systems have been tested and proven around the world, however, the use of the technology is only marginally applied in Finland. This research includes a study of fuel options for industrial use and compares those sources by using SWOT-analysis.

Commercial use of a new fuel type becomes more widespread once the technology has reached a level of reliability and competitiveness. One of the key questions of this research is how corporate symbiosis can increase the competitiveness of investment so that every stakeholder can gain more benefits from a new fuel solution. This technological analysis involves calculating the cost of investments and the minimum consumption required in order to make investments for a new fuel system financially competitive. A calculation of costs for LNG in the food industry and in reserve use in a heat plant is presented in the end of the report.

In this research, particular attention is paid to the development of the energy market and expected price of fuels over the lifetime of the technology. There are many variables which impact the competitiveness of fuel. The study revealed that the most important factor determining the profitability of an investment is the rate of fuel utilization.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
Abstract	3
Sisällysluettelo	4
Symboli-, lyhenne- ja käsiteluettelo	6
1 Johdanto	8
2 Metaanin energiakäyttö Suomessa	9
2.1 Kaasujakelun kehityksen pääkohdat	9
2.2 Maakaasun merkitys energialähteenä.....	11
2.3 Nesteytetyn maakaasun mahdollisuudet	13
3 Teollisuuden polttoainevaihtoehdot	14
3.1 LNG.....	14
3.1.1 Saatavuus ja markkina-alue	15
3.1.2 Päästöt	15
3.1.3 SWOT-analyysi LNG:stä teollisuuden polttoaineena.....	16
3.2 Nestekaasu	17
3.2.1 Saatavuus	17
3.2.2 Päästöt	17
3.2.3 SWOT-analyysi nestekaasun käytölle	18
3.3 Paikallinen biokaasutuotanto.....	19
3.3.1 Saatavuus ja luotettavuus energialähteenä	19
3.3.2 SWOT-analyysi biokaasun paikallistuotannolle.....	20
3.4 Öljypolttoaineet	21
3.4.1 Raskas polttoöljy	21
3.4.2 Kevyt polttoöljy	22
3.4.3 Bioöljyt.....	22
3.4.4 SWOT-analyysi öljystä teollisuuden polttoaineena	22
3.5 Kiinteät biopolttoaineet	23
3.5.1 Vaihtoehdot.....	24
3.5.2 Päästöt	24
3.5.3 Hinta.....	26
3.5.4 SWOT-analyysi kiinteistä polttoaineista teollisuudessa	26
4 Kannattavuus suhteessa muihin polttoaineisiin	28
4.1 Kustannusrakenne	28
4.1.1 Nesteytettyyn kaasuun liittyvät hintatekijät	28
4.1.2 Laitteistoinvestointi.....	29
4.1.3 LNG:n markkinahinta	32
4.1.4 Muut käyttökustannukset ja verotus	33
4.2 Ympäristövaikutukset.....	35
4.3 Käyttö- ja toimitusvarmuus	36

5	Mallilaskelma elintarviketeollisuuteen	37
5.1	Nykyinen energiamalli	37
5.1.1	Kivikylän Kotipalvaamo	38
5.1.2	Saarioinen ja prosessihöyryn toimittaja Adven	40
5.2	Mahdolliset vaihtoehdot	41
5.3	LNG energiaratkaisuna.....	42
5.3.1	LNG-laitteistoinvestoinnin kustannus Advenille.....	43
5.3.2	Investoinnin kannattavuus Kivikylän Kotipalvaamolle	48
5.4	Johtopäätös ja suositukset Huhkolan teollisuusalueelle	50
6	LNG:n tulevaisuuden näkymät	51
7	Yhteenveto ja yleiset johtopäätökset	53
	Lähdeluettelo	55

SYMBOLI-, LYHENNE- JA KÄSITELUETTELO

Roomalaiset aakkoset

A	Annuiteetti [€]
E	Energian vuosikulutus [MWh]
h	Hinta polttoaineelle tai energialle [€/MWh]
I	Investointi [€]
i	Korkokanta
k	Käyttöaste
M	Maksu vuodessa tai kuukaudessa [€]
n	Käyttöikä investoinnille vuosina
P	Teho [MW]
t	Varaston kesto aika [vrk]

Kreikkalaiset aakkoset

ρ	Tiheys [t/m ³]
--------	----------------------------

Lyhenteet

CHP	<i>Combined Heat and Power</i> ; Sähkön ja lämmön yhteistuotanto
LBG	<i>Liquefied Biogas</i> ; Nesteytetty biokaasu

LHV	<i>Lower Heating Value</i> ; Polttoaineen alempi lämpöarvo [MWh/t]
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i> ; Nesteytetty maakaasu
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i> ; Nestekaasu, joka koostuu propaanista tai propaanista ja butaanista.
PtG	<i>Power to gas</i> ; Teknologia ylituotantosähkön varastoimiseksi metaaniin, joka mahdollisesti nesteytetään säilytystä varten.
SNG	<i>Synthetic Natural Gas</i> ; Synteettisesti valmistettu metaani. Esimerkiksi PtG-teknologialla tuotettu metaanikaasu tai biomassasta muutoin kuin biologisen hajotusprosessin kautta valmistettu metaani.
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i> ; Vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Sisäiset ja ulkoiset tekijät huomioiva arviointimenetelmä markkina-analyysiin.
Käsitteet	
Boil off	Kryogeenisen kaasun varastoinnissa lämpövuotojen takia tapahtuva höyrystyminen. Ilmoitetaan vuorokaudessa höyrystyvän kaasun määrä prosenttilukuna varaston määrästä.
Kryogeeninen	Kryogeeninen tarkoittaa kylmää nestettä, joka on jäädytetty alle normaalin kiehumispisteen, joka on alle -90 °C .
Wobbe-arvo	Kaasun lämpöarvo jaettuna kaasun suhteellisen tiheyden neliöjuurella. [MJ/m ³]

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan nesteytetyn maakaasun eli LNG:n (Liquefied Natural Gas) kilpailukykyä teollisuuden polttoaineena Suomessa. Rakenteilla olevan logistiikkainfrastruktuurin myötä LNG on uusi tulokas polttoainemarkkinoille ja useat teollisuusyritykset ovat pohtimassa LNG:n kannattavuutta energiamarkkinan muutoksissa.

Tutkimusmenetelmänä käytetään vertailua teollisuuden muihin mahdollisiin polttoainevaihtoehtoihin. Vertailussa tarkastellaan energiaratkaisujen käyttökustannuksia, investointikustannuksia, käytännöllisyyttä ja ympäristövaikutuksia. Tutkimus on lähtökohtaisesti käytännönläheinen, mutta markkina-analyysiä tehdään lyhyesti myös yleisesti tunnettujen teorioiden pohjalta. Työn tavoitteena on löytää teollisuuden kohteet, joissa LNG tarjoaa suurimmat hyödyt taloudellisessa, logistisessa ja ympäristönäkökulmat huomioon ottavassa tarkastelussa.

Ominaisuuksiltaan LNG on hajuton, väritön ja ei-korrodoiva neste. Nesteenä säilymisen edellytyksenä on kryogeeninen kuljetus ja säilytys, mikä tarkoittaa maakaasulle jäädytystä vähintään -162 °C :n lämpötilaan. Tässä lämpötilassa nestemäinen olomuoto saavutetaan normaalipaineessa. Maakaasua nesteytettäessä poistuvat siinä esiintyvät epäpuhtaudet kuten happi, hiilidioksidi, rikkivety ja vesi. LNG on siis lähes puhdasta metaania ja vastaa käyttöominaisuuksiltaan suomalaisesta maakaasuverkosta saatavaa siperialaista maakaasua, joka sisältää n. 98-prosenttia metaania. Nestemäinen kuljetustapa mahdollistaa kuitenkin logistiikan putkiverkkoa laajemmalle sekä maahantuonnin useammilta öljy- ja kaasukentiltä. (Klemola 2013, 13; Maakaasukäsikirja 2014, 6)

Nesteytetyn maakaasun käyttöönotto voidaan nähdä osana maailmanlaajuisia energiavallankumousta, jossa öljystä siirrytään kaasumaisiin polttoaineisiin samoin kuin sata vuotta sitten nähtiin energiamurros hiilestä öljyyn. Maakaasu vastaa koostumukseltaan puhdistettua biokaasua ja kaikki maakaasukäyttöiset järjestelmät ovat

käytettävissä myös biokaasulla. Näin ollen LNG voidaan nähdä edellytyksiä luovana askeleena kohti uusiutuvan energian laajamittaisempaa käyttöä ja kiertotaloutta.

2 METAANIN ENERGIÄKÄYTTÖ SUOMESSA

2.1 Kaasujakelun kehityksen pääkohdat

Maakaasua on saatu Suomeen vuodesta 1974, jolloin Neuvostoliitosta johtava kaasuputki avattiin. Kuvassa 1 on esitetty tämänhetkinen kaasuverkko, jonka alueella maakaasua on saatavilla putkiverkosta. Kaasun jakelusta vastasi aluksi Neste ja vuonna 1994 aloitti nykyinen toimija Gasum. (Käyhkö 2004)



Kuva 1. Gasumin omistama kaasuverkko Suomessa. (Gasum Oy)

Nesteytettyä maakaasua on Suomessa saatu vuodesta 1996 alkaen, jolloin Gasum aloitti nesteyttämisen Porvoon Kilpilahden teollisuusalueella (Mattila 2013). Kaasun toimitusvarmuuden kehittämiseksi ja hintatason kilpailuttamiseksi on nähty tarpeelliseksi tuontiterminaalien rakentaminen Suomeen. Gasum laajensi nesteytetyn maakaasun toimintojaan ostamalla norjalaisen Skangasin LNG-jakeluliiketoiminnasta

enemmistöosakeosuuden keväällä 2014. Yrityskaupan myötä Skangas on laajentanut LNG-markkinoitaan ja aloittanut investoinnit LNG-infraan Suomessa. Kuvassa 2 on Skangasin rakentama Suomen ensimmäinen tuontiterminaali. Tämä avattiin Porin Tahkoluotoon syyskuussa 2016. Toinen rakenteilla oleva LNG-terminaali on valmistumassa Tornioon vuonna 2018 eri teollisuusyritysten yhteisen Manga-projektin tuloksena. (Gasumin vuosi 2014, 20, 22 - 23)



Kuva 2. Skangasin rakentama LNG-terminaali Porin Tahkoluodossa. Terminaalin kapasiteetti on 30.000 m³ (15.000 t) ja se on yhteydessä Kaanaan teollisuusalueelle rakennettuun 12 km:n pituiseen maakaasuputkeen. (Skangas)

Euroopassa käytettävä LNG tuodaan pääosin maanosan ulkopuolelta kuten Qatarista, muilta Lähi-Idän kaasukentiltä, Nigeriasta, Algeriasta ja Trinidad & Tobagosta (Pikkarainen 2014, 8). Euroopan oma LNG-tuotanto sijoittuu pääosin Norjaan, missä sijaitsee myös Suomessa toimivan Skangasin nesteytyslaitos.

Liikenteen polttoaineena maakaasua on käytetty Suomessa vuodesta 1996, jolloin ensimmäiset maakaasubussit aloittivat liikennöinnin Helsingissä. Henkilöautoissa

maakaasun käyttö tuli käytännössä mahdolliseksi kuitenkin vasta 2004, kun korotettu käyttövoimavero poistettiin. Kaasuautojen ensimmäinen julkinen tankkausasema Suomessa avattiin Helsingin Malmille vuonna 2005. (40 vuotta maakaasua Suomessa 2014) Raskaan liikenteen käyttöön soveltuva LNG on tullut liikennepolttoainemarkkinoille elokuussa 2016 Helsingin Vuosaaren avatun LNG-tankkausaseman myötä. (Gasum Oy)

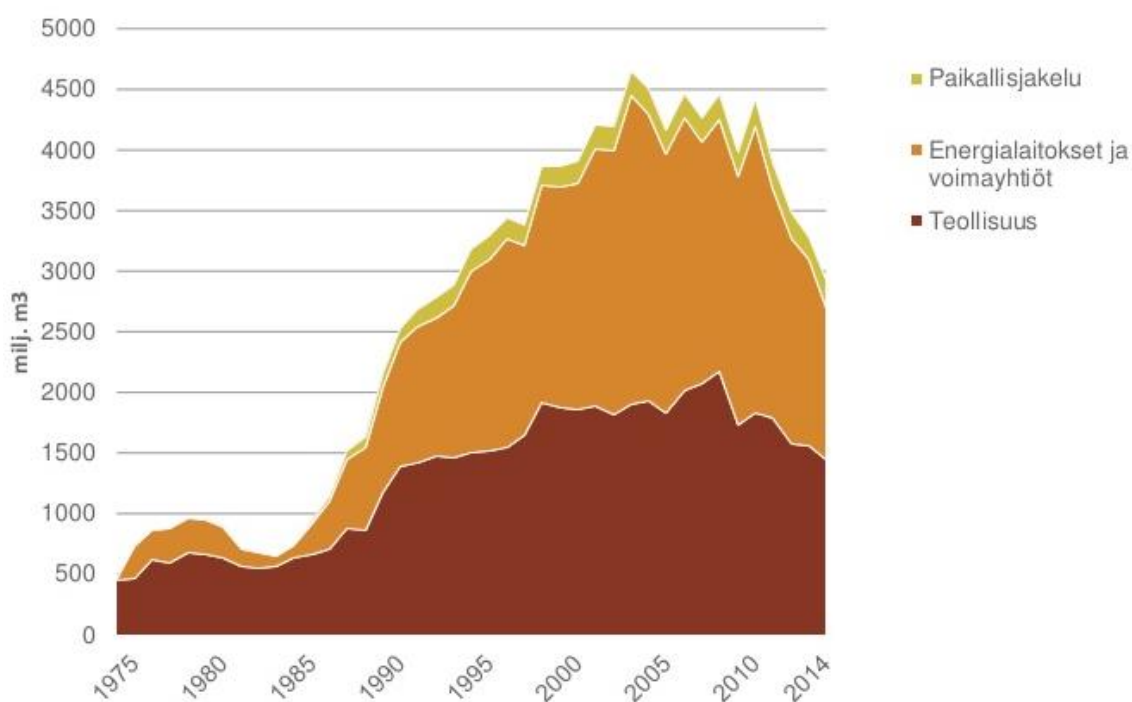
Biokaasun syöttäminen maakaasuverkkoon aloitettiin Kouvolan Veden jätevedenpuhdistamolta Mäkikylän biojalostamon valmistuttua vuonna 2011. Tämän jälkeen biokaasu on ollut vaihtoehto kaasuputkiverkon piirissä olevalle liikenteelle, teollisuudelle, kotitalouksille ja ravintoloille. (Huttunen & Kuittinen 2015, 17) Putkiverkkoon syötettyä biokaasua voidaan luonnollisesti myös nesteyttää Porvoon nesteytyslaitoksessa. Näin saadaan kotimaista nesteytettyä biokaasua eli LBG:tä.

2.2 Maakaasun merkitys energialähteenä

Maakaasun osuus Suomen energiankulutuksesta on viime vuosina ollut noin kymmenen prosenttia, kun se EU-maissa keskimäärin on 23 % (40 vuotta maakaasua Suomessa 2014). Viime vuosina maakaasun käyttö Suomessa on ollut selvässä laskussa. Maakaasua ollaan myös korvaamassa biokaasulla, jota syötetään maakaasuverkkoon Kujalan biokaasulaitokselta Lahdesta, Suomenojan jätevedenpuhdistamolta Espoosta ja Mäkikylän biokaasulaitokselta Kouvolasta. Biokaasu on Gasumin mukaan kasvavassa suosiossa niin kaasuautoilijoiden kuin muidenkin kaasua käyttävien asiakkaiden keskuudessa. (Gasumin vuosi 2014, 18)

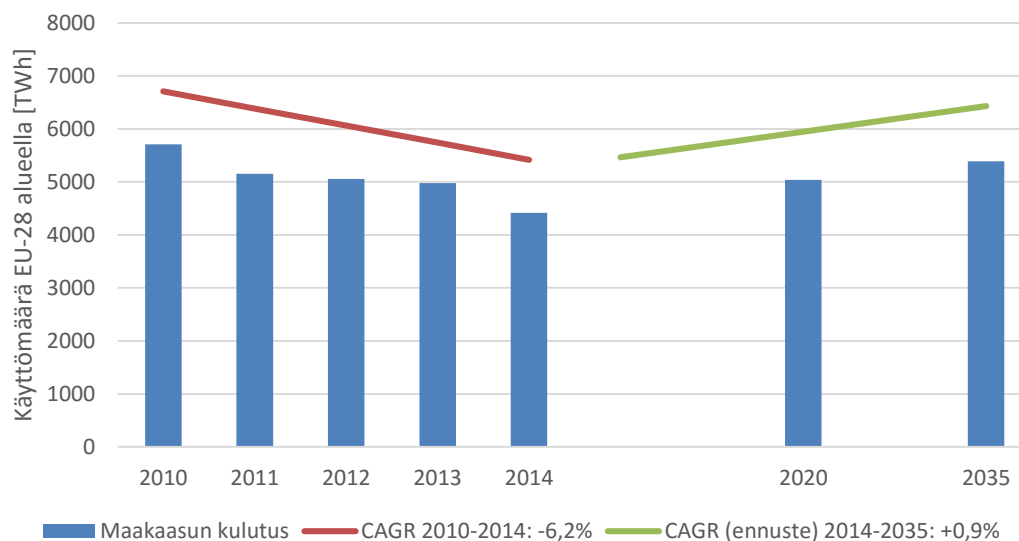
Kuvaaja 1 osoittaa maakaasun käytön vähentymisen Suomessa aikavälillä 2010 – 2014 (Kaasutilastot 2015; Tilastokeskus, Liitekuvio 4). Syitä käytön laskuun ovat olleet muun muassa energiatarpeen väheneminen teollisuudessa vuonna 2008 alkaneesta taantumasta lähtien sekä yleisesti energiamarkkinan muutos. Energian markkinamuutokseen ovat vaikuttaneet ennen kaikkea reilut korotukset kaasun verotuksessa. Energiapolitiikka on verotuksellisesti ohjannut biomassojen käyttöön. Tästä johtuen kaukolämmön tarpeen määrittämää CHP-tuotantoa on suuressa määrin muutettu maakaasuperustaisesta

kotimaisilla biopolttoaineilla toimivaksi. Muutokset energiantuotannossa ovat kuitenkin hitaita, koska rakennetun infrastruktuurin käyttöikä on useita kymmeniä vuosia. Muutoksen voidaan siis olettaa jatkuvan samansuuntaisena, mikäli puun päästöjä ja verotusta ei määritetä uudelleen. Öljyn hinnan putoaminen on taas osaltaan heikentänyt maakaasun kilpailukykyä suhteessa öljyperäisiin polttoaineisiin. Leuto talvi on yksi syistä vuoden 2014 erityisen alhaiseen maakaasun energiantuotantokäyttöön.



Kuvaaja 1. Maakaasun käyttö Suomessa 1974 - 2014. (Kaasutilastot 2015)

Kaasunkäytön väheneminen kyseisellä aikavälillä on ollut myös yleiseurooppalainen ilmiö kuten kuvaaja 2 osoittaa. Uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvu sähköntuotannossa merkitsee kuitenkin kasvavaa säätövoiman tarvetta. Sähköntuotanto kaasuturbiineilla on nopeakäynnisteistä. Tästä johtuen maakaasun käytön odotetaan lisääntyvän Euroopan sähköntuotannossa. Ennuste kaasun kulutuksesta Euroopassa aikavälillä 2014 – 2035 osoittaa kuvaajan 2 mukaisesti 0,9 % kasvua vuodessa. (Capgemini)



Kuvaaja 2. Maakaasun kulutuslukemat ja -ennuste Euroopassa. (Capgemini)

Sähkön lauhdetuotannon osuus maakaasun käytöstä vaihtelee Suomessa markkinatilanteen mukaan prosentista muutamaan prosenttiin (Maakaasun käyttö Suomessa). Teollisuuden ja meriliikenteen polttoaineena sekä muissa erityissovelluksissa kaasun käytön odotetaan lisääntyvän öljyn hinnan noustessa ja päästörajoja kiristettäessä.

2.3 Nesteytetyn maakaasun mahdollisuudet

LNG nähdään uutena vaiheena ja mahdollisuutena maakaasun käytössä. Etuna on helpottunut ja edullisemmaksi tullut logistiikka, joka mahdollistaa pienemmän kokoluokan kaasunkäyttösovellukset etäämmällä kaasuverkosta. LNG:n logistiikka rannikolle rakennettavista terminaaleista on mahdollista järjestää kannattavasti lähes koko Suomen alueelle. Näin maakaasu tulee vaihtoehdoksi siellä missä sitä ei ole ennen ollut saatavilla kaasuputken kautta. Potentiaalisimpina asiakkaina nähdään teollisuuden yritykset, mutta myös energiantuotannossa ja liikenteessä LNG:n käytön uskotaan lisääntyvän. LNG-perustaiseen hajautettuun sähköntuotantoon ei Suomessa ole varsinaista tarvetta, koska sähköverkko on laaja ja yhtenäinen. Kaukolämmön tai prosessihöyryn tarve voi kuitenkin tulla kannattavaksi syyksi rakentaa LNG:hen perustuvaa CHP-tuotantoa. Kulloinkin saatavilla olevan putkikaasun hinta, LNG:n hinta

sekä energiapoliittiset päätökset vaikuttavat siihen, miten kaasua kannattaa käyttää. Esimerkiksi paremman kokonaishyötysuhteen mahdollistavassa CHP-tuotannossa maakaasulle myönnetään 50 prosentin veroalennus.

Parhailtaan tehdään tutkimusta sähkön varastoinnista metaaniksi uusiutuvien energiamuotojen yhteydessä. Power-to-Gas (PtG) –teknologialla voidaan hyödyntää ylituotantosähköä valmistamalla siitä synteettistä maakaasua eli SNG:tä. Neo-Carbon Energy on VTT:n, Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Turun yliopiston toteuttama tutkimusprojekti aurinko- ja tuulisähkön varastoinnista metaaniksi ja LNG:ksi. Synteettisen metaanin tuotannon haasteena on kuitenkin hinta. Projektin koordinaattori Pasi Vainikka kertoo synteettisen metaanin hinnan olevan noin kaksinkertainen verrattuna venäläiseen maakaasuun. (Yle Uutiset 15.3.2016)

3 TEOLLISUUDEN POLTTOAINEVAIHTOEHDOT

Teollisuuden polttoainevalintaa määrittävät kriteerit useimmiten vaihtuvat oleellisesti sen mukaan, mihin tuotantoprosessiin polttoainetta käytetään. Polttoainevaihtoehtojen markkina-arvo määritetään tässä tutkielmassa yleisluontoisesti SWOT-analyysin kautta. SWOT-analyysiä käytetään polttoaineiden vahvuuksien ja heikkouksien selkeämpään esittämiseen sekä ulkoisista tekijöistä aiheutuvien mahdollisuuksien ja uhkien havainnollistamiseen. On kuitenkin huomattava, että vaihtoehdoista esitetyt hyödyt ja haitat eivät välttämättä päde jokaisessa käyttökohteessa samalla tavoin.

3.1 LNG

Metaanikaasua voidaan teollisuudessa käyttää energiantuotantoon, prosesseihin sekä raaka-aineena. LNG:n mahdollisia teollisuusasiakkaita on mahdotonta kategorisoida yksittäisiin teollisuudenaloihin, sillä käyttökohteita on hyvin erilaisia. Maakaasua voidaan käyttää esimerkiksi metalliteollisuuden sulatoissa, muoviteollisuuden valuprosesseissa, kemianteollisuuden ja elintarvikealan prosesseissa sekä raaka-aineena synteettisissä tuotteissa.

3.1.1 Saatavuus ja markkina-alue

Suomessa LNG on uusi tulokas teollisuuden polttoainevaihtoehdoksi. Tämänhetkinen saatavuus ja hinta ovat olleet käytännön rajoitteet, joiden odotetaan poistuvan rakenteilla olevien tuontiterminaalien valmistumisen myötä. On kuitenkin huomattava, että LNG:n energiatiheys on pienempi ja logistiikka monimutkaisempi kuin esimerkiksi öljyllä. Tämän johdosta kuljetuksen osuus hinnassa on olennaisesti suurempi ja siksi kilpailukyky on heikompi etäämpänä terminaaleista. Maakaasuverkon alueella kaasuliittymä on useimmiten edullisempi vaihtoehto kuin investointi LNG-järjestelmään. Tästä johtuen tarkastelun alla olevan teollisuuden LNG-markkinan oletetaan sijoittuvan pääasiassa kaasuverkon ulkopuolelle. Noin 400 kilometrin kuljetussädettä terminaalista voidaan kuitenkin pitää kannattavuuden kannalta LNG:n maantiekuljetuksen maksimietäisyytenä. Useimmiten kannattavuus laskee merkittävästi jo lyhemmissäkin maantiekuljetuksissa.

3.1.2 Päästöt

Paloteknisiltä ominaisuuksiltaan kaasun polttaminen on ihanteellista, koska sekä polttoaine että savukaasut ovat puhtaita. Kaasua poltettaessa laihalla seoksella palamistuotteiden lämpötila jää useimmiten alle 1250 K. Näissä olosuhteissa palamistuotteina esiintyy stabiileja kaasuja CO₂, H₂O, O₂ ja N₂. Tällöin voidaan puhua täydellisestä palamisesta. (Raiko et. 2002, 142)

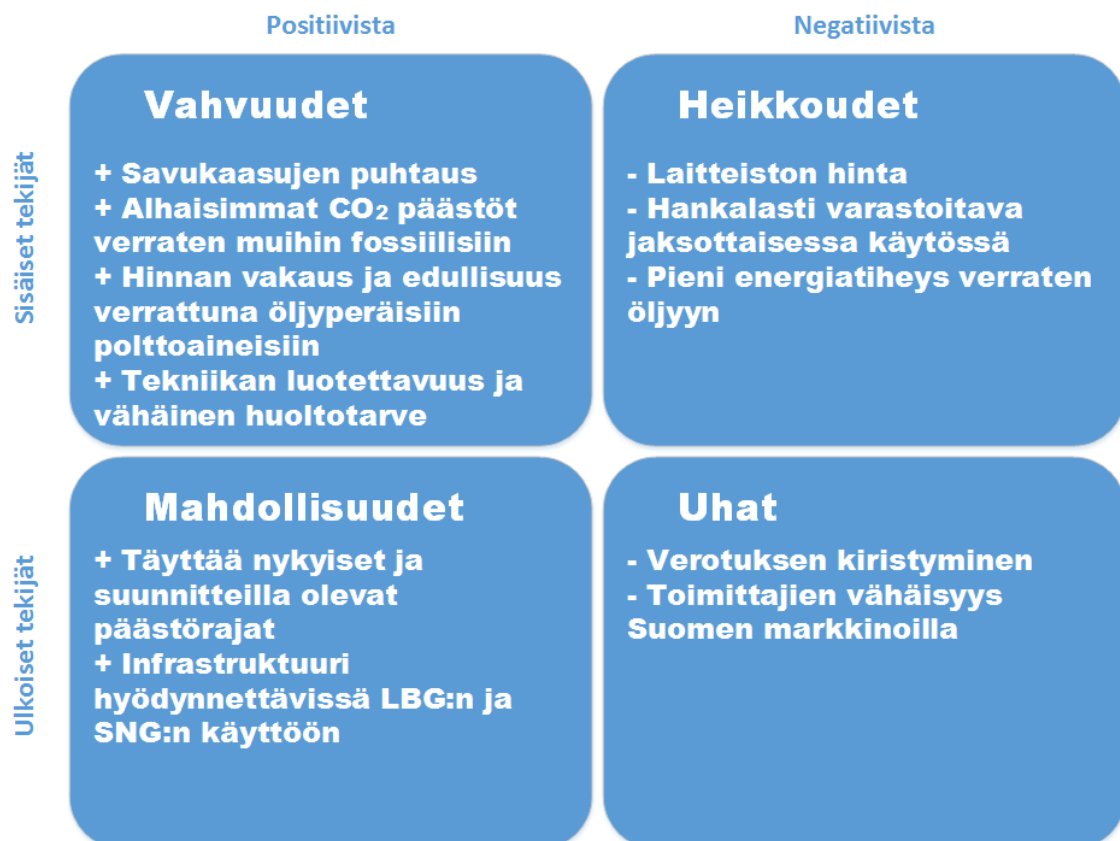
Rikittömyys on etu sekä tekniseltä että ympäristöystävällisyyden kannalta tarkasteltuna. Rikitöntä polttoainetta poltettaessa kattilan ja savukaasuputkiston syöpymisriski on pieni ja siten savukaasun kondenssilämpötila voidaan alittaa. Suuri vesihöyryn määrä voi kuitenkin aiheuttaa rapautumista vanhoissa tiilihormeissa, mistä johtuen on tarpeen asentaa ruostumaton sisäpiippu. Lisäksi on suositeltavaa järjestää kondenssiveden poisto. (Suomen Kaasuyhdistys 2014, 91)

Savukaasun puhtaus mahdollistaa myös sovellukset, joissa tuote itsessään on tekemisissä savukaasun kanssa. Tämä on tärkeää esimerkiksi elintarviketeollisuuden paistouuneissa.

3.1.3 SWOT-analyysi LNG:stä teollisuuden polttoaineena

Taulukossa 1 esitetään LNG:n vahvuuksia ja heikkouksia sisäisten tekijöiden asetus- ja mahdollisuudet ja uhat ulkoisiin tekijöihin varautuen. LNG:llä on monia vahvuuksia, joista tärkeimpinä voidaan pitää savukaasujen puhtautta ja hinnan vakautta. Heikkouksiin voidaan yleisesti ottaen lukea polttoaineen vaikea käsiteltävyys. Kryogeeninen kuljetus- ja säilytyslaitteisto on kallis ja siitä huolimatta kaasua ei voida säilyttää pitkään. Käyttäjäkokemusten mukaan laitevalmistajien antamat boil-off-arvot ovat teoriaa, johon perustuen ei voida suoraan tehdä laskelmaa pitkästä säilytyksestä käytännön olosuhteissa. Suunnitelmaa tehdessä on siis tarpeen huomioida riittävä käyttöaste ja riskitekijät tätä laskettaessa.

Taulukko 1. SWOT-analyysi LNG:stä teollisuuden polttoaineena.



Ulkoisten tekijöiden osalta LNG tarjoaa hyvät mahdollisuudet päästöjen vähentämiseen ja tekniikan kehittämiseen uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä varten. Löydetyt

uhkatekijät liittyvät lähinnä Suomen markkina-alueeseen. Mikäli maakaasun kysyntä kasvaa, tuotantoa voidaan helposti lisätä esimerkiksi liuskekaasuesiintymistä. Näin ollen loppuasiakkaalle kohdistuviin hintamuutoksiin vaikuttavat enemmän kansalliset energiapolitiikan päätökset kuin globaali energiahintojen nousu. Myös markkinan uutuus ja toimittajien vähäisyys niin tekniikan kuin polttoaineenkin osalta tuovat kysymyksen toiminnan vakaudesta. Suuret investoinnit kuten kaasuterminaalit eivät kuitenkaan ole siirrettävissä muualle eikä ole erityistä syytä epäillä, etteikö valtio-omisteiseen ja Energiaviraston valvonnassa toimivaan kaasu-yhtiöön voisi luottaa.

3.2 Nestekaasu

Nestekaasu eli LPG (Liquefied Petroleum Gas) tarkoittaa käytännössä propaania tai propaanin ja butaanin sekoitusta. Propaanin kiehumispiste normaalipaineessa on $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten se saadaan normaalisti höyrystymään ympäristön lämpötilassa. Huoneenlämpötilassa propaani nesteytyy noin 8 bar paineessa. Butaanin seoskäyttö nostaa höyrystymislämpötilaa ja sata prosenttisen butaanin käyttö ei ole mahdollista $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ kylmemmässä. Kun kaasun tarve on suuri, erillinen höyrystin saattaa olla tarpeen myös pelkkää propaania käytettäessä. (Aga 2016)

3.2.1 Saatavuus

Suomessa käytetystä nestekaasusta 44 % on peräisin öljynjalostuksesta ja 56 % kaasuntuotantolaitoksista (Argus 2013). Yrityksille nestekaasua toimittavat useat öljy- ja kaasualan yritykset kuten AGA, Kosan Gas, Teboil ja Woikoski. Useat edellä mainituista toimijoista tarjoavat myös asiakkaan kohteeseen ja kulutukseen räätälöidyt nestekaasulaitteet. Avaimet käteen -tyyppinen kaasujärjestelmäpäivitys tyypillisesti käsittää suunnittelun, perustamis- ja viranomaisluvut sekä laitteet ja varusteet, niiden asennukset, huollot ja määräaikaistarkastukset.

3.2.2 Päästöt

Nestekaasu palaa puhtaasti kuten maakaasu, mutta johtuen propaanin ja butaanin pidemmistä hiiliketjuista sen hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat kuin maakaasulla.

Nestekaasun palaessa ei synny nokea eikä rikki- tai raskasmetallipäästöjä. Tämä mahdollistaa suorapolttosovellusten käytön. Typen oksidien syntyminen riippuu liekin lämpötilasta, minkä vuoksi polttimen säädöillä on suuri merkitys näiden syntymiseen.

3.2.3 SWOT-analyysi nestekaasun käytölle

Taulukossa 2 esitetään nestekaasun vahvuudet ja heikkoudet vaihtoehdon sisäisten tekijöiden asetelmana sekä mahdollisuudet ja uhat ulkoisiin tekijöihin varautuen. Nestekaasulle voidaan lukea lähes kaikki samat vahvuudet kuin LNG:lle hinnan ollessa kuitenkin poikkeava tekijä. Nestekaasun heikkoutena voidaan pitää hintaa, joka on vaikeasti ennakoitavissa. Polttoaineen säilyvyys voidaan päinvastoin poistaa heikentävien tekijöiden listalta. Propanin säilyvyys paineistetussa säiliössä on hyvä ja säilytys voi tapahtua normaalissa ympäristön lämpötilassa.

Taulukko 2. SWOT-analyysi nestekaasusta teollisuuden polttoaineena.



Ulkoisten tekijöiden mahdollisuudet ja uhat näyttävät likipitäen samoilta kuin LNG:llä. Nestekaasuun ei kuitenkaan liity samanlaisia odotuksia hiilidioksidineutraalin energiainfrastruktuurin kehityksestä. Uhkatekijöinä voidaan pitää energiapoliittisia päätöksiä ja verotusta aivan kuten LNG:n kohdalla. Lisätekijänä joudutaan kuitenkin huomioimaan epävarmuus raaka-aineena käytettävän öljyn hinnan noususta.

3.3 Paikallinen biokaasutuotanto

Biokaasu eli biologisen hajoamisprosessin tuotteena syntyvä metaanipitoinen kaasu on jalostettavissa lähes sata prosenttiseksi metaaniksi. Kaasu voidaan tällöin hyödyntää joko kaasupolttimilla, kaasuturbiineissa tai kaasumoottoreilla.

Polttoaineeksi kelpaava biokaasu voidaan tuottaa erilaisin puhdistusmenetelmin esimerkiksi kaatopaikkakaasusta tai bioreaktorissa jätevesilietteestä, biojätteistä tai energiakasveista tuotetusta raakabiokaasusta. Suomessa biokaasu tuotetaan lähinnä jättemateriaalista, joka ei kilpaile elintarviketuotannon kanssa. Näissä sovelluksissa tuotannon hiilidioksidipäästöt ovat erittäin alhaiset ja kaasun käyttö polttoaineena vähentää hiilidioksidipäästöjä niin energiantuotannosta kuin myös jätehuollosta. Biokaasua voidaan valmistaa myös termokemiallisesti käyttäen puuta raaka-aineena. Tällöin puhutaan synteettisestä biokaasusta eli bio-SNG:stä. SNG-laitoksia on käytössä eripuolilla maailmaan ja synteettisen biometaanituotannon odotetaan kasvavan. Bio-SNG-laitoksien rakentamista on suunniteltu Suomessakin, mutta toistaiseksi investointipäätöksiä kaupallisesta tuotannosta ei ole syntynyt. Hiilinieluna toimivien puiden käyttöä biokaasutukseen olisi myös syytä tarkastella kokonaisvaikutuksiltaan.

3.3.1 Saatavuus ja luotettavuus energialähteenä

Biokaasutuotannon aloittamiseen liittyy suuri alkuinvestointi ja tuotannosta on tehtävä pitkän aikajakson suunnitelma. Tämä onnistuu parhaiten, kun tuotettu kaasu on syötettävissä maakaasuverkkoon, käytettävissä ajoneuvopolttoaineeksi tai muunnettavissa sähköksi. Teollisuuden muuttuva energiatarve on jo itsessään riski tuotantoinvestoinnille ja toisaalta kaasuntuotannon jatkuvuudessa esiintyvät riskit eivät

sovellu teollisuuden tavoitteisiin. Mikäli biokaasua halutaan käyttää teollisuuden polttoaineena, tarvitaan useimmiten varapolttoaine, jota voidaan käyttää biokaasulaitoksessa mahdollisesti tapahtuvan alasajon aikana. Kaasuverkossa tämä ei aiheuta ongelmaa, mutta verkon ulkopuoliset järjestelmät on varustettava esimerkiksi LNG-varajärjestelmällä.

3.3.2 SWOT-analyysi biokaasun paikallistuotannolle

Taulukossa 3 esitetään paikallisen biokaasutuotannon vahvuudet ja heikkoudet teollisuuden polttoaineena sekä mahdollisuudet ja uhat ulkoisiin tekijöihin varautuen. Biokaasun huomattava vahvuus on ympäristöystävällisyys niin hiilidioksidipäästöjä laskettaessa kuin jätemateriaalin käsittelyä arvioitaessa.

Taulukko 3. SWOT-analyysi paikallisen biokaasutuotannon käyttämisestä teollisuuden polttoaineena.



Hankkeita rajoittavina heikkouksina voidaan pitää erityisesti investoinnin suurta kustannusta ja jatkuvatoimisen tuotannon epävarmuutta. Kaasua käyttävä yritys joutuisi käytännössä investoimaan lisäksi myös varapolttoainejärjestelmään.

Biokaasun tuotantoon liittyvät ulkoiset tekijät koskevat vahvasti projektin rahoitusta ja kaasun käytön turvaamista. Selkeästi kiertotaloutta tukevana projektina erilaisten tukien saaminen voi tulla kyseeseen osana projektin rahoitusta. Investointipäätöstä tehtäessä on joka tapauksessa löydettävä kaasun kysynnälle riittävät takeet pitkälle tulevaisuuteen, jotta investoinnin takaisinmaksu saadaan turvattua.

3.4 Öljypolttoaineet

Suomessa öljyn kulutus on ollut laskussa 1970-luvun öljykriisistä lähtien. Tästä huolimatta öljy esiintyy edelleen merkittävässä roolissa teollisuuden polttoaineena. (Motiva; Tilastokeskus, Liitetaulukko 1)

3.4.1 Raskas polttoöljy

Isomman kokoluokan öljykattilat ovat perinteisesti toimineet raskaalla polttoöljyllä, koska sen hinta on huomattavasti kevyttä polttoöljyä edullisempi. Raskaan polttoöljyn käyttämiseen tarvittavat säiliöt ja polttimet ovat kuitenkin monimutkaisemmat, sillä lämpötila on pidettävä riittävänä juoksevuuden varmistamiseksi. Toisaalta liian korkea lämpötila aiheuttaa hienojen öljyjakeiden haihtumisen ja varastoitavan öljyn sakkautumisen. Suurin ongelma raskaan polttoöljyn käytössä on kuitenkin päästöt. Polttoaineen korkean rikkipitoisuuden vuoksi savukaasu sisältää huomattavat rikkioksidipäästöt, mikä aiheuttaa maaperän ja vesistöjen happamoitumista. Savukaasun rikkipitoisuutta voidaan vähentää rikkipesureilla. Investointi rikkipesureihin on kallis eikä se poista muita päästöongelmia kuten hiilidioksidi-, typpioksidin- ja hiukkaspäästöjä. Useimmiten kannattavammaksi vaihtoehdoksi osoittautuu raskaan polttoöljyn vaihtaminen johonkin muuhun energialähteeseen.

3.4.2 Kevyt polttoöljy

Kevyt polttoöljy on koostumukseltaan tasalaatuisempaa ja rikki- ja hiilipitoisuus on alhaisempi kuin raskaalla polttoöljyllä. Käyttökohteita kevyelle polttoöljylle on enemmän ja myös pienemmän kokoluokan sovelluksissa kuin raskaalle polttoöljylle. Kevyen polttoöljyn ympäristövaikutukset ovat pienemmät kuin raskaalla polttoöljyllä. Öljypolttimet ja dieselmoottorit ovat myös tunnettua ja luotettua tekniikkaa. Useimmiten kevyen polttoöljyn käytön rajoitteeksi osoittautuu kuitenkin korkea hinta, joka on myös hyvin altis markkinahintojen heilahduksille.

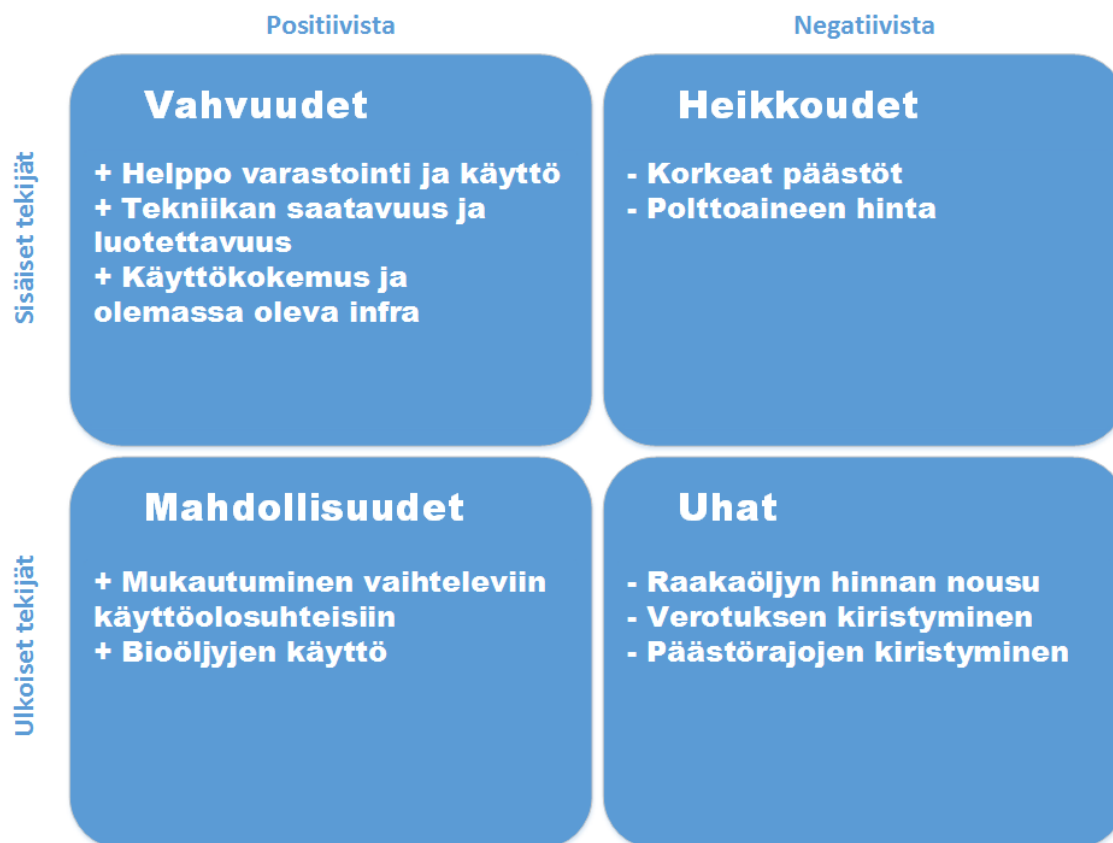
3.4.3 Bioöljyt

Bioöljyllä on mahdollista korvata kevyttä polttoöljyä ja vähentää hiilidioksidipäästöjä, rikkipäästöjä ja hiukkaspäästöjä. Bioöljyä useammin puhutaan kuitenkin biodieselistä, joka tarkoittaa useimmiten kasviöljyistä jalostettuja estereitä ja viittaa käyttöön dieselmoottoreissa. Käyttökohteen määräytyminen johtuu käytännössä bioöljyjen korkeasta tuotantohinnasta ja liikenteen paremmasta maksukyvyvystä. Lämmitys- tai prosessipolttoaineena bioöljyt tulevat kyseeseen vain erityistapauksissa kuten viljelijöiden tai jalostuksen omissa tarpeissa. Varsinaiseksi teollisuuden polttoaineeksi siitä ei siis ole ainakaan nykyisillä tuotantotekniikoilla.

3.4.4 SWOT-analyysi öljystä teollisuuden polttoaineena

Taulukossa 4 on tarkasteltu öljypolttoaineiden vahvuuksia ja heikkouksia tämän päivän teollisuudessa sekä mahdollisuuksia ja uhkia ulkoisiin tekijöihin varautuen. Öljypolttoaineiden vahvuus on ennen kaikkea helppous ja edullisuus niin käytön aloittamisessa kuin kuljetuksessa ja säilytyksessäkin. Öljyn merkittävimmät heikkoudet ovat kuitenkin haitalliset savukaasupäästöt sekä polttoaineen korkea ja epävakaa hinta.

Taulukko 4. SWOT-analyysi öljyn käyttämisestä teollisuuden polttoaineena.



Ulkoiset tekijät tarjoavat vain vähän uusia mahdollisuuksia öljyn käytölle energiantuotannossa. Bioöljyjen lisääntyvä tuotanto tarjoaa rajoitteen mahdollisuuden ympäristöystävällisempään vaihtoehtoon öljynpoltossa. Öljykattilat toimivat kuitenkin usein varakattiloina ja tällöin on huomioitava, että bioöljyjen säilyvyys on usein huonompi kuin maaöljystä valmistetun polttoöljyn. Öljynkäytön uhkana voidaan pitää jatkuvasti kiristyvää ympäristölainsäädäntöä ja verotuksellisia pakotteita siirtyä ympäristöystävällisempiin vaihtoehtoihin.

3.5 Kiinteät biopolttoaineet

Polttoöljykäyttöisiä lämpökeskuksia on viime vuosina vaihdettu paljon hakekattiloihin. Hake on polttoaineena kiinnostava erityisesti edullisen hinnan vuoksi. Myös imago uusituvan energian hyödyntäjänä on merkittävä. Parhaillaan keskustelun ja tutkimuksen

aiheena tosin on, miten suurelta osin suomalainen metsähake voidaan lukea uusiutuvaksi. Tyypillinen voimalaitospolttoaine on puun ja turpeen seos. Seospoltto vähentää polttamiseen liittyviä ongelmia kuten kattilan korroosiota, lämpöpintojen likaantumista ja hiekkapedin sintraantumista. Yhdyskuntien lämmitysvoimalaitoksissa toteutunut suhde turve 70 % ja puu 30 % on kuitenkin päästöjen vähentämiseksi tavoitteena kääntää tulevaisuudessa päinvastaiseksi. (Lahtinen 2, 6)

3.5.1 Vaihtoehdot

Puuhake on voimalaitosten merkittävin biopolttoaine. Haketta tehdään puun eri osista ja sen käyttöominaisuudet vaihtelevat sisällön mukaisesti. Suuret voimalaitokset sietävät paremmin polttoaineen laatuvaihteluja ja siten edullinen hakkuutähdehake sopii hyvin polttoaineeksi. Pienemmissä kattiloissa on tyypillisempää käyttää tasalaatuista rankahaketta.

Hakkeen joukossa voidaan polttaa myös muuta biomassaa. Tyypillisiä seospolttoaineita ovat turve, teollisuuden puujäte ja energiakasvit kuten paju, olki ja ruokohelpi. Turve on oleellisesti puuta hitaammin uusiutuvaa ja sisältää esimerkiksi rikkiä, minkä vuoksi sillä ei ole kovin ympäristöystävällistä leimaa, vaikka kotimaisuus puoltaa käyttöä. Energiakasvien tuotanto on suhteellisen pienimuotoista ja saatavuus riippuu paljolti paikallisista viljelijöistä ja tukimuodoista, joihin voi tulla muutoksia. Hakkeen saatavuus on hyvä ympäri vuoden, käyttökokemusta löytyy ja hinta on edullinen, joten laskelmat kiinteän biomassan poltosta voidaan tehdä olettaen polttoaineena käytettävän haketta.

Kiinteät polttoaineet ovat vähemmän jalostettuja ja siten edullisia. Investointi hakekattilaan on kuitenkin kallis. Kiinteää polttoainetta poltettaessa huoltotarve on suhteellisen suuri ja kattilalaitoksen mekaaniset laitteet kuten kuljettimet sisältävät kohtalaisen vikaantumisriskin.

3.5.2 Päästöt

Puun poltto aiheuttaa päästöjä vähemmän kuin muut kiinteät polttoaineet. Savukaasujen voidaan kuitenkin lukea sisältävän hiukkaspäästöjä, rikin oksideita, typen oksideita,

klooria, orgaanisia yhdisteitä ja raskasmetalleja. (Hakkila & Fredriksson 1996, 70 – 75) Hiilidioksidipäästöt ovat perinteisen laskentamallin mukaan mitättömät perustuen puun uusiutuvuuteen. Kasvavaa puuta voidaan kuitenkin pitää hiilinieluna, joten hakkeen hiilidioksidipäästö on käytännössä suurempi kuin korjuutyöstä aiheutuvat päästöt. Hiilidioksidipäästöjä laskettaessa tarkastelujakson pituus on tärkeä tekijä, koska puun poltosta seuraava välitön hiilipäästö on jopa suurempi kuin fossiilisilla polttoaineilla. Taulukossa 5 on esitetty metsäbiomassan polton ja tuotantoketjun välittömät päästöt. Hakkuissa metsiin sitoutuvan hiilen määrä vähenee useiksi kymmeniksi vuosiksi, minkä takia puun hiilidioksidipäästöistä on alettu kantaa huolta. Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) tekemän tutkimuksen mukaan kantojen polttamisen hyöty hiilidioksidivähennyksenä on vain 20 % verrattaessa kivihiilen polttoon 20 vuoden aikajaksolla hakkuusta. Oksien hajoaminen tapahtuu nopeammin, mistä johtuen näiden polttaminen johtaa parempiin tuloksiin. Samaisella 20 vuoden aikajaksolla oksien polton luetaan vähentävän ilmakehän hiilidioksidikuormaa kivihiilen päästöihin verrattuna 50–60 %. (Suomen ympäristökeskus 2011, 28)

Taulukko 5. Polttoaineiden poltossa välittömästi vapautuvat päästöt. (Suomen ympäristökeskus 2011, 37)

Polttoaine	Polton ja tuotantoketjun päästöt				Tilastokeskuksen päästökerroin poltolle
	CO ₂ [g/MJ]	CH ₄ [g/MJ]	N ₂ O [g/MJ]	Kasvihuonekaasupäästöt yhteensä [g CO ₂ ekv./MJ]	CO ₂ oletuspäästökerroin [g/MJ]
Metsäbiomassan poltto ja tuotantoketjun päästöt	103–105	3–6 × 10 ⁻⁵	3 × 10 ⁻³	104–108	110
Kivihiili	96	6 × 10 ⁻¹	6 × 10 ⁻⁵	110	95
Raskas polttoöljy	88	4 × 10 ⁻²	2 × 10 ⁻⁴	89	79
Maakaasu	68	4 × 10 ⁻¹	2 × 10 ⁻⁴	78	55

Ilmastonmuutoksen torjumiseksi hiilidioksidipäästöt tulisi saada taittumaan ilman viiveitä. Tämän takia Euroopan Unionissa harkitaankin metsäbiomassan hiilipäästöluokituksen uudelleenarviointia. Turpeen kohdalla uusiutumisaikajakso on

vielä huomattavasti pidempi kuin puupolttoaineilla. Turve seospoltossa tai poltettaessa yksinään tuottaa myös selkeästi puunpolttoa enemmän rikkipäästöjä ja raskasmetallipäästöjä.

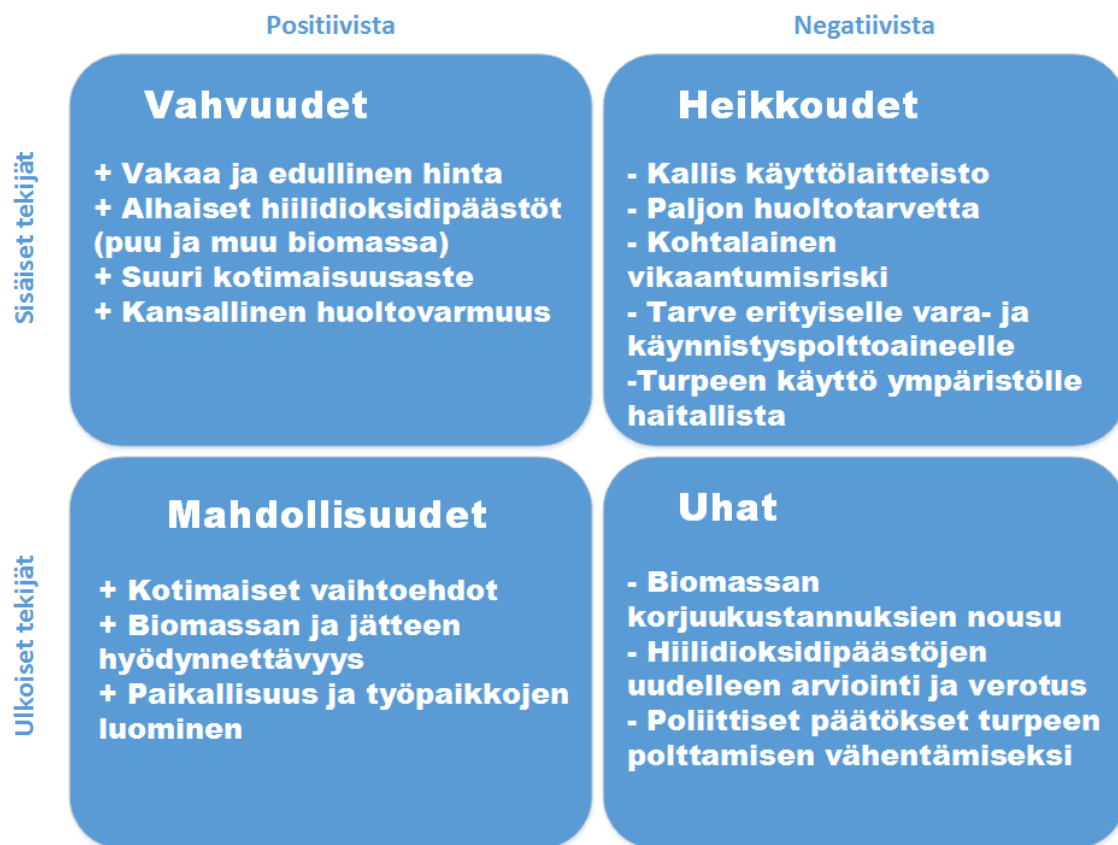
3.5.3 **Hinta**

Paikallisesti tuotetun bioenergian hinta kytkeytyy maailmanmarkkinahintoihin vain välillisesti ja useimmiten se on verovapaata tai valtion tukemaa. Metsähakkeen hinta riippuu pääasiassa korjuukustannuksista eikä siihen sovelleta valmisteveroa. Turpeen verotus on sen sijaan hyvinkin energiapoliittisen keskustelun ytimessä. Euroopan Unioni luokittelee turpeen fossiiliseksi, mutta Suomessa siitä halutaan sen sijaan puhua hitaasti uusiutuvana (Eurooppatiedotus, 2008). Turpeen hiilidioksidiveroa ei ole Suomessa sidottu Euroopan Unionissa määritettyihin hiilidioksidipäästöihin kuten muiden polttoaineiden kohdalla on tehty. Tämä on poliittinen päätös turpeen suosimiseksi energian tuotannossa, koska se nähdään tärkeässä roolissa osana energiatuotannon kotimaisuusastetta ja huoltovarmuuden säilyttämistä.

3.5.4 **SWOT-analyysi kiinteistä polttoaineista teollisuudessa**

Taulukossa 6 on tarkasteltu kiinteiden polttoaineiden vahvuuksia ja heikkouksia tämän päivän teollisuudessa sekä mahdollisuuksia ja uhkia ulkoisiin tekijöihin varautuen. Kiinteän polttoaineen käyttöön soveltuvan energiatuotannon vahvuuksia ovat ennen kaikkea polttoaineen edullisuus ja suuri kotimaisuusaste. Ratkaisun ensisijaisena heikkoutena on investoinnin korkea hinta ja ylläpitokustannukset. Investointiin on useimmiten sisällytettävä erillinen vara- ja käynnistyspolttoainejärjestelmä käytettäväksi vikatilanteissa ja lämpölaitoksen ylösajossa.

Taulukko 6. SWOT-analyysi kiinteiden polttoaineiden käyttämisestä teollisuudessa.



Ulkoiseksi tekijäksi luettava energiapolitiikka on antanut hyvät mahdollisuudet biomassan käyttämiseksi polttoaineena. Uhkana voidaan pitää kuitenkin puun päästöjen uudelleen arviointia ja biomassaa suosivan politiikan muuttumista. Joka tapauksessa kotimaisen biomassan käyttäminen on kansantaloudellinen etu. Tästä johtuen on epätodennäköistä, että käytöstä haluttaisiin luopua, vaikka Euroopan Unionin hiilidioksidipäästölaskelma puun osalta muuttuisikin. Suomessa biomassaa on saatavissa enemmän kuin on kysyntää, mistä johtuen käytön hinta määräytyy korjuu- ja kuljetuskustannuksien perusteella. Vaikka biomassan korjuutyö ja lämpölaitoksen ylläpito tuottavatkin enemmän kustannuksia kuin kaasulla tai öljyllä toimivan täysautomaattisen lämpökeskuksen ylläpito, tällä on paikallisesti työllistävä vaikutus. Työpaikkojen luominen energiatuotannon yhteyteen onkin yksi mahdollisuuksista, joita ei voida biopolttoaineista puhuttaessa sivuuttaa.

4 KANNATTAVUUS SUHTEESSA MUIHIN POLTTOAINEISIIN

Teollisuusyrityksen energialähteen valintaan vaikuttaa monta tekijää, jotka vaihtelevat riippuen muun muassa tuotantoalasta ja polttoaineen roolista tuotantoprosessissa. Tärkeimmät näkökohdat valittaessa teollisuuden energianlähdeä ovat säädösten täyttäminen, kustannustehokkuus ja luotettavuus. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään LNG:n osalta kutakin osa-aluetta.

4.1 Kustannusrakenne

Energiakustannus on useimmiten hyvin merkittävä menoerä tuotantoteollisuudessa. Polttoainekustannukset ovat tyypillisesti herkkiä globaaleille markkinahintojen vaihteluille ja energiaratkaisua valittaessa on yritettävä tarkastella hintanäkymiä pitkälle tulevaisuuteen. Polttoaineen hinnan lisäksi kustannuksia aiheutuu mahdollisista energiaveroista ja hiilidioksidiverosta. Pitkät välimatkat nostavat polttoaineen hintaa kuljetuskustannusten muodossa.

Mahdollista investointia arvioidaan käyttökustannusten perusteella. Investoinnin mahdollisuuteen vaikuttavat myös lainarahan saatavuus ja vallitseva korkokanta. Laitteiston laskennallinen käyttöikä on olennainen tekijä vuosittaisten poistojen laskemiseksi. Toimintavarmuus on polttoaineratkaisua valittaessa tärkeä tekijä, jota pitää tarkastella suhteessa tarvittavan kunnossapidon hintaan sekä mahdollisesta tuotantokatkoksesta aiheutuviin kustannuksiin.

4.1.1 Nesteytettyyn kaasuun liittyvät hintatekijät

LNG:n käytöstä maksettava hinta perustuu kolmeen päätekijään, jotka ovat polttoaineen alueellinen markkinahinta, valtion perimät energiaverot ja kuljetushinta kohteeseen. Logistiikkainfran kustannukset esittävät LNG-kuljetuksissa selkeästi suurempaa osuutta kuin öljykuljetuksissa, mikä johtuu monimutkaisemman kryotekniikan tarpeesta.

Suurten kaasumäärien siirtäminen on edullisinta kaasuputken välityksellä. Putkikaasun hinta nojaa kuitenkin pitkäaikaisiin sopimuksiin ja sitä on vaikea kilpailuttaa. Tästä

johtuen Venäjältä tulevan maakaasun hinta Suomessa on kansainvälisesti verraten suhteellisen korkea ja tämän tuontikaasun nesteyttäminen ei ole kilpailukykyistä. Kaasukenttien yhteydessä nesteyttämiseen tarvittava energia saadaan edullisesti ja myös suuren mittakaavan tuotantotehokkuus antaa kilpailuedun tuotantokustannuksissa. Suomessa myytävän LNG:n hinta perustuu näin ollen tukkuhintaan Euroopan suurissa tuontiterminaaleissa, paikalliseen energiaverotukseen sekä logistiikan ja jälleenmyynnin kustannuksiin.

Nesteytetyn biokaasun tuotanto on mahdollista putkiverkon tai erillisen biokaasulaitoksen yhteydessä. LBG:n hintaa määrittävät tuotetun biokaasun hinta sekä nesteytyksestä aiheutuvat kustannukset.

4.1.2 Laitteistoinvestointi

LNG:n tai LBG:n käyttämiseksi tarvittava laitteisto käsittää polttimien tai muun käyttölaitteiston lisäksi kryogeenisen varastoinnin sekä LNG:lle sopivan höyrystyslaitteiston. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen pystyrakenteinen kaksoisvaippainen tyhjöeristetty LNG:n asiakassäiliö ja höyrystinyksikkö. Kuvassa näkyvistä kuudesta höyrystimestä on normaalisti kolme kerrallaan käytössä, jolloin toiset kolme ovat varalla, mikäli käytössä olevat keräävät liikaa jäätä. Öljystä tai nestekaasusta maakaasuun vaihdettaessa muutoksia joudutaan tekemään myös polttimiin. (Maakaasuyhdistys 2009, 16-17)

Nestekaasupolttimien modifiointi maakaasulle sopivaksi on suhteellisen yksinkertaista ja normaalisti riittää suuttimien vaihto tai poltinpaineen säätö. Polttoöljystä kaasuun siirryttäessä vaaditut muutokset ovat laajempia ja voivat käytännössä tarkoittaa polttimien, putkistojen ja koko oheisjärjestelmän uusintaa. Poltinasennusten ja modifiointien hinta vaihtelee erään alan toimijan mukaan 5 000 ja 50 000 euron välillä riippuen teholuokasta ja edellisen järjestelmän tyypistä. Jäljempänä havaitsemme, että molemmista päistä voidaan kuitenkin mennä yli. Tämän tutkimuksen laskuesimerkkiosiossa toteutuva hintavaihtelu on 0 – 64 000 euroa.



Kuva 3. Linköpingissä sijaitseva 53 m³:n LNG-varasto, jolla varmistetaan kaasun saatavuus biometaanin liikennetankkausasemalla. (Maakaasuyhdistys 2009, 16)

Asiakkaan tarvitseman LNG-säiliön tilavuus määräytyy käyttötarpeen ja logistiikan asettamin reunaehdoin. Suositeltava säiliön koko on noin viikon kaasutarvetta vastaava, kuitenkin niin, että kuljetusrekka voi purkaa koko kuormansa kerralla siihen. Tarvittavasta kaasun paisuntatilasta johtuen varastosäiliön maksimitäyttöaste on 90 %. Lämpövuotojen aiheuttama maakaasun höyrystyminen (engl. *boil off*) on päivää kohden noin 0,12 – 0,25 % säiliön kapasiteetista. Tämä on kaasun vähimmäismääräinen keskikulutus, jotta höyrystyminen säiliössä ei kasva liian suureksi, mikä aiheuttaisi ulosvuodatuksen. Asiakaskokoluokan LNG-säiliöt kestävät kuitenkin painetta 8 – 12 bar, joten käyttökatkos voi käytännössä olla useita päiviä ilman varoventtiilin

avautumistarvetta. Useimpiin asiakaskohteisiin soveltuva säiliökoko on 70 – 100 m³. Määräykset täyttävän säiliön hinta tässä kokoluokassa on noin 140 000 – 150 000 €. (Maakaasuyhdistys 2009, 16)

LNG:n höyrystäminen (engl. *regasification*) kylmissä ja kosteissa olosuhteissa edellyttää höyrystimen mitoitusta riittäväksi huomioiden jään kerääntyminen lämmönsiirtopinnoille. Haasteellisimmat olosuhteet esiintyvät lähellä nollan asteen lämpötilaa, jolloin ilman suhteellinen kosteus on korkea ja huurteen kerääntyminen mittavaa. Käytännössä toimivaksi todettu ratkaisu on kahden höyrystimen vuorottainen käyttö, jolloin toinen höyrystimistä voidaan jättää sulamaan, kun jäätä on kertynyt lämmönsiirtoa heikentävästi. Tyypillinen 300 m³/h kapasiteetin höyrystin maksaa noin 30 000 € ja näin ollen kahden höyrystimen yksikön hinnaksi muodostuu 60 000 €.

LNG-säiliön ja höyrystimen asentamiseksi tarvitaan betoninen pohjalaatta, joka kantaa säiliön kuorman. Säiliön toimitus joudutaan suurten mittojen vuoksi järjestämään erikoiskuljetuksena, jonka kustannus on noin 10 000 €. Säiliön pystyyn nostamiseksi tarvitaan kaksi nosturiautoa, joiden vuokrahinta on samaa luokkaa kuin kuljetuskustannus. Asennustyö tapahtuu 2 – 3 asentajan tekemänä parissa työpäivässä, mikäli pohjalaatta ja muut alustavat toimenpiteet on tehty valmiiksi.

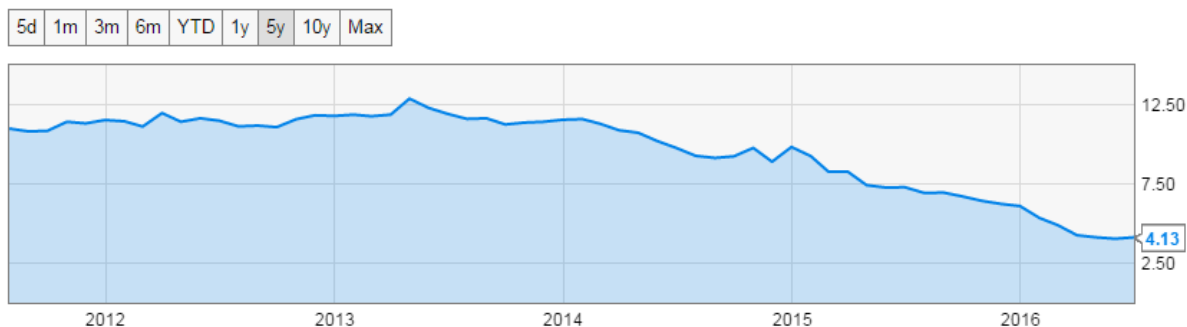
Taulukko 7. LNG-investoinnin hinta-arvio. Pohjatiedot perustuvat haastatteluihin alan yrityksissä. Mainitun asennustyön hinnan laskentaperusteena on käytetty 32 – 72 henkilötyötuntia.

	Arvioitu hinta [€]	Laskennallinen hintakeskiarvo [€]
LNG-säiliö	140 000 - 150 000	145 000
Höyrystimet	2 x 30 000	60 000
Pohjalaatta	35 000 - 40 000	37 500
Kuljetus	9 000 - 12 000	10 500
Nosturivuokra	10 000 - 12 500	11 250
Asennustyö	1 280 - 2 880	2 080
Poltinmodifiointi	5 000 - 50 000	27 500
Putkistot, sähkötyöt	2 000 - 20 000	11 000
<i>Yhteensä</i>		<i>304 830</i>

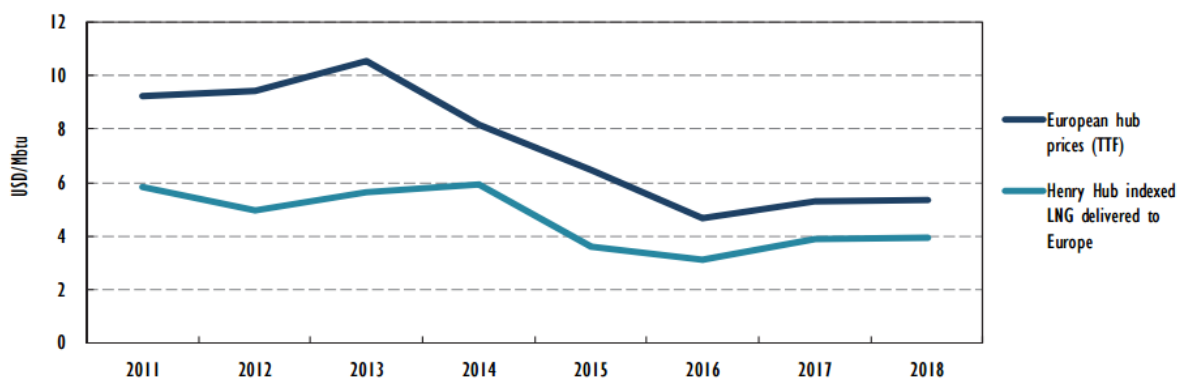
Taulukkoon 7 on kerätty LNG-investointiin liittyvät toteutuskustannukset. Keskimääräinen investointihinta alle 3 megawatin laitokselle on laskelman mukaan noin 300 000 €. Esitetyt laitekomponenttien valinnat edustavat kuitenkin pienintä järkevästi suunniteltua kokoluokkaa. Esiselvityksessä laitteistoinvestoinnin alkuarviona voidaan pitää 400 000 euroa, mikäli teholuokka ja tarvittava varastokapasiteetti kasvavat. Kustannuslaskelmassa ei myöskään huomioitu kaikkia polttoainemuutokseen liittyviä kustannuksia kuten esimerkiksi lupa-asioita ja energiaratkaisun suunnittelua. Pidettäessä lähtöoletuksena välttämättömyyttä polttoainejärjestelmän uusimiselle asiakas joutuisi maksamaan näistä valitessaan minkä tahansa polttoaineratkaisun. Sivukulujen kanssa avaimet käteen -kokonaisratkaisun hinta voi helposti kivuta puoleen miljoonaan, joka on joidenkin laitetoimittajien yleisarvio investointikustannuksesta.

4.1.3 LNG:n markkinahinta

Nesteytetyn maakaasun markkinahinta seuraa jossain määrin raakaöljyn hintaa, mutta on kuitenkin selkeästi vakaampi kustannusjakauman painottuessa enemmän infrastruktuurin kustannuksiin. Maakaasun keskimääräinen hinta Euroopan kaasuverkossa on esitettynä kuvaajassa 3 ja samanaikainen LNG:n hinta esitetään hieman karkeammin kuvaajalla 4. Kuvaajista nähdään putkiverkkokaasun hinnan olevan aavistuksen LNG:n hintaa ylempänä, mutta hinnat seuraavat toisiaan hyvin pitkälti. LNG:n viimeisin vuonna 2016 toteutunut pörssihinta on noin 4,50 USD/MBtu, mikä on käytännöllisempään energiayksikköön muutettuna noin 14 €/MWh. On kuitenkin huomattava, että laskettu hinta on viiden vuoden tarkastelujakson pohjahinta ja aikajakson keskimääräinen hinta on noin kaksinkertainen. Skangasin esittämä LNG:n myyntihinta vuonna 2014 tehdyn ennusteen mukaisesti olisi Suomessa 45 – 59 €/MWh (Mattila, 2014).



Kuvaaja 3. Maakaasun tuontihinta Euroopan Unioniin yksikössä USD/MBtu. (Ycharts)



Kuvaaja 4. LNG:n hinta Euroopan terminaaleissa (TTF) sekä Henry Hub -kaasun hinta huomioituna kuljetuskustannus Yhdysvalloista Eurooppaan. (Medium-Term Gas Market Report 2016)

Kuljetuksen tuomasta lisäkustannuksesta johtuen LNG:n ensisijaista kohdemarkkinaa eivät ole kaasuputkiverkon alueella toimivat yritykset. Rakennettavat LNG-terminaalit mahdollistavat kuitenkin Venäjältä tuotavan putkikaasun kilpailuttamisen ja näin hinnat tulevat todennäköisesti olemaan lähellä toisiaan.

4.1.4 Muut käyttökustannukset ja verotus

LNG:n höyrystyslaitteisto, mikä käsittää säiliön ja höyrystimen, on pitkäikäinen ja hyvinkin huoltovapaa. Säiliön kestävä tyhjiörakenne ruostumatonta terästä olevalla kuorella tarjoaa käyttöäksi parhaimmillaan jopa 30 – 40 vuotta. Osa säiliövalmistajista antaa käyttöäksi kuitenkin vain 10 – 20 vuotta. Laskennallisena käyttöikäenä voidaan

kuitenkin useimmissa tapauksissa pitää 25 vuotta. Valmistajan antaman käyttöiän lisäksi on huomioitava kansalliset määräykset ja vaaditut viranomaishyväksynät. Säiliö on tarkastettava kahden vuoden välein, mutta kuluvia osia järjestelmässä ei juuri ole. Kunnossapitokustannus on näin ollen varsin edullinen verrattuna kiinteiden tai öljyperäisten polttoaineiden vastaaviin säilytys- ja käyttöjärjestelmiin.

Maakaasun verotus muodostuu energiasäiltöverosta, hiilidioksidiverosta ja huoltovarmuismaksusta. Lisäksi tulee arvonlisävero, joka lasketaan myös edellä mainituista energiaveroista. Energiaverojen ja huoltovarmuismaksun hinta maakaasulle on 1.1.2016 lähtien ollut taulukon 8 osoittama 17,424 €/MWh (alv 0 %).

Taulukko 8. Maakaasun valmistevero ja huoltovarmuismaksu 1.1.2016 lähtien.

Maakaasun	
- Energiasäiltövero	6,65
- Hiilidioksidivero	10,69
Huoltovarmuismaksu	0,084
<i>Yhteensä, alv 0 %</i>	<i>17,424</i>
<i>Yhteensä, alv 24 %</i>	<i>21,606</i>

Kaasun loppukäyttäjällä on mahdollisuus rekisteröityä maakaasun rekisteröidyksi käyttäjäksi, jolloin tämä voi ostaa kaasun verottomana ja maksaa valmisteveron ainoastaan verotukselliseen käyttöön sovellettavasta määrästä.

Maakaasu on valmisteverotonta ja huoltovarmuismaksutonta:

- 1) Käytettäessä teollisessa tuotannossa raaka-aineena tai apuaineena taikka välittömässä ensikäytössä tavaran valmistuksessa.
- 2) Käytettäessä energianlähteenä öljynjalostusprosessissa.
- 3) Käytettäessä sähköntuotannossa tai erillisen sähköntuotannon ylösajossa, alasajossa tai tuotantovalmiuden ylläpitämisessä.

Mikäli maakaasua käytetään yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa, hiilidioksidiverosta myönnetään 50 % alennus. Biokaasulle ei sovelleta mitään energiaveroja huolimatta käyttötavasta. (Tullihallitus 2010)

4.2 Ympäristövaikutukset

Euroopan Unionin direktiivit ja kansalliset lait määrittävät päästöjen sallitut maksimirajat, joiden puitteissa yritysten tulee toimia. Lisäksi tuotantoprosessi asettaa omat edellytyksensä; esimerkkinä tapaukset, joissa tuote on välittömässä yhteydessä savukaasuun, polttoaineen ja palamisen puhtauden kriteeri on korkea.

Taulukko 9. Fossiilisten polttoaineiden ja hitaasti uusiutuvaksi luokiteltavan turpeen CO₂-päästökertoimet. Polttoaineen tuotannon, raaka-aineen hankinnan tai kuljetuksen välillisiä päästöjä ei huomioitu. (Motiva 2012, 6)

Polttoaineet	kgCO ₂ /MWh
Raskas polttoöljy	284
Kevyt polttoöljy	261
Maakaasu	198
Nestekaasu	234
Turve	381

Taulukossa 9 esitetään teollisuuden energiatuotantoon soveltuvien fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästökertoimet. Maakaasun hiilidioksidipäästöt ovat alhaisimmat suhteessa vertailupolttoaineisiin, sillä maakaasun sisältämän vedyn osuus on suurempi kuin vertailupolttoaineilla. Muiden savukaasupäästöjen osalta maakaasun ja nestekaasun päästöarvot voidaan olettaa likimain samoiksi. Taulukossa 10 esitetään polttoainekohtaiset hiukkas-, typpioksidi- ja rikkidioksidipäästöt. Arvot ovat tilastotietoa Suomessa käytössä olevista laitoksista. Polttoöljyjen ja maakaasun poltinpolton päästöarvot pätevät 5 – 15 MW kattiloihin. Kiinteiden polttoaineiden päästöt perustuvat arina- tai kerrosleijupolttoon 5 – 50 MW kattiloissa. Kiertoleijukattiloiden päästöt ovat samojen rajojen sisällä mutta tilastotietoa löytyy vasta 20 MW:sta ylöspäin. Taulukon arvoja verrattaessa toisiinsa havaitaan maakaasun olevan rikki- ja hiukaspäästöjen osalta

täysin puhdas polttoaine. Myös typpioksidipäästöt ovat selkeästi alhaisemmat kuin muita vertailtavia polttoaineita poltettaessa. (Suomen ympäristökeskus 2003, 16 – 18)

Taulukko 10. Hiukkas-, NO_x- ja SO₂-päästöjen vertailu poltinpoltossa teholuokassa 5-15 MW ja arina- tai kerrosleijupoltossa teholuokassa 5-50 MW. Osassa polttimia on käytössä low-NO_x-polttotapa ja kiinteiden polttoaineiden poltossa hiukkaspäästöihin vaikuttava sykloni- tai sähkösuodatin. (Suomen ympäristökeskus 2003, 16 – 18)

Polttoaine		Poltinpoltto 5-15 MW			Arina / Kerrosleiju 5-50 MW	
		Raskas polttoöljy	Kevyt polttoöljy	Maakaasu	Turve	Puu
NO _x (osassa low-NO _x -poltto)	mg/MJ	150-250	100-150	60-100	80-250	70-200
SO ₂	mg/MJ	350-500	50-70	0	150-250	< 30
Hiukkaset (sykloni/sähkök.)	mg/MJ	10-70	< 10	0	5-120	5-150

4.3 Käyttö- ja toimitusvarmuus

Energiansaannin luotettavuus on yksi tärkeimmistä kriteereistä tuotantoteollisuudessa. Tuotannon keskeytyksettömän toiminnan takaamiseksi on varmistuttava polttoaineen jatkuvasta saatavuudesta ja polttoaineen käyttöön välttämättömän laitteiston toimintavarmuudesta.

LNG-laitteiston toimintavarmuutta voidaan pitää hyvänä, sillä siinä ei varsinaisesti ole liikkuvia tai kuluvia osia. Höyrystimen jäätyminen on kuitenkin asia, joka tulee ottaa huomioon, kuten laitteistoa määriteltäessä tehtiin. Kaksinkertaiset höyrystimet ovat normaalisti riittävä varautuminen, mutta poikkeuksellisen jäätävien olosuhteiden jatkuessa pidempään voidaan joutua turvautumaan höyrystimen höyrysulatukseen. Myös sulaaessaan irtoavan jään poistaminen höyrystimien alta voi olla tarvittava toimenpide.

Polttoaineen toimitusvarmuuden voidaan nähdä parantuneen huomattavasti Poriin valmistuneen tuontiterminaalin myötä. Nyt Porvoon nesteytyslaitos ei enää vastaa yksin koko Suomessa käytettävästä LNG:stä. Vikatilanteissa LNG:tä voidaan kuljettaa rekoilla pitkiäkin matkoja. Näin ollen toimintakeskeytys Porvoon nesteytyslaitoksella tai vakavan vikatilanteen aiheuttama terminaalin sulkeminen ei aiheuta välitöntä toimituskatkosta. Toimitusvarmuus tulee parantumaan edelleen vuonna 2018 Tornioon avattavan

terminaalin myötä. Terminaalien varastokapasiteettia rakennetaan tämän hetkiseen kulutukseen nähden erittäin riittävästi eli huoltovarmuutta voidaan pitää hyvänä myös merilogistiikan ongelmatilanteissa.

5 MALLILASKELMA ELINTARVIKETEOLLISUUTEEN

Tässä luvussa esitetään laskelma LNG:stä Huittisissa sijaitsevan Huhkolan teollisuusalueen energiaratkaisuna. Kartoituksessa pohditaan kannattavuuden muuttumista, mikäli investointi tehdään useamman yrityksen yhteiskäyttöön. Laskelmassa mukana ovat elintarviketeollisuuden yritykset Kivikylän Kotipalvaamo ja Saarioinen sekä prosessihöyryä ja kaukolämpöä tuottava Adven.

Tutkimuksessa kartoitetaan nykyinen polttoaineen kulutus, ratkaisun vuosikustannus ja arvioidaan päästöt käytettyjen polttoaineiden mukaan. Mahdolliset polttoainevaihtoehdot käydään läpi yritysten erityistarpeet huomioiden ja lasketaan maakaasuun perustuvan energiaratkaisun hinta. LNG:n kilpailukykyä arvioidaan erityisesti suhteessa nestekaasuun. Laskelma pyritään toteuttamaan kaikki osapuolet huomioiden ja tarjoamalla kohteeseen ratkaisua, joka toisi etuja jokaiselle energiaratkaisun osapuolelle.

5.1 Nykyinen energiamalli

Nykyisessä toimintamallissa Kivikylän Kotipalvaamo tuottaa itse prosessihöyryn omaan käyttöönsä vuokratulla nestekaasulaitteistolla. Saarioinen sen sijaan ostaa prosessihöyrynsä Advenin lämpölaitoksesta. Liiketoiminnallisesti katsottuna Saarioisten energiatarve tulee siis huomioida Advenin näkökulmasta, koska ulkoistuksen myötä Adven tekee päätökset, mikä on kannattava ratkaisu prosessihöyryn tuottamiseksi.

Kuvassa 4 on esitettyinä yritysten sijoittuminen kartalle. Kivikylän Kotipalvaamolta on matkaa noin 300 m Advenin lämpölaitokselle ja Saarioisten tehtaalle. Advenin lämpölaitoksen ja Saarioisten tehtaan välimatka on noin 200 m.



Kuva 4. Tarkasteltavien yritysten sijoittuminen Huhkolan teollisuusalueelle Huittisissa.

5.1.1 Kivikylän Kotipalvaamo

Kivikylän Kotipalvaamon Huittisten toimipisteessä energiaratkaisu on päivitetty nestekaasukäyttöiseksi vuonna 2014. Energiantuotanto tapahtuu vuokralaitteilla, joilla olisi arviolta noin 30 vuotta käyttöikää jäljellä. Erityistä tarvetta energiaremontille ei siis ole. Kuvassa 5 on esitettyä Kivikylän Kotipalvaamon vuokraama SteamRator -lämpökontti.



Kuva 5. SteamRator -lämpökontti Kivikylän Kotipalvaamon Huittisten tehtaalla.

Prosessihöyry tuotetaan lämpökonttiin rakennetulla höyrykattilajärjestelmällä. Järjestelmään kuuluu kaksi kappaletta kuvassa 6 näkyviä kaasupolttimia. Näiden maksimaalinen yhteisteho on 2 MW. Keskimääräiseksi tehontarpeeksi on kuitenkin arvioitu 0,6 MW. Vuoden 2015 nestekaasun kokonaiskulutus on ollut 149 182 kg. Energiakäytön vuosikustannukset prosessihöyryn osalta vuonna 2015 on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Nestekaasun kustannukset vuonna 2015.

Vuosikulutus (kg)	Polttoaine- kustannus (€, alv 0 %)	Keskihinta (€/kg)	Laitteiston vuokra- ja huoltokustannus (€)	Vuosikäytön kokonaiskustannus (€/MWh, alv 0 %)
149182	64822	0,4345	25296	47,08

Tehtäessä hintaennustetta tuleville vuosille on tarkasteltava kaasun hinnoitteluperusteita. Nestekaasun hinta on riippuvainen raakaöljyn hinnasta, mutta Kivikylän kokemusten perusteella hinta on ollut nousujohteinen, vaikka raakaöljyn hinta on parhaillaan alhaalla. Vuoden 2016 alusta nestekaasulle lisätty valmistevero selittää viimeisintä hinnan nousua.

Nestekaasuhintojen historiaa tutkittaessa voidaan todeta vuoden 2012 hintataso nykyisen valmisteveron kanssa reilusti yli kaksinkertaiseksi verrattuna vuoden 2015 keskiarvohintaan. On oletettavaa, että raakaöljyn hinta tulee nousemaan nykyisestä, ja toisaalta veromuutos on pysyvä, joten nestekaasun hinnan voidaan ajatella säilyvän vähintään nykyisellä tasolla ja todennäköisesti nousevan. Nykyisellä hintatasolla tehty arviolaskelma tulevien vuosien kustannuksista on esitetty taulukossa 12.



Kuva 6. Kaasupoltin Kivikylän Kotipalvaamon lämpökontissa.

Taulukko 12. Nestekaasun kustannusodote tuleville vuosille.

Vuosikulutus (kg)	Polttoaine- kustannus (€, alv 0 %)	Viimeisin hintaa (€/kg)	Laitteiston vuokra- ja huoltokustannus (€)	Vuosikäytön kokonaiskustannus (€/MWh, alv 0 %)
149182	90882	0,6092	25296	60,70

5.1.2 Saarioinen ja prosessihöyryn toimittaja Adven

Saarioisten Huittisissa käyttämä prosessihöyry ostetaan naapurissa sijaitsevasta Advenin kattilalaitoksesta, joka on esitetty kuvassa 7. Advenin lämpölaitos tuottaa prosessihöyryn

lisäksi myös kaukolämpöä Huittisten kaupungille. Adven käyttää ensisijaisena polttoaineena turvetta ja haketta. Varapolttoaineena toimii raskas polttoöljy, jonka osuus on noin 10 % kokonaisenergiatuotannosta. Valtioneuvoston asetus pienten polttolaitosten päästöistä (750/2013) tuo vaatimuksen muutoksista laitoksen varapolttoaineen osalle, jotta tulevat päästöraajat voidaan alittaa. Varapolttoaineen käyttö on noin 3 GWh vuodessa ja maksimiteho 11 MW. Laitoksella on kaksi varakattilaa, joista toisessa on 5 MW ja toisessa 6 MW raskas polttoöljypoltin.



Kuva 7. Advenin lämpölaitos, joka tuottaa prosessihöyryä Saarioisten tehtaalle ja kaukolämpöä Huittisten kaukolämpöverkkoon.

5.2 Mahdolliset vaihtoehdot

Taloudellisen kilpailukyvyn kannalta parasta polttoainevaihtoehtoa etsittäessä voidaan todeta kiinteän biomassan polttamisen olevan kiistatta edullisin perusvoimanlähde olemassa olevalla Advenin kattilalaitoksella. Kiinteän biomassan hinta on vertailupolttoaineisiin nähden edullinen ja hiilidioksidipäästöjä voidaan alentaa hakkeen osuutta kasvattamalla. Kiinteän polttoaineen kattilat täyttävät suunnitteilla olevat päästöraajat, mutta varakattiloille muutokset ovat välttämättömiä. Varteenotettavina

tulevaisuuden varavoimavaihtoehtoina voidaan pitää kevyttä polttoöljyä, nestekaasua ja LNG:tä. Tarvittavan investoinnin hinta on pienin käytettäessä polttoöljyä ja vastaavasti suurin valittaessa LNG. Polttoaineen hinnasta muodostuva käyttökustannus on kuitenkin päinvastainen kyseisten polttoainevaihtoehtojen kohdalla, minkä takia käyttökustannusten laskeminen on oleellisen tärkeää.

Kivikylän Kotipalvaamolla ei ole ulkopuolelta tulevia vaatimuksia tehdä muutoksia nykyiseen nestekaasuun perustuvaan energiaratkaisuunsa, mutta energialähteen vaihtoa voidaan suositella, mikäli löytyy edullisempi vaihtoehto. Tarkasteltavat vaihtoehdot rajautuvat liiketoimintaan Advenin kanssa, koska Kivikylän Kotipalvaamon energiakäyttö ei ole riittävä suurten investointien tekemiseksi. Ensisijaisena vaihtoehtona voisi pitää prosessihöyryn ostamista kokonaisuudessaan Advenin laitoksesta, jossa se voitaisiin valmistaa käyttäen edullisempia polttoaineita. Toinen vaihtoehto tulisi mahdolliseksi Advenin investoidessa LNG:hen oman laitoksensa varavoimanlähteenä. Kivikylän Kotipalvaamo voisi tällöin investoida kaasuputkeen ostaakseen edullisempaa maakaasua Advenin LNG-säiliöstä. Kivikylän oma käyttö on joka tapauksessa niin pientä, että kalliinpuoleisen LNG-järjestelmän hankkiminen heille yksistään ei ole kannattavaa.

5.3 LNG energiaratkaisuna

LNG:tä olisi mahdollista käyttää kummankin yrityksen omassa energiatuotannossa, mutta kannattavampi vaihtoehto voisi olla saman LNG-laitteiston hyödyntäminen, jolloin investoinnin kustannukset olisivat pienemmät osakasta kohden. Liiketoiminnan kannalta ajatellen kiinnostaa tietysti, kuka laitteistot omistaisi. Energian tuotanto on Saarioisten osalta jo valmiiksi ulkoistettu Advenille, joka etsii parhaillaan ratkaisua varakattiloiden päästöjen vähentämiseen. Olisi tällöin luontevaa ajatella Adven toimijaksi, joka investoisi LNG-infraan ja myisi asiakkailleen kaukolämmön ja prosessihöyryn lisäksi maakaasua.

Saarioisten energiatarve hoidetaan prosessihöyryllä eikä tarvetta kaasun kohdekäytölle ole nähtävissä. Kivikylän Kotipalvaamo sen sijaan on pitänyt parempana vaihtoehtona

prosessihöyrylaitteiston vuokraamista ja tarvitsemansa höyryn tuottamista itse kuin investoimalla höyryputkistoon ja ostamalla höyryn Advenilta. Kivikylän Kotipalvaamon käyttämä polttoaine nestekaasu ei kuitenkaan ole edullisin mahdollinen. Maakaasulla tuotettu prosessihöyry olisi edullisempi ratkaisu, mikäli kaasu pystyttäisiin toimittamaan järkevästi. Höyryputkiston rakentamista edullisempi investointi olisi maakaasuputken vetäminen Advenin toimipisteestä. Tämä olisi mahdollista, mikäli Adven tekisi investointipäätöksen LNG:stä varapolttoaineena ja olisi halukas myymään kaasua saadakseen lisätuottoa investoinnille.

Polttoaineita vertailtaessa 3. ja 4. luvussa todettiin yritysten päätöksissä ensimmäisenä kriteerinä olevan mahdollisten ratkaisujen hinta, joka koostuu investoinnin kustannuksesta ja käyttökustannuksesta, mikä tyypillisesti riippuu polttoaineen hinnasta. Seuraava tutkimuksen vaihe on laskea, paljonko LNG-järjestelmä tulisi maksamaan Kivikylän Kotipalvaamon, Saarioisten ja Advenin mahdollisessa liiketoimintasymbioosissa.

5.3.1 LNG-laitteistoinvestoinnin kustannus Advenille

Advenin lämpölaitoksessa joudutaan lähitulevaisuudessa tekemään muutoksia koskien käytettyä varapolttoainetta, sillä raskasta polttoöljyä ei voida käyttää laitoksessa 1. tammikuuta 2018 voimaan astuvan pieniä polttolaitoksia koskevan asetuksen myötä. Lakimuutos laskee nykyisin sallitun rikkidioksidipäästön arvon 1700 mg/m^3 arvoon 350 mg/m^3 . Uusi laki tulee kuitenkin sallimaan rikkidioksidipäästön 850 mg/m^3 vara- ja huippukuormakattiloista, joita Advenin polttoöljykattilat ovat. (Finlex)

Ympäristöystävällisyyden kannalta vertailtuna maakaasu on selkeästi suositeltavampi polttoaine kuin raskas polttoöljy, mutta myös turpeeseen verrattuna edut ovat selkeät. Kotimainen hake on kuitenkin hiilidioksidipäästöjen kannalta kaasua parempi, mikäli vertailtavana kaasuna on fossiilinen LNG eikä biomassasta valmistettu LBG. Joka tapauksessa kiinteät polttoaineet hake ja turve ovat maakaasua edullisempia ja Advenilla on toimiva järjestelmä kiinteän biomassan käyttämiseksi. Näin ollen ainoastaan varapolttoaineen korvaamisesta ollaan kiinnostuneita. Lasketaan siis, paljonko Advenille

kustantaisi investointi LNG:hen varapolttoaineen osalta. LNG-järjestelmä vaatii vähintään viikoittaista käyttöä, sillä muuten säiliön paine nousee liikaa lämpövuodoista johtuvan höyrystymisen seurauksena. Mikäli Adven voisi myydä höyrystettyä kaasua jonkin toisen alueella sijaitsevan yrityksen tarpeisiin, riittävä kulutus saataisiin varmistettua. Tehdään investoinnin laskelma oletuksella, että Kivikylän Kotipalvaamo investoi kaasuputkeen ja ostaa käyttämänsä nestekaasun sijasta maakaasua Advenin säiliöstä. Tällöin kokonaiskulutus olisi 5 GWh vuodessa ja maksimiteho 13 MW.

Investoinnin kustannus laskettiin pienelle asiakasmodifikaatiolle likimääräisesti luvussa 4.1.2. Tehtyyn laskelmaan tulee kuitenkin tarkennuksia tarvittavan kokoluokan ja poltinasennusten hintaeroista johtuen. Tarvittava 13 megawatin huipputeho asettaa vaatimuksen isomman kapasiteetin höyrystimistä. Normaalisti säiliön kapasiteetti tulee laskea siten, että maksimiteholla voidaan päästä noin viikon täydennysväliin. Kyseessä on kuitenkin varapolttoaine, joten polttoaineen säiliökapasiteetti on syytä minimoida boil off -ilmiön ja säiliöinvestoinnin madaltamiseksi. Mitoitetaan tässä tapauksessa säiliö niin, että maksimiteholla ajettaessa polttoaine riittää kahdeksi päiväksi ja rekkalastillinen polttoainetta toimitetaan päivittäin. Säiliön kapasiteetti voidaan laskea yhtälöstä (1). Pyöristetään tulosta ylöspäin ja valitaan säiliöksi 125 m³:n pystysäiliö, jonka hinta-arvio on 170 000 €.

$$V_{\text{säiliö}} = \frac{P_{\text{maks}} * t_{\text{varaston kesto}}}{LHV_{CH_4} * \rho_{LNG} * k_{\text{käyttöaste}}} \quad (1)$$

$$V_{\text{säiliö}} = \frac{13 \text{ MW} * 24 \text{ h/vrk} * 2 \text{ vrk}}{13,7 \text{ MWh/t} * 0,42 \text{ t/m}^3 * 0,90} = 120,5 \text{ m}^3$$

Poltinmodifikaatio Advenille tarkoittaisi käytännössä koko järjestelmän uusimista, koska maakaasu on täysin erilainen polttoaine kuin raskas polttoöljy. Kaasupolttimet kokoluokassa 5 – 6 MW maksavat karkean arvion mukaan 10 000 – 20 000 €. Lisäksi kustannuksia tulee kaasupolttimen oheisjärjestelmästä, joka käsittää sähköisen seossäädön eli O₂-automaatiikan, ryhmäkeskuksen, kaasuputkistovarusteet ja kattilavarusteet. Erään laitetoimittajan laskelman mukaan 5 MW kaasupoltin

oheisjärjestelmiseen maksaisi noin 30 000 € ja 6 MW kaasupoltin oheisjärjestelmiseen noin 34 000 €. Lisäksi kustannuksia tulee putkistojen vetämisestä, venttiileistä ja asennustyöstä. Taulukossa 13 on esitetty arvio LNG-järjestelmän investointikustannuksista Advenin lämpölaitoksen varapolttoainejärjestelmänä.

Taulukko 13. Hinta-arvio Advenille räätälöidystä LNG-järjestelmästä.

<u>Säiliöhöyrystinyksikkö</u>	Arvioitu hinta [€]
LNG-säiliö	170 000
Höyrystimet	120 000
Pohjalaatta	39 500
Kuljetus	11 000
Nosturivuokra	12 000
Asennus	2 100
Instrumentointi ja sähköistys	10 000
<u>Poltinmodifiointi</u>	
Poltinjärjestelmä	64 000
Poltinasennukset	1 600
<u>Muut investoinnit</u>	
Kaasuputkisto	20 000
Venttiilit, tarvikkeet	4 500
<i>Yhteensä</i>	<i>452 600</i>

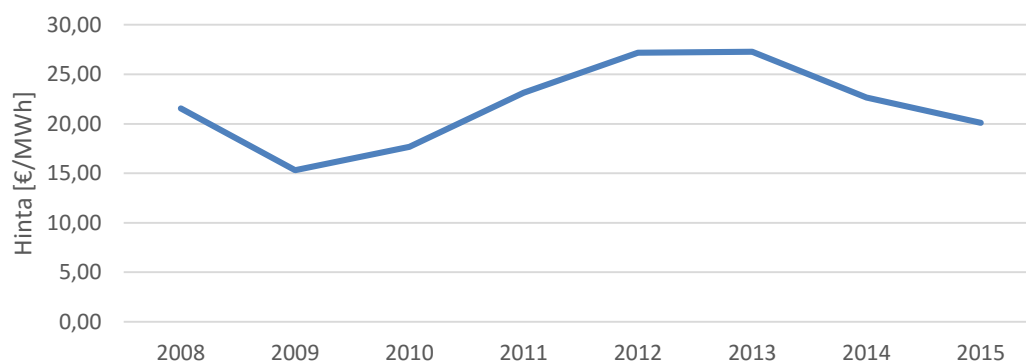
Lasketaan investoinnille yhtälön (2) mukaisesti vuosimaksu eli annuiteetti kuuden prosentin korkokantaan perustuen. Laitteiston käyttöiäksi arvioidaan 25 vuotta.

$$A = I * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

$$A = 452\,600 \text{ €} * \frac{0,06 * (1 + 0,06)^{25}}{(1 + 0,06)^{25} - 1} = 452\,600 \text{ €} * 0,0782267 = 35\,405 \text{ €}$$

Käyttökustannus riippuu LNG:n hinnasta Porin terminaalissa ja kuljetuskustannuksesta Huittisiin. Järjestelmä on hyvinkin huoltovapaa eli säännöllisiä huoltoja ei varsinaisesti ole. Budjettiin kannattaa kuitenkin lisätä varmuusvaraksi 1000 – 2000 €/vuosi huoltojen

ja 2 vuoden välein vaadittujen säiliötarkastusten varalle. Polttoainekustannus tulee arvioida pitkältä seurantajaksoilta tehdyn hintaennusteen mukaan. Kuvaaja 3 osoittaa tuonti-LNG:n hintakehityksen Euroopan Unionin keskiarvona kahdeksan vuoden ajalta. Tehtaessa investointipäätöstä pyritään määrittämään arvio polttoaineen keskihinnasta laitteiston eliniälle. 25 vuotta on energiamarkkinoilla pitkä aika ja IEA:n tilastosta nähdään ainoastaan kahdeksan vuoden historia. Tehdään hintakeskiarvosta kuitenkin kolme arviota, jotka esitetään taulukossa 14. Arvio 1 on matalan hintakehityksen arvio, mikä tarkoittaisi hinnan pysyvän keskimääräisesti samana kuin tarkastellulla historiajaksolla. Arvio 3 esittää korkean hinnan arvioita, jossa historiajakson korkein vuosikeskiarvo tulisi tulevaisuuden jatkuvaksi keskiarvoksi. Arvio 2 on laskettu käyttäen matalan ja korkean hinta-arvion keskiarvoja. Asiakkaalle Huittisiin toimitettavan kaasun hintaan tulee lisätä energiaverot ja kuljetuskustannukset. Kuljetuskustannus käsittää laivarahdin Euroopan suurista terminaaleista Porin terminaaliin, terminaalia ylläpitävän yhtiön myyntikatteen ja maantiekuljetuksen kustannuksen 92 km:n matkalta. Kuljetuksen ja jälleenmyynnin hinta-arviona esitetään 5 – 9 €/MWh. Tulevaisuuden hintakehitysarviossa lähdetään vaihteluvälin keskiarvosta ja oletetaan laitteiston eliniän aikaisen keskiarvon nousevan maksimissaan esitettyyn yläraja-arvoon.



Kuvaaja 3. LNG:n keskimääräinen tuontihinta Euroopan Unionin jäsenmaihin. Koko aikajakson keskiarvohinta on 21,86 €/MWh. (Natural Gas Information 2016, IV.9)

Taulukko 14. LNG:n hinta-arvio asiakkaalle kuljetettuna. Kaikki hinnat arvonlisäverottomia.

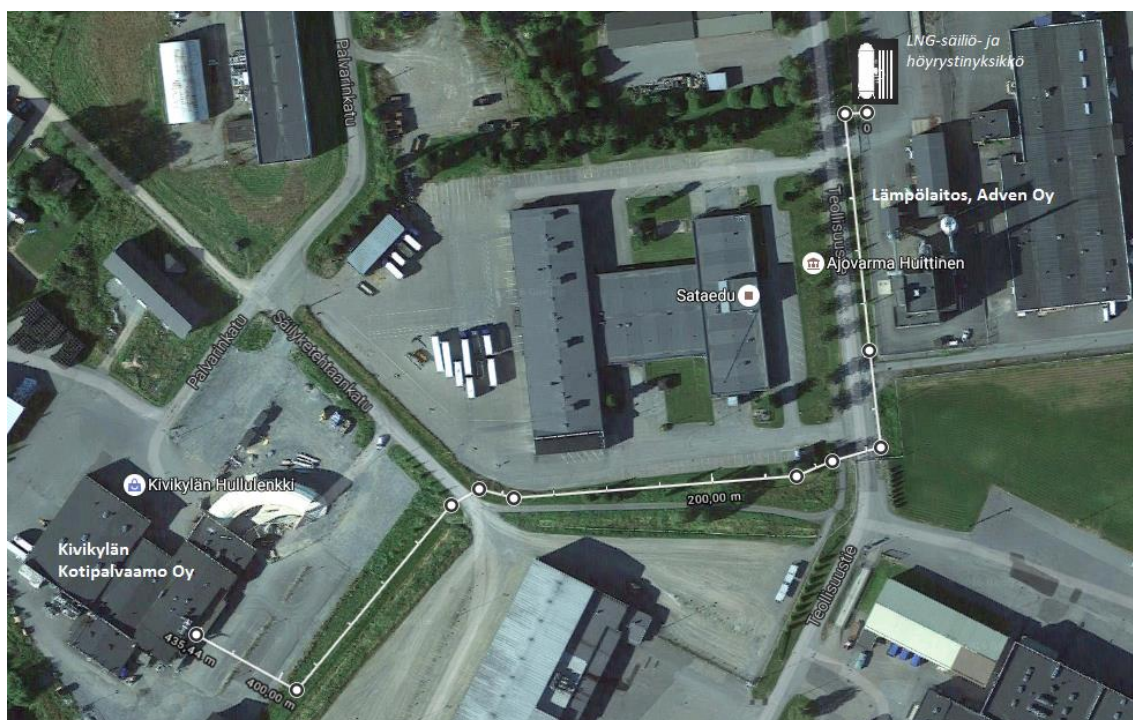
	Nykyinen hinta (€/MWh)	Tulevaisuuden hintakehitys (€/MWh)		
		Arvio 1	Arvio 2	Arvio 3
Eurooppalainen kaasuindeksi	14	21,86	24,57	27,28
Välityskustannus asiakkaalle	7	7	8	9
Energiaverot	17,424	17,424	17,424	17,424
<i>Yhteensä</i>	<i>38,42</i>	<i>46,28</i>	<i>49,99</i>	<i>53,70</i>

LNG:hen perustuvan energiaratkaisun kokonaishintaa määritettäessä tulisi käyttää hinta-arvioita, jotka on tehty investoinnin koko eliniän odote huomioiden. Taulukossa 14 esitetyistä hintakehitysarvioista voitaisiin suositella laskelmaan arviota 2, joka keskimääräisenä oletetaan toteutuvan todennäköisimmin. Toimivan polttoainevertailun tekemiseksi hintaennusteet jouduttaisiin arvioimaan jokaisesta vertailupolttoaineesta. Tutkimuksen rajaamiseksi nestekaasusta käytetään kuitenkin ainoastaan viimeisintä toteutunutta hintaa, ja näin ollen myös LNG:n kulutuslaskelma tehdään perustuen viimeisimpään hintaan 14 €/MWh, joka esitettiin luvussa 4.1.3.

Näin laskettaessa vuosittainen polttoainekustannus olisi 115 260 euroa (alv 0 %) kulutuksella 3 GWh. Säästöä syntyy verrattuna viimeisimpään propaanin hintaan, jolla vuosikustannus olisi 142 447 euroa (alv 0 %). Vuodessa syntyvä polttoainekustannusten ero olisi näin ollen 27 187 euroa LNG:n hyväksi. LNG-investoinnin annuiteetti on polttoaineen hinnassa syntyvää säästöä suurempi, mutta todellisen vertailun tekemiseksi tulisi laskea, paljonko investointi nestekaasujärjestelmään maksaisi. Polttimien ja putkistoasennusten osalta nestekaasujärjestelmän investointihinta on lähes sama kuin valittaessa LNG. On myös huomattava, että mikäli Kivikylän Kotipalvaamo päättäisi ostaa maakaasua Advenin säiliöyksiköstä, investoinnin kannattavuus paranisi. Kulutuksen mukaan Kivikylän Kotipalvaamolle määritetyllä kaasuliittymämaksulla Advenin osuus investoinnista olisi vain 21 243 euroa vuodessa.

5.3.2 Investoinnin kannattavuus Kivikylän Kotipalvaamolle

Kivikylän Kotipalvaamolle LNG olisi polttoaineena propaania edullisempi, mutta LNG-järjestelmän korkean hinnan takia voidaan suoraan todeta, että toimivasta järjestelmästä luopuminen ja investointi uuteen LNG-järjestelmään ei ole taloudellisesti kannattavaa noin 1900 MWh vuosikulutuksella. Oman säiliö- ja höyrystinyksikön hankkimista edullisempi vaihtoehto olisi kaasuputken vetäminen Advenin lämpölaitokselta. Tämä olisi mahdollista, mikäli Adven investoisi LNG:n käyttölaiteistoon. Tarvittavan kaasuputken reitti ja pituus on määritetty kuvassa 8.



Kuva 8. LNG-säiliön ja -höyrystimen mahdollinen sijoitus sekä kaasuputken vetäminen Kivikylän Kotipalvaamolle.

Kaasuputken pituudeksi lasketaan riittävän noin 435 m ja keskimääräiseksi kaasuputken asennushinnaksi arvioidaan 100 €/m (Uusi-Penttilä 2004, 41). Näin ollen kaasuputki maarakennustöineen tulisi maksamaan noin 44 000 €.

Muutokset polttimien säädöissä ovat pieniä siirryttäessä nestekaasusta maakaasuun. Erilaisen Wobbe-arvon omaava kaasu vaatii normaalisti paineensäädön suuttimilla tai

suutinkokojen muuttamisen. Valmistajan ilmoituksen mukaan Kivikylän Kotipalvaamon käytössä olevat Oilon GP-90 H -polttimet käyvät kuitenkin sellaisenaan maakaasun polttoon.

Investoinnin kustannukset rajoittuisivat siis kaasuputki-investointiin. Lisäksi tulisi kaasuliittymästä kiinteä kuukausimaksu, jolla katettaisiin Kivikylän osa Advenille koituvista investointikustannuksista. Voidaan laskea, että Kivikylän käyttö 1914 MWh/vuosi tekisi noin kaksi viidesosaa kokonaisvuosikulutuksesta, ja ottaa tämä perustaksi investointikulujen jakamiseen. Tällöin investoinnin annuiteetista voidaan laskea kaasuliittymän kuukausimaksu Kivikylän Kotipalvaamolle yhtälön (3) osoittamalla tavalla.

$$M_{kk} = \frac{A * 2/5}{12 \text{ kk}} \quad (3)$$

$$M_{kk} = \frac{35\,405 \text{ €} * 2/5}{12 \text{ kk}} = 1180 \text{ €/kk}$$

Kaasuputken käyttöikä olisi käytännössä pidempi kuin 25 vuotta, mutta koska LNG-laitteistolle valittiin 25 vuoden laskennallinen käyttöikä, niin teemme myös Kivikylän laskelmat käyttäen samaa kestoikää. Näin ollen voidaan laskea kaasuputki-investoinnista Kivikylälle syntyvä vuosimaksu aikaisemmin esitetyn annuiteettiyhtälön (2) avulla.

$$A_{kaasuputki} = 44\,000 \text{ €} * \frac{0,06 * (1 + 0,06)^{25}}{(1 + 0,06)^{25} - 1} = 3442 \text{ €}$$

Vuosikustannus voidaan laskea yhtälön (4) osoittamalla tavalla polttoainekustannuksen, kaasuliittymän kuukausimaksujen ja investoinnin annuiteetin summana.

$$M_{vuosi} = E_{vuosi} * h_{pa} + M_{kk} * 12 \text{ kk} + A_{kaasuputki} \quad (4)$$

$$M_{vuosi} = 1914 \text{ MWh} * 38,42 \text{ €/MWh} + 1180 \text{ €/kk} * 12 \text{ kk} + 3442 \text{ €} = 91\,138 \text{ €}$$

Investointikustannusten havaitaan tekevän tästä liian kalliin vaihtoehdon Kivikylän nykyiseen ratkaisuun verrattuna. Koska Advenin täytyy tehdä investointi varapolttoainejärjestelmäänsä joka tapauksessa, tehdään laskelma, jossa lisätuloksi investoinnille riittäisi yhden viidesosan suuruinen investoinnin tuki Kivikylältä kaasuliittymämaksujen muodossa. Tämä tarkoittaa sitä, että uusi kuukausimaksu M_{kk} on puolet edellä lasketusta.

$$M_{kk} = \frac{1180 \text{ €/kk}}{2} = 590 \text{ €/kk}$$

Yhtälön (4) mukaisesti uusi vuosikustannus on:

$$M_{vuosi} = 1914 \text{ MWh} * 38,42 \text{ €/MWh} + 590 \text{ €/kk} * 12 \text{ kk} + 3442 \text{ €} = 84\ 058 \text{ €}$$

Havaitaan, että nyt laskettu kustannus on alhaisempi kuin nestekaasulle oletettu tulevan vuoden kustannus (90 882 €). Ero ei ole kuitenkaan kovin suuri. Toinen puoltava peruste investoinnille olisi kuitenkin hinnan vakaus. Ottaen huomioon, että mahdollisesti tulevaisuudessa tapahtuva energiahintojen globaali nousu nostaisi nestekaasun hintaa voimakkaammin kuin LNG:n hintaa, tämä investointi saattaisi tulla hyvinkin kannattavaksi. Toisaalta, jos raakaöljyn hinta jatkaisi laskuaan vielä nähtyä alemmas, hyöty investoinnista saattaisi jäädä kokonaan saamatta.

5.4 Johtopäätös ja suositukset Huhkolan teollisuusalueelle

Kaikki varapolttoaineeksi soveltuvat energialähteet ovat fossiilisina polttoaineina huomattavan energiasisältöveron ja hiilidioksidiveron alaisia, mikä tekee selkeän eron kotimaisen biomassan energiahintaan. Kiinteän biomassan käyttöä voidaan suositella siten myös Kivikylän Kotipalvaamon perusenergiaksi. Muutos tulee kuitenkin kannattavaksi vain, mikäli prosessihöyry voidaan ostaa Advenin kattilalaitoksesta, jossa on valmiina tarvittava laitteisto biomassan polttamiseksi.

Advenin varapolttoaineeksi tulee valita polttoaine, joka osoittautuu edulliseksi pitkällä tähtäimellä investointikulut huomioiden. Polttoaineen hintaa arvioitaessa tulee myös ottaa huomioon hinnan ennustettavuus. Öljyn alhaisen hintajakson pituutta on mahdoton ennustaa, mutta voidaan sanoa melko suurella varmuudella, että tulevien investointien elinkaaren aikana hinta tulee palaamaan samoihin huippulukemiin, joissa käytiin muutamia vuosia sitten. Kukaan ei voi myöskään sanoa, paljonko niistä saatetaan vielä mennä ylitse. Polttoöljyn ja nestekaasun hinta seuraavat hyvinkin vankasti raakaöljyn hintaa, mutta LNG:n hinnassa suurempaa roolia esittävät rakennetun infrastruktuurin kustannukset, mistä johtuen sen hinta on vakaampi. Voidaan siis sanoa, LNG:n ollessa edullinen vaihtoehto edullisen öljyn aikaan, että se tulee olemaan vielä paremminkin sitä öljyperäisten polttoaineiden kallistuessa. Tämän työn laajuus ei riittänyt laajaan polttoaineiden ja laitteiden kilpailutukseen, vaan tarkoitus oli suuntaa antavasti selvittää eri vaihtoehtojen kustannuksia ja laskentaperiaatteita. Voidaan kuitenkin todeta LNG:n olevan erittäin hyvä vaihtoehto pitkälle tulevaisuuteen tähtäävässä energiaratkaisussa.

Advenin tehdessä päätöstä varapolttoaineesta olisi joka tapauksessa hyödyllistä selvittää ensin Kivikylän Kotipalvaamon kiinnostus prosessihöyrylinjan rakentamiseksi tai maakaasun käyttöönottamiseksi. Mikäli Kivikylän Kotipalvaamo päättää valita maakaasun polttoaineeksi omassa prosessihöyrykattilassaan, investoinnin kannattavuus Advenin kannalta paranee, koska Kivikylän energiankulutus olisi noin 2/5 koko LNG:n käytöstä ja näin ollen Kivikylän Kotipalvaamo maksaisi osan investoinnista kaasuliittymän muodossa. Toisaalta Kivikylän Kotipalvaamolla ei ole ulkopuolelta tulevia vaatimuksia nykyisen järjestelmän muuttamisesta, mikä on valttikortti heille neuvoteltaessa kaasuliittymämaksun suuruudesta.

6 LNG:N TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Nesteytetty maakaasu on useimpiin kohteisiin erittäin hyvä ja puhdas polttoaine. Suurin käyttöä määrittävä tekijä on kuitenkin hinta. Pienemmän kulutuksen kohteissa ja varapolttoainekäytössä ongelmatekijänä voidaan pitää järjestelmän kallista

hankintahintaa. Järjestelmät kryogeenisten kaasujen käsittelemiseksi ovat kalliita, mutta hintojen voidaan olettaa tulevan hieman alaspäin LNG-käytön lisääntyessä. Suuremman kulutuksen kohteissa sen sijaan LNG:n hinta on rajoittavin tekijä, mikäli kilpailevina vaihtoehtoina ovat edulliset kiinteät polttoaineet kuten esimerkiksi metsähake tai turve.

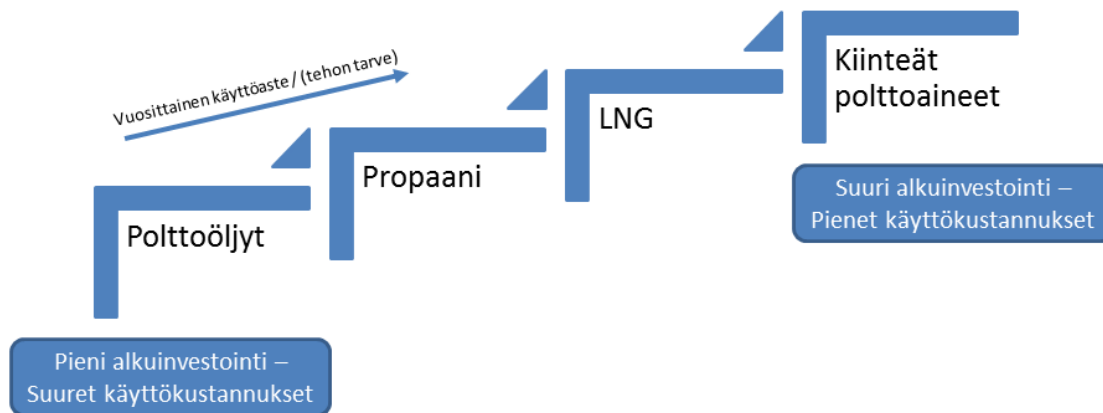
Voidaan sanoa LNG:n käytön tulevan lisääntymään erityisesti kohteissa, joissa polttoöljyn tai propanin tasainen kulutus aiheuttaa suuren menoerän, mutta kiinteiden polttoaineiden käyttö ei tule kysymykseen. Energiajärjestelmien uusiminen kuitenkin tapahtuu usein vasta, kun vanha järjestelmä on käyttöikänsä päässä tai yhteiskunnan tiukentuvat vaatimukset pakottavat investointeihin. Näin ollen kaasuterminaalien avaamiset eivät välttämättä tarkoita nopeaa energiasektorin muutosta, vaan LNG:n kysyntä tulee kasvamaan pikkuhiljaa jälkijunassa tarjontaan nähden.

LNG-tekniikan kehittyminen ja hintojen lasku ovat avaintekijöitä käytön yleistymiselle ja tekniikan adoptoinnille uusiutuvan energian sovelluksissa. Nesteytetty metaani on yksi tulevaisuuden lupaavimmista energian siirto- ja varastointimuodoista. Tämä on sovellettavissa niin bioenergian tuotannossa kuin uusiutuvan ylijäämänsähkön hyödyntämisessä. Laajamittaisempaan kaupalliseen käyttöönottoon on kuitenkin vielä matkaa, sillä pienten nesteytyslaitosten ja PtG-laitosten investoinnit eivät ole kilpailukykyisiä nykyisillä hinnoilla. Uuden tekniikan käyttöönottoon liittyy myös yritysten erityinen tavoite välttää teknisiä epävarmuustekijöitä ja odottamattomia käyttökustannuksia. Euroopan Unionin energia- ja päästöpolitiikka tukevat joka tapauksessa LNG:n käyttöönottoa niin teollisuudessa kuin liikenteessäkin. Kaasun kilpailuttamisen ja monipuolisemman saatavuuden lisäksi LNG-infrastruktuuria kehitetään Suomessa myös kansallisen energihuoltovarmuuden takaamiseksi. Suunnitteilla on rakentaa lisää uusia tuontiterminaaleja sekä kaasuputki Suomen ja Viron välille.

7 YHTEENVETO JA YLEISET JOHTOPÄÄTÖKSET

Teollisuuden polttoaine valitaan kustannustehokkuuden ja luotettavuuden perusteella lainsäädännön sanellessa reunaehdot ja ohjaillessa polttoaineverotusta. Tutkimuksessa vertailtiin SWOT-analyysin kautta nesteytetyn maakaasun ominaisuuksia muihin mahdollisiin vaihtoehtoihin, joiksi luettiin polttoöljyt, nestekaasu ja kiinteät biomassat. Lisäksi arvioitiin lyhyesti harvinaisemmissa tapauksissa mahdollisia vaihtoehtoja kuten omaa biokaasutuotantoa, bioöljyjen käyttöä ja prosessihöyrytuotannon ulkoistamista.

Tuloksena havaittiin polttoaineiden kannattavuuden muuttuvan ennen kaikkea huipunkäyttöajan funktiona. Tehokapasiteetilla voidaan myös todeta olevan merkitystä. Pieni käyttöaste mahdollistaa kalliin polttoaineen käytön ja tällöin investoinnin kustannukset jäävät pieniksi. Sen sijaan suuri käyttö edellyttää edullista polttoainetta ja näin ollen investointihinnan merkitys vähenee. Kuvassa 9 esitetään polttoainevaihtoehtojen kannattavuusjärjestys käyttöasteen funktiona.



Kuva 9. Teollisuuden energiaratkaisut ja niiden kannattavuus käyttöasteen funktiona.

Investoinnin LNG:hen havaittiin painottuvan kalliiseen laitteistoon, jossa pääosaa näyttelevät tyhjiöeristetty säiliö ja ilmahöyrystimet. Komponentit ovat tilauksesta toimitettavia listatuotteita, mutta kokonaisuus joudutaan aina räätälöimään yksilölliseen tarpeeseen. Laitteiden ja kokoonpanon hinnaksi arvioitiin 300 000 – 400 000 euroa, joka tapauskohtaisesti voi investoinnin sivukulujen kanssa nousta noin 500 000 euroon.

Maakaasua voidaan yleisesti ottaen pitää hinnaltaan selvästi nestekaasua edullisempänä. Kalliimman investoinnin takaisinmaksun varmistamiseksi kulutusta tulee kuitenkin olla riittävästi. Tutkimuksessa kiinnosti, voisiko yritysten yhteiskäyttöön tuleva laitteisto osoittaa kannattavuutensa tapauksessa, jossa yksittäisen yrityksen käyttö on liian vähäistä. Laskentaesimerkin kulutuslukeman 3 – 5 GWh vuodessa arvioidaan joka tapauksessa jäävän kannattavuuden alarajoille, vaikka kustannukset jakaantuisivat kahden käyttäjän kesken. Tutkimuksen rajaamiseksi työssä ei selvitetty nestekaasuun tai muihin mahdollisiin vaihtoehtoihin perustuvien varapolttolaitteiden kustannuksia Advenin lämpölaitokselle, minkä takia varsinaista alimpien kustannusten vaihtoehtoa ei voida tämän työn perusteella osoittaa. Jatkoselvitystä tehtäessä on myös huomioitava, että listatut hinnat perustuvat lähinnä yleistietoon ja laitoskohtaisesti räätälöidyn ratkaisun hinta selviää ainoastaan tekemällä projektista aitoja tarjouspyyntöjä.

Energiapolitiikassa LNG:n käyttöä suositaan ympäristösyistä ja kansallisen energiahuoltovarmuuden takia, vaikkakin verotuksen muutos hiilidioksidiperustaiseksi on laskenut maakaasun kilpailukykyä energiantuotannossa. Parantuvan saatavuuden, tiukentuvien päästörajoiden ja kansainvälisen hintakilpailun ansiosta LNG:n käyttö on joka tapauksessa kasvussa. Uusiutuvien energiatuotantomuotojen epätasaisen tuotannon takia lisääntyvän säätövoiman tarpeen odotetaan lisäävän maakaasun osuutta myös sähköntuotannossa. Metaanin nesteyttämisen sen sijaan uskotaan luovan edellytyksiä uusiutuvan energian varastointiin ja laajamittaisempaan käyttöön. Putkiverkkoon johdettua biokaasua voidaan nesteyttää jo nykyisellä Gasumin ja Skangasin infrastruktuurilla. Tulevaisuudessa voi myös nesteytetyn metaanin valmistus uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetusta ylijäämästä tulla kaupallisesti mahdolliseksi vaihtoehdoksi.

LÄHDELUETTELO

Aga [Agan [www.sivuilla](http://www.sivuilla.fi)]. [viitattu 20.4.2016]. Saatavissa: http://www.aga.fi/fi/products_ren/propane/propane_facts/index.html

Argus Media Ltd, 2013. Liquefied Petroleum Gas (LPG) Consumption in Europe: Division of Supply between Gas Processed and Refined LPG; A Summary of the Report for the European LPG Association (AEGPL) Saatavissa: <http://www.aegpl.eu/media/88280/lpg%20consumption%20in%20europe%20-%20division%20of%20supply%20-%20summary.pdf>

Capgemini, 2015. European Energy Markets Observatory 2014 and Winter 2014/2015 Data Set, Seventeenth Edition, November 2015.

Eurooppatiedotus, 2008. EU panostaa uusiutuvaan energiaan, 7.8.2008. Saatavissa: <http://www.eurooppatiedotus.fi/public/default.aspx?contentid=134150&contentlan=1&culture=fi-FI> [viitattu 24.10.2016]

Finlex, 2013. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista (750/2013). Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130750>

Gasumin Vuosi 2014, 2015. Gasum Oy. Saatavissa: http://gasum.fi/globalassets/vuosikertomukset/gasum_vsk14_fi_aukeamittain_144dpi_010415_linkit.pdf

Gasum Oy [Gasumin [www.sivuilla](http://www.sivuilla.fi)]. Saavissa: <https://www.gasum.fi/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2016/suomen-ensimmainen-raskaan-liikenteen-kaasutankkausasema-vuosaaren-satamaan/> [viitattu 15.11.2016].

Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme Bioenergian Lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. Vantaa. Metsäntutkimuslaitos, Puuenergia ry. 92 s. ISBN 951-40-1531-2

Huttunen, M. & Kuittinen, 2015. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 18. Publications of the University of Eastern Finland. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences, No 21. Joensuu: Grano Oy. ISBN 978-952-61-1875-8 Saatavissa: http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1875-8/urn_isbn_978-952-61-1875-8.pdf

Kaasutilastot Maa- ja Biokaasu Suomessa ja Maailmalla, 2015, Suomen Kaasuyhdistys. Saatavissa: <http://www.kaasuyhdistys.fi/sisalto/kaasutilastot> [viitattu 23.3.2016]

Kaasuverkostot. Gasum Oy [Gasumin www-sivuilla]. [viitattu 2.11.2016]. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/kaasutietoutta/kaasuverkostot>

Klemola Kimmo, 2013. Maakaasu. Saatavissa: <http://www.kimmoklemola.fi/2014/maakaasu.pdf>

Käyhkö Tuija, 15.3.2004. Kekkonen runnoi maakaasun Suomeen. Tekniikka & Talous. Artikkelin verkkoversio saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2004-01-15/Kekkonen-runnoi-maakaasun-Suomeen-3251755.html> [viitattu 28.11.15]

Lahtinen Perttu, Turpeen ja puun yhteispoltto – Miksi näin ja kuinka kauan? Koneyrittäjien energiapäivät 4-5.2.2011. Pöyry. Saatavissa: <http://www.koneyrittajat.fi/ajankohtaista/epaivat/YhteispolttoLahtinenPoyry.pdf>

Maakaasun käyttö Suomessa. Gasum Oy [Gasumin www-sivuilla]. [viitattu 7.11.2016]. Saatavissa: <http://gasum.fi/Kaasutietoutta/Maakaasu/Maakaasun-kaytto/>

Maakaasuyhdistys, 2009. Maakaasuyhdistyksen Vuosikirja 2008 – 2009. Libris Oy. ISSN 0786-2342. Saatavissa: http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/esitteet/Maakaasu_vuosik_2008_2009.pdf

Mattila Tommy, 2013. LNG merenkulun ja teollisuuden polttoaineena Gasumin LNG-hankkeet. Saatavissa:

http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20130523_paivat/Mattila%20.pdf

Mattila Tommy, 2014. LNG POLTTOAINEENA. Saatavissa:

http://www.laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Skangass_Mattila_Laradi%2003102014.pdf

MEDIUM-TERM GAS MARKET REPORT 2016. Market Analysis and Forecasts to 2021. Pariisi: International Energy Agency (IEA). 131 s. ISBN: 978-92-64-25773-3

Motiva, Energian kokonaiskulutus [Motivan www-sivuilla]. Päivitetty 27.1.2016. [viitattu 6.4.2016]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus

Motiva, 2012. Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf

Natural Gas Information, 2016. Statistics. Pariisi: International Energy Agency (IEA). 431 s. ISBN 978-92-64-25858-7

Pikkarainen Heikki, 18.11.2014. Globaalit Trendit Energiamarkkinoilla. NesteJacobs. Saatavissa:

http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20141118_syyskokous/Pikkarainen.pdf [viitattu 9.4.2016]

Raiko, Saastamoinen, Hupa, Kurki-Suonio, 2002. Poltto ja palaminen. Teknillistieteelliset akatemioiden – De tekniskvetenskapliga akademierna r.y. 750 s. ISBN 951-666-604-3

Skangas [Skangasin www-sivuilla]. [viitattu 2.11.2016]. Saatavissa: www.skangas.com/en/our-portfolio/terminal-capacity/pori-terminal

Suomen Kaasuyhdistys ry, 2014. Maakaasukäsikirja. 120s. Saatavissa: http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/maakaasun_kasikirja.pdf

Suomen ympäristökeskus, 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW polttolaitoksissa Suomessa. Jalovaara, Aho & Hietämäki. Helsinki. 126 s. ISBN 952-11-1489-4

Suomen ympäristökeskus, 2011. Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa. SUOMEN YMPÄRISTÖ 5 | 2011. Helsinki. 44 s. ISBN 978-952-11-3840-9
Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37051/SY5_2011_netti.pdf

Tilastokeskus, Liitekuvio 4. Maakaasun kulutus. Päivitetty 18.12.2015. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2015/03/ehk_2015_03_2015-12-18_kuv_004_fi.html [viitattu 10.3.2016]

Tilastokeskus, Liitetaulukko 1. Teollisuuden energiankäyttö energialähteittäin vuonna 2014. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/tene/2014/tene_2014_2015-11-05_tau_001_fi.html [viitattu 6.4.2016]

Tullihallitus, MAAKAASUN VEROTUS. Ajankohtaista 17.11.2010 Energiainsinööri Antti Saastamoinen. Saatavissa: <http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/Antti%20Saastamoinen%2017112010%20Tulli.pdf>

Uusi-Penttilä Pauliina, 31.3.2004. Biokaasun liikennekäyttö Jyväskylän seudulla Esiselvitys. Jyväskylä Science Park. Saatavissa: <http://www3.jkl.fi/liikenne/kestava/files/biokaasu052004.pdf>

Ycharts [Ychartsin www-sivuilla]. [Viitattu 20.7.2016]. Saatavissa: https://ycharts.com/indicators/europe_natural_gas_price

Yle Uutiset, 15.3.2016. Polttoaine revitään kohta ilmasta – järjestelmiä kehitellään jo Suomessa. Saatavissa:

http://yle.fi/uutiset/polttoaine_revitaan_kohta_ilmasta__jarjestelmia_kehitellaan_jo_suomessa/8742102 [viitattu 23.3.2016]

40 vuotta maakaasua Suomessa, 2014. Gasum Oy. Saatavissa:

http://gasum.fi/Tietoa_Gasumista/Gasum-lyhyesti/Historia/40-vuotta-maakaasua-Suomessa/ [viitattu 03.02.2016]