



BIOMETAANI JÄTE- ENERGIALAITOKSEN TUKIPOLTTOAINEENA

Vaasan yliopisto

Tekniikan ja innovaatio-
johtamisen yksikkö

Biokaasun
hyödyntämismahdollisuudet
Pohjanmaalla –hanke

WP3, T6

Huhtikuu 2021



Österbottens förbund
Pohjanmaan liitto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



Kiitokset

Tämä selvitys on laadittu osana Vaasan yliopiston Biokaasun hyödyntämismahdollisuudet Pohjanmaalla –hanketta. Tutkimusta ovat rahoittaneet Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR), Pohjanmaan liitto, Wärtsilä Finland Oy, Westenergy Oy Ab, Ab Stormossen Oy ja Wasaline / NLC Ferry Ab Oy.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Lisäksi selvityksen laatija osoittaa kiitokset Gasum Oy:lle henkilökohtaisen apurahan myöntämisestä tutkimuksen tueksi.

Kirsi Spooft-Tuomi
kirsi.spooft-tuomi@univaasa.fi

Sisältö

1 Johdanto	5
2 Polttokelpoisen jätteen hyödyntäminen Suomessa	6
2.1 Suomen jätevoimalat	6
2.2 Arinapolttotekniikka	7
2.3 Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta	9
3 Tukipolttoaineen tarve jätevoimaloissa	10
4 Case Westenergy	12
4.1 Polttoprosessi	13
4.2 Tukipolttoaineen käyttö	13
4.3 Biometaanin saatavuus	14
4.3.1 Paineistettu biometaani	14
4.3.2 Nesteytetty biometaani	14
4.4 Kaasun kuljetus ja varastointi	15
4.4.1 Varastointi kaasumaisessa olomuodossa korkeassa paineessa	15
4.4.2 Varastointi nestemäisessä olomuodossa	17
4.5 Kaasun käyttöputkisto	18
4.6 Poltintekniikka	19
4.6.1 Oilonin K-yhdistelmäpoltin	20
4.6.2 Kaasun paineensäätö	21
4.6.3 Poltinautomaatiikka	23
4.7 Tukipolttoaineen vaihdon päästövaikutukset	23
4.8 Tukipolttoaineen vaihdon kustannusvaikutukset	24
4.8.1 Investointikustannukset	24
4.8.2 Käyttökustannukset	27
4.8.3 Elinkaarikustannukset	27
5 Kaasukäyttöön liittyvä lainsäädäntö ja lupamenettelyt	29
5.1 Rakentamislupa	29
5.2 Toimintaperiaateasiakirja	30
5.3 Tarkastukset	31
5.4 Putkiston vastuuhenkilö eli käytön valvoja	31
5.5 Valvontakirja	32
5.6 Muuta huomioitavaa	32

<i>5.6.1 Räjähdyssuojausasiakirjan päivitys</i>	32
<i>5.6.2 Pelastussuunnitelman päivittäminen</i>	32
<i>5.6.3 Rakennus- tai toimenpidelupa.....</i>	33
<i>5.6.4 Kaasuasennukset</i>	33
Lähteet.....	34

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen näkökulmasta on tärkeää, että jätteet hyödynnetään optimaalisella tavalla. Kiertotalouden tavoitteiden mukaisesti keskeistä on tehokas materiaalien kierrätys ja uudelleenkäyttö. Kaikkea jätettä ei kuitenkaan voida kierrättää, jolloin jätteiden energiakäyttö polttamalla on järkevä tapa tuottaa sähköä ja lämpöä, ja samalla hävittää kierrätyskelvottomia jätteitä. Kiertotalouden tueksi tarvitaan jatkossakin tekniset standardit täyttäviä jätteenpolttolaitoksia, joissa jätteistä tuotetaan energiaa korkealla hyötysuhteella ja joissa savukaasut puhdistetaan ja päästöt minimoidaan parhaan käytettävissä olevan tekniikan mukaisesti.

Jätteenpolttolaitoksessa tavoitteena on jätteen mahdollisimman täydellinen palaminen. Riittävän palamislämpötilan varmistamiseksi tulee tarvittaessa käyttää tukipolttoainetta. Tukipolttoa tarvitaan voimalaitoksen käynnistystilanteissa kattilan lämpötilan nostoon ennen jättepolttoaineen syöttöä ja alasarjassa varmistamaan jättepolttoaineen loppuun palaminen. Normaalisissa laitoksen käyttötilassa tukipolttoa ei tarvita, jos jätteen lämpöarvo on riittävä. Erityisesti kosteus kuitenkin heikentää jättepolttoaineen lämpöarvoa. Jos jäte on liian märkää, joudutaan myös normaalissa ajossa käyttämään tukipolttoainetta, jotta jäte saadaan poltettua riittävän korkeassa lämpötilassa.

Suomessa toimivissa yhdyskuntajätettä polttavissa jätevoimaloissa yleisimmin käytettävä tukipolttoaine on polttoöljy. Fossiilisten polttoaineiden käytön ympäristöhaitat ja niiden rooli merkittävänä hiilidioksidipäästöjen lähteenä ovat kuitenkin hyvin tunnettuja, ja biopolttoaineiden polttaminen energiatuotannossa onkin noussut tärkeäksi vaihtoehdoksi fossiilisten polttoaineiden tilalle. Paikallisesti tuotetun uusiutuvan energian hyödyntäminen tarkoittaa paitsi pienempiä päästöjä myös työpaikkoja ja parempaa energiaomavaraisuutta.

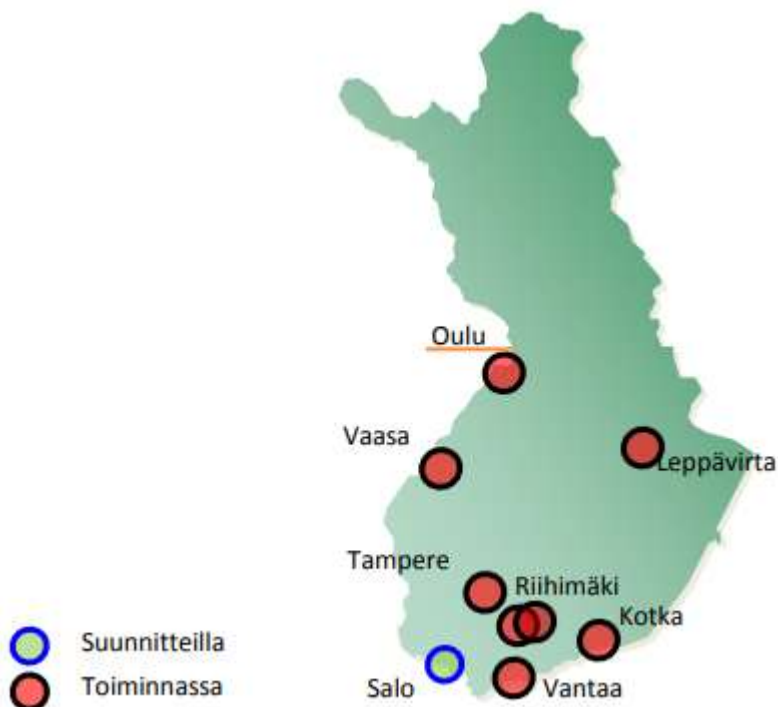
Tämän selvityksen tavoitteena oli tutkia biokaasun hyödyntämistä jätevoimaloiden tukipolttoaineena. Työn ensimmäisessä, yleisessä osassa kartoitetaan Suomessa toimivat jätevoimalat ja niiden käyttämät tukipolttoaineet kulutustietoineen. Lisäksi tarkasteltiin tukipolttoaineen käyttöä ohjaavaa lainsäädäntöä. Työn jälkimmäinen osa muodostuu tapaustutkimuksesta, jonka kohteena oli Mustasaarella sijaitseva Westenergyn jätevoimalaitos. Tapaustutkimuksessa selvitettiin mahdollisuuksia korvata Westenergyn jätevoimalassa nykyisin tukipolttoaineena käytössä oleva kevyt polttoöljy paikallisesti tuotetulla biometaanilla. Biometaanin alueellisen saatavuuden lisäksi kartoitettiin mm. varastointivaihtoehtoja ja poltintekniikkaan liittyviä muutostarpeita sekä kaasuväestön ja teknisten muutostöiden aiheuttamia kustannuksia. Lisäksi arvioitiin polttoaineen vaihdolla saavutettavia päästövaikutuksia. Lopuksi selvitettiin kaasukäyttöön liittyvää lainsäädäntöä ja lupamenettelyitä.

2 Polttokelpoisen jätteen hyödyntäminen Suomessa

Suomessa syntyvästä yhdyskuntajätteestä noin puolet on toistaiseksi kierrätykseen kelpaamaton jätettä, joka hyödynnetään energiana (KIVO 2021). Syntypaikkalajitellun jätteen poltto pelkäästään jätteiden energiahyödyntämiseen tarkoitetuissa laitoksissa on lisääntynyt voimakkaasti 2000-luvulla johtuen tarpeesta löytää jätteiden kaatopaikkasijoittamisen tilalle muita ratkaisuja. Samalla jätteenpolto on korvannut pääasiassa fossiilisia polttoaineita yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Pääasialliset korvatut polttoaineet ovat olleet maakaasu ja kivihiili, mutta myös turve ja metsäpolttoaineet (Pöyry 2015). Pöyryn arvion mukaan vuonna 2020 jätteenpoltolla saavutettava kokonaispäästösäästö on 400 000 CO₂-tonnia vuodessa.

2.1 Suomen jätevoimalat

Tällä hetkellä pääpolttoaineenaan syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä käyttäviä polttolaitoksia toimii Suomessa seitsemällä paikkakunnalla, yhteensä kahdeksan laitosta (kuva 1). Vuonna 2021 otetaan käyttöön yhdeksäs laitos Salossa. Näiden lisäksi Lahdessa toimii kierrätyspolttoaineita käyttävä Lahti Energian kaasutuslaitos. Laitosten jätteenpolttokapasiteetit ilmenevät taulukosta 1.



Kuva 1. Pääpolttoaineenaan yhdyskuntajätettä polttavat jätevoimalat Suomessa (Heikkilä i.a.).

Taulukko 1. Suomen jätevoimalat (KIVO 2021; Heikkilä i.a.).

Kunta	Voimalaitos	Organisaatio	Kapasiteetti
Kotka	Korkeakosken Hyötyvoimalaitos	Kotkan Energia Oy	100 000 t/v
Lahti	Kymijärvi II kaasutuslaitos	Lahti Energia Oy	250 000 t/v
Leppävirta	Riikinvoiman Ekovoimalaitos	Riikinvoima Oy	145 000 t/v
Mustasaari	Westenergy jätevoimalaitos	Westenergy Oy Ab	190 000 t/v
Oulu	Laanilan ekovoimalaitos	Oulun Energia Oy	150 000 t/v
Riihimäki	Jätevoimala 1	Fortum Oyj	150 000 t/v
Riihimäki	Jätevoimala 2	Fortum Oyj	120 000 t/v
Salo	Korvenmäen ekovoimalaitos	Lounavoima Oy	120 000 t/v
Tampere	Tarastenjärven hyötyvoimalaitos	Tammervoima Oy	160 000 t/v
Vantaa	Vantaan jätevoimala	Vantaan Energia Oy	360 000 t/v

Pääpolttoaineenaan kierrätyskelvotonta yhdyskuntajätettä polttavien jätevoimaloiden yleisin tekninen ratkaisu on arinapoltto. Leppävirran Riikinvoiman ekovoimalaitosta lukuun ottamatta Suomen kaikissa yhdyskuntajätettä pääpolttoaineenaan käyttävissä laitoksissa on käytössä arinatekniikkaa. Riikinvoiman laitoksessa jätteenpoltossa hyödynnetään ensimmäisen kerran Suomessa kiertopetitekniikkaa. Kiertopetikatilassa jäte poltetaan ilmavirralla leijutettavassa hiekan ja tuhkan muodostamassa kerroksessa. Voimakkaan sekoittumisen seurauksena palaminen on tehokasta ja kiertopetitekniikalla voidaan saavuttaa arinapoltoa korkeampi kattilahyötysuhde ja sähköntuotannon hyötysuhde. Kiertopetitekniikka asettaa kuitenkin korkeamat vaatimukset polttoaineen laadulle ja vaatii aina jätteen esikäsittelyn. Seuraavassa kappaleessa kuvataan tarkemmin arinapolttotekniikka.

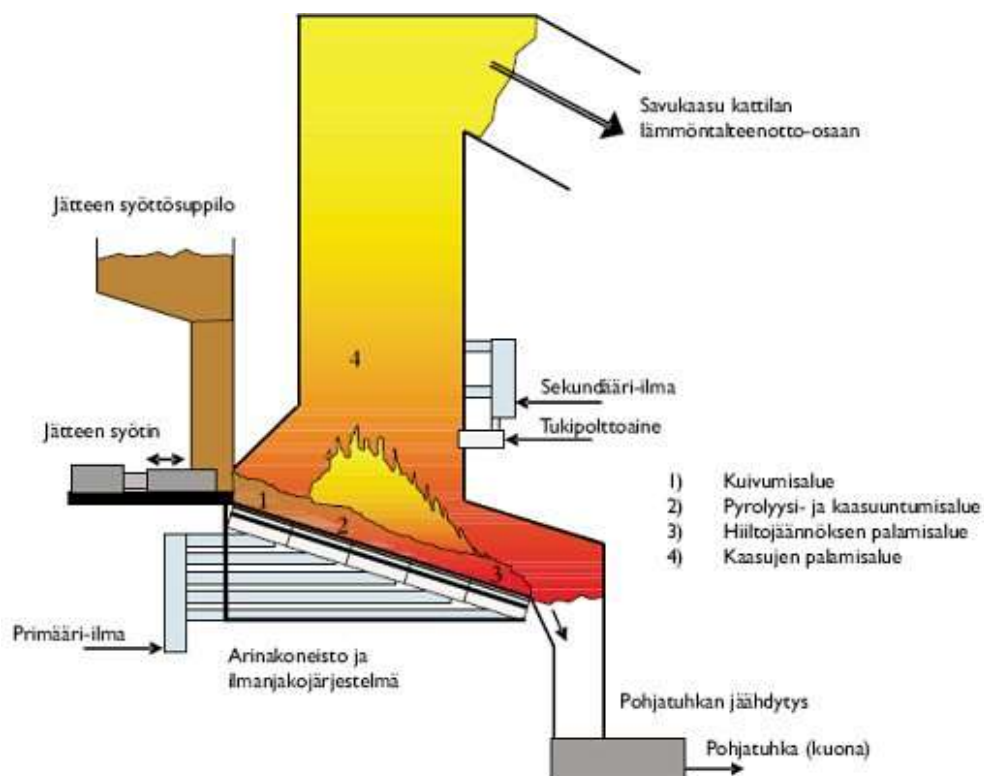
2.2 Arinapolttotekniikka

Arinapoltto on hyvin pitkään käytössä ollut kiinteiden jätteiden polton perustekniikka. Arinatekniikka sopii monenlaisen jätteen polttoon ja tavanomaista syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä ei tarvitse esikäsitellä ennen polttoa. Riittää kun hyvin suuret kappaleet rikotaan ja jätteestä poistetaan suuret metalliesineet. Prosessi sietää oikein säädettynä melko hyvin jätteen kosteuden, lämpöarvon ja tuhkapitoisuuden vaihtelua. (Vesanto 2006.)

Arinapolton periaate on esitetty kuvassa 2. Jäte syötetään kahmarilla syöttösuppiloon, josta se syötetään edelleen hydraulitoimisilla työntimillä arinalle. Tulipesässä on tavanomaiset kostean polttoaineen palamisen alueet eli kuivumis-, pyrolyysi- ja kaasuuntumisvyöhykkeet ja lopuksi hiiltojäännöksen palamisalue. Uusien laitosten arinat ovat useimmiten vinoja, eri menetelmin jätettä polton aikana sekoitettavia arinoita, joilla polttoa voidaan ohjata arinan eri osiin syötettävän ilman määrää säätämällä. (Vesanto 2006.) Nk. Primaarista ilmaa syötetään arinan alapuoliseen tilaan, josta se pakotetaan arinan läpi poltettavan jätteen joukkoon. Tämä ilma jäädyttää

arinaa ja tuo hapetta polttokerrokseen. Sekundaarista ilmaa puhalletaan puolestaan polttokammioon, jossa ilman lisäyksellä pyritään varmistamaan jätteen täydellinen palaminen ja polttoaasujen riittävä sekoittuminen. (Laine-Ylijoki ja muut 2005.) Tulipesän rakenne pyritään suunnittelemaan sellaiseksi, että arinan eri vyöhykkeillä muodostuneet kaasut sekoittuvat mahdollisimman hyvin ja palavat korkeassa lämpötilassa arinan yläpuolella. Karkea tuhka ja jätteen sisältämät palamattomat materiaalit poistuvat arinan alapäästä laitoksen pohjatuhkajärjestelmään. (Vesanto 2006.)

Savukaasut johdetaan tulipesästä tyypillisesti ensin esijähdytyskammioon ja siitä lämmöntalteenottokattilaan. Tulipesästä poistuva savukaasu sisältää runsaasti hienojakoista tuhkaa ja tulipesässä höyrystyneitä epäorgaanisia aineita. Höyrystyneet epäpuhtaudet pyritään tiivistämään esijähdytyksessä kiinteiksi, jotta ne eivät tartu kattilan lämmönsiirtimiin. Osa kiinteytyneistä aineista ja tuhkasta erottuu esijähdytyskammioissa ja kattilassa niin kutsutuksi kattilatuhkaksi ja poistuu kattilan pohjalta tuhkajärjestelmään. Kattilan jälkeen savukaasut johdetaan puhdistusprosessiin. (Vesanto 2006.)



Kuva 2. Jätteenpolttoon tarkoitetun arinatulipesän periaate (Vesanto 2006).

Arinapolttolaitoksissa varaudutaan yleensä polttamaan laadultaan vaihtelevaa jätettä ja niiden rakenne ja lämmöntalteenotto-prosessi suunnitellaan liikaavimman ja eniten korroosiota aiheuttavan jätteen mukaan. Tämä varmistaa laitosten toimivuuden, mutta rajoittaa niiden energiatehokkuutta sähköntuotannossa, kun höyryn korkein lämpötila joudutaan korroosiosyistä pitämään melko matalana. (Vesanto 2006.) Höyryn lämpötilaa, ja tämän myötä sähköntuotantohyötysuhdetta, voidaan nostaa jälkitulistuksella. Laanilan ja Vantaan jätevoimalaitoksissa on käytössä jälkitulistuskattilat, joissa arinakattilasta saatavaa höyryä tulistetaan lisää, esimerkiksi Vantaalla 535°C saakka.

2.3 Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (151/2013) edellyttää, että jätteen palamisen on jätteenpolttolaitoksessa oltava mahdollisimman täydellistä siten, että kuonassa ja pohjatuhkassa olevan orgaanisen hiilen kokonaismäärä on alle kolme prosenttia tai niiden hehkutushäviö alle viisi prosenttia aineksen kuivapainosta.

Kaasuuntuneen jätteenpolttolaitoksen täydellisen loppuun palamisen kannalta tärkeää on palamislämpötila tulipesässä. Asetuksen mukaisesti jätteenpolttolaitos on suunniteltava, rakennettava ja varustettava ja sitä on käytettävä siten, että savukaasun lämpötila nostetaan kaikkein epäedullisimmissakin olosuhteissa vähintään kahdeksi sekunniksi vähintään 850°C lämpötilaan. Mainittu lämpötila on saavutettava polttoilman viimeisen syötön jälkeen. (Vna 151/2013, 9 §.)

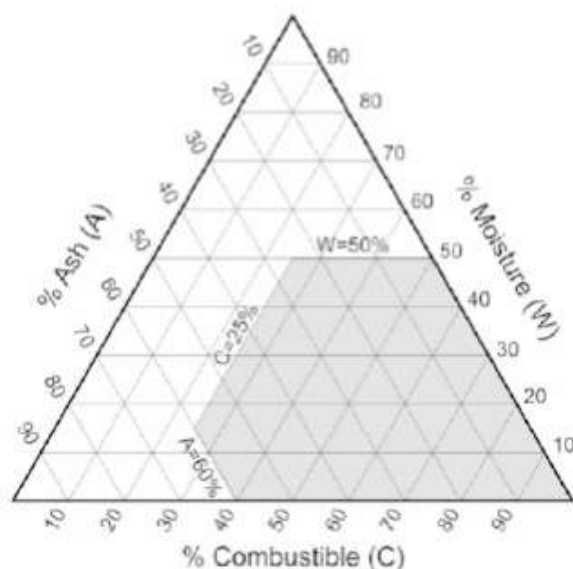
Riittävän palamislämpötilan varmistamiseksi jätteenpolttolaitoksen jokainen palamiskammio on varustettava vähintään yhdellä lisäpolttimella. Lisäpolttimen on oltava sellainen, että se kytkeytyy toimintaan automaattisesti, kun savukaasujen lämpötila laskee polttoilman viimeisen syötön jälkeen alle 850°C. Lisäpolttinta on käytettävä myös laitoksen käynnistys- ja pysäytys-toimien aikana mainitun lämpötilan ylläpitämiseksi ja niin kauan kuin palamiskammiossa on polttamatonta jätettä. (Vna 151/2013, 10 §.)

Lisäpolttimeen ei saa syöttää polttoaineita, jotka voivat aiheuttaa suurempia päästöjä kuin ras-kaan polttoöljyn, kevyen polttoöljyn ja meriliikenteessä käytettävän kaasuöljyn rikkipitoisuudesta annetussa valtioneuvoston asetuksessa (689/2006) tarkoitettujen polttoaineiden taikka neste- tai maakaasun polttamisesta aiheutuvat päästöt. (Vna 151/2013, 10 §.)

3 Tukipolttoaineen tarve jätevoimaloissa

Tukipolttoainetta tarvitaan voimalaitoksen käynnistystilanteissa kattilan lämpötilan nostoon ennen jätepolttoaineen syöttöä jätteen epätäydellisen palamisen estämiseksi ja alasajossa varmistamaan jätepolttoaineen loppuun palaminen. Normaalissa laitoksen käyttötilassa tukipolttoainetta ei tarvita, jos jätteen lämpöarvo on riittävä; jäte syttyy palamaan, kun se syötetään kuumaan kattilaan. Polttoaineen teholliseen lämpöarvoon vaikuttaa erityisesti sen kosteuspi-toisuus. Jos jäte on liian märkää, joudutaan käyttämään tukipolttoainetta, jotta jäte saadaan poltettua määrättyllä 850°C lämpötilalla. Esimerkiksi märkä biojäte heikentää poltetun jätteen lämpöarvoa.

Kosteuden lisäksi käytettävän polttoaineen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat tuhkapitoisuus ja haihtuvien määrä. Polttoaineen tuhalla tarkoitetaan sitä epäorgaanista osuutta polttoaineesta, joka jää jäljelle poltettaessa. Haihtuvilla taas tarkoitetaan sitä osaa polttoaineesta, joka kaa-suuntuu polttoainetta kuumentaessa. Tannerin diagrammi (kuva 3) kuvaa jätteeltä vaadittavia ominaisuuksia, jotta sitä voitaisiin polttaa ilman tukipolttoainetta.



Kuva 3. Tannerin diagrammi. Jos jätteen ominaisuudet sijaitsevat varjostetulla alueella (kos-teus < 50 %, tuhkapitoisuus < 60 % ja haihtuvat > 25 %) palamisprosessi ei vaadi tukipolttoai-netta (Hulgaard & Vehlow 2011, 367).

Suomessa toimivissa yhdyskuntajätettä polttavissa jätevoimaloissa yleisimmin käytettävä tu-kipolttoaine on polttoöljy. Kahdessa laitoksessa, Kotkassa ja Vantaalla, tukipolttoaineena käy-tetään maakaasua. Vantaan jätevoimalassa tukipolttimien varapolttoaineena on kevyt poltto-öljy, jota käytetään vain, jos maakaasun toimituksessa on häiriöitä. Huomiota kiinnittää, että toistaiseksi yhdessäkään laitoksessa ei hyödynnetä tukipolttoaineena biokaasua. Tammervoim-an ympäristöluvan mukaan laitoksella tutkitaan myöhemmässä vaiheessa mahdollisuutta käyttää biojätteen mädätyslaitoksen biokaasua korvaamaan kevyt polttoöljy osin tai kokonaan tukipolttoaineena.

Tukipolttoaineen käyttöä koskevat tiedot on koottu taulukkoon 2. Tiedot kerättiin laitosten ympäristölupapäätöksistä ja yhtiöiden internetsivuilta ja vuosiraporteista. Tukipolttoaineen kulutus vaihtelee vuosittain mm. jätepoltttoaineen ominaisuuksista ja mahdollisista laitoksen häiriö- ja alasajo/käynnistystilanteista johtuen. Tämän vuoksi kulutustietoja kerättiin kolmelta viimeisimmältä vuodelta. Riihimäen jätevoimaloiden kulutustietoja ei ollut julkisesti saatavilla.

Taulukko 2. Tukipolttoaineen kulutus Suomen jätevoimaloissa.

Voimalaitos	Kapasiteetti	Tukipolttoaine	Tukipolttoai- neen kulutus vuodessa	Tukipolttoai- neen kulutus GWh/v	Tukipolttoai- neen kulutus kWh/jätetonne
Korkeakosken Hyötyvoimalaitos/ Kotka	100 000 t/v	maakaasu	150 000 – 290 000 m ³ /v	1,4–2,7	14–27
Riikinvoiman Ekovoimalaitos/ Leppävirta	145 000 t/v	kevyt polttoöljy	200–400 t/v	2,4–4,8	16,5–33
Westenergy Jätevoimalaitos/ Mustasaari	190 000 t/v	kevyt polttoöljy	160-190 t	1,9–2,3	10–13
Laanilan Ekovoimalaitos/ Oulu	150 000 t/v	kevyt polttoöljy	440 t/v*	5,3*	35*
Fortum Jätevoimala 1/ Riihimäki	150 000 t/v	raskas tai kevyt polttoöljy tai jäteöljy	N/A	N/A	N/A
Fortum Jätevoimala 2/ Riihimäki	120 000 t/v	raskas tai kevyt polttoöljy	N/A	N/A	N/A
Korvenmäen Ekovoimalaitos/ Salo	120 000 t/v	raskas tai kevyt polttoöljy	N/A**	N/A**	N/A**
Tammervoiman hyötyvoimalaitos/ Tampere	160 000 t/v	kevyt polttoöljy	74 t/v	0,9	6
Vantaan jätevoimala	360 000 t/v	maakaasu	1,2 milj. m ³ /v	11,9	32

*) Sisältää myös jälkitulistuskattilassa poltetun polttoöljyn. Ulkopuolisen tulistikattilan pääasiallisena polttoaineena käytetään Taminco Finland Oy:n tehtaan prosessissa syntynyttä, ylijäävää prosessikaasua, joka sisältää mm. vetyä, häkää ja typpeä.

***) Ei kulutustietoja. Laitos otetaan käyttöön vuonna 2021

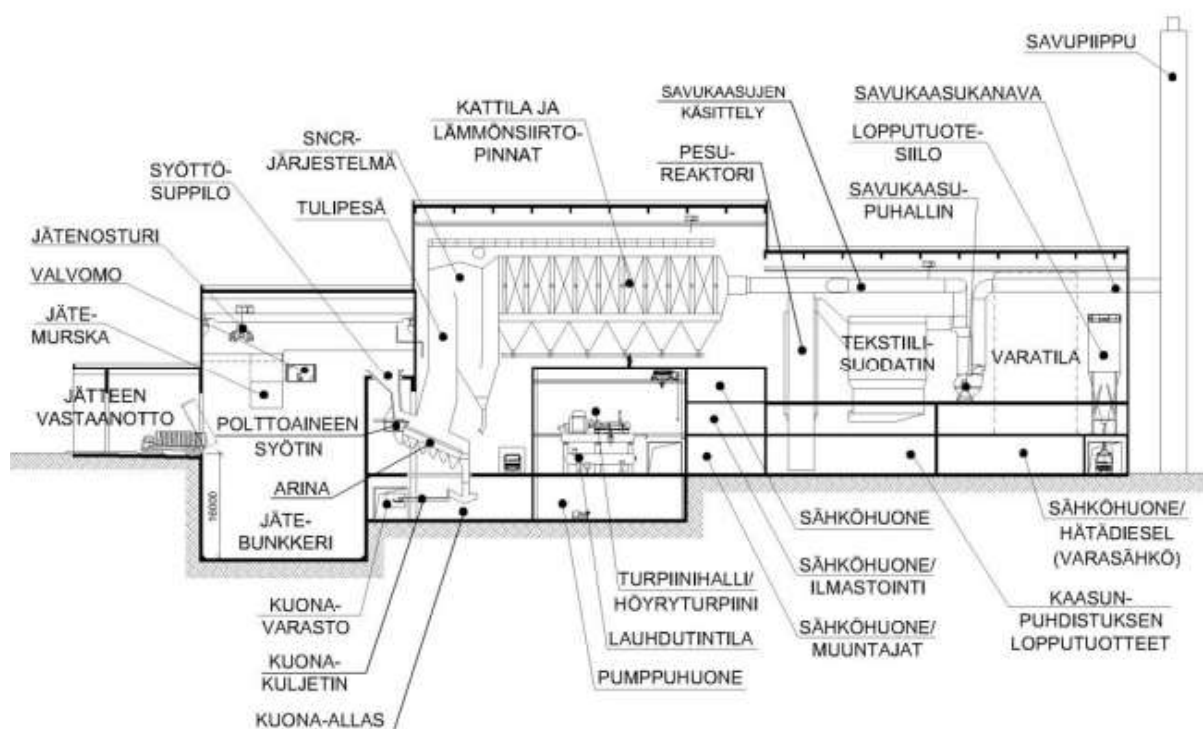
Fossiilisten polttoaineiden, öljyn ja maakaasun, rooli merkittävänä ilmastonmuutosta kiihdyttävien CO₂-päästöjen lähteenä on hyvin tunnettu. Biokaasu sen sijaan on 100 % uusiutuva ja siten hiilineutraali polttoaine. Tämän selvityksen tarkoituksena oli tutkia edellytyksiä korvata jätevoimaloissa käytettävät fossiiliset tukipolttoaineet uusiutuvalla biokaasulla. Tapaustutkimuksena käytettiin Westenergyn jätevoimalaitosta Mustasaassa. Tapaustutkimuksen tulokset esitellään seuraavassa luvussa.

4 Case Westenergy

Vuonna 2012 toimintansa aloittaneessa Westenergy jätevoimalaitoksessa hyödynnetään polttoaineena syntypaikkalajiteltua polttokelpoista jätettä, jota ei voida hyödyntää muulla tavoin. Yhdyskuntajätteen lisäksi voidaan hyödyntää myös kaupan, teollisuuden ja rakennustoiminnan polttoon soveltuvia jätteitä. Jätteenpolttolaitoksella tuotettu höyry toimitetaan Vaasan Sähkö Oy:lle, joka hyödyntää höyryn sähkön ja kaukolämmön tuotantoon. Jätteestä saatavalla energialla Vaasan Sähkö Oy pystyy kattamaan jo noin 50 % Vaasan alueen kaukolämpöverkon tarvitsemasta energiamäärästä. Jätevoimalan omistaa kuusi kunnallista jäteyhtiötä Länsi-Suomen alueelta: Botniasok Oy Ab, Lakeuden Etappi Oy, Millespakka Oy, Stormossen Oy Ab, Vestia Oy ja Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy.

Vuonna 2019 Westenergy käsitteli jätettä 189 638 tonnia, josta tuotettiin 113 GWh sähkötä ja 379 GWh kaukolämpöä. Energiantuotannon kokonaishyötysuhde oli 90,6 % ja käyttöaika 8187 tuntia. (Westenergy 2019a.) Laitoksella on käytössä arinatekniikka, toimittajana Hitachi Zosen Inova AG. Kattilan polttoainetehto on 67 MW. Tuotettavan höyryn paine on 40 bar ja lämpötila 400°C (HZI 2019). Vuonna 2019 poltettavan jätteen keskimääräinen lämpöarvo oli 10,3 MJ/kg (Westenergy 2019b).

Jätteenpolttolaitoksen periaatekaavio on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Westenergy jätevoimalan periaatekaavio (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2009).

4.1 Polttoprosessi

Polttolaitoksen polttoprosessi perustuu arinapolttotekniikkaan. Tulipesässä on polttoaineen palamisen alueet eli kuivumis-, pyrolyysi-, kaasuuntumis- ja palamisvyöhykkeet. Lopuksi on hiiltojäännöksen palamisalue. Arinan eri vyöhykkeillä muodostuvat kaasut palavat korkeassa lämpötilassa ($>850^{\circ}\text{C}$) arinan yläpuolella. Polttoprosessi on varustettu SNCR-tekniikalla, jossa savukaasuihin ruiskutetaan ammoniakkivesiseosta typen oksidien (NO_x) poistamiseksi. (Westenergy 2019b.)

Primääripalotila ja sekundäärisen palamisen vyöhyke on toteutettu siten, että savukaasujen viipymä- ja reaktioajat korkeissa lämpötiloissa ovat mahdollisimman pitkät. Koska palamiskaasujen täydellistä palamista polttoprosessissa ei voida saavuttaa pelkästään primääri-ilman avulla, myös sekundääri-ilmaa syötetään polttoainekerroksen yläpuolelle. Sekundääri-ilman määrä vastaa noin 45–50 % kokonaisilmamäärästä. Savukaasupuhaltimet ylläpitävät alipainetta läpi koko jätteenpolttolinjan, jotta palamisessa muodostuneet savukaasut eivät pääse kulkemaan tulipesästä tai sitä seuraavista laitteista kattilahuoneeseen. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2017.)

Westenergin jätteenpolttokattila on varustettu kahdella lisäpolttimella, jotka kytkeytyvät päälle automaattisesti, kun savukaasujen lämpötila laskee polttoilman viimeisen syötön jälkeen alle 850°C . Lisäpolttinta käytetään myös laitoksen käynnistys- ja pysäytystoimien aikana em. lämpötilan ylläpitämiseksi niin kauan kuin arinassa on polttamatonta jätettä. Lisäpolttimien yhteenlaskettu teho on 40 MW. Lisäpolttimien polttoaineena käytetään kevyttä polttoöljyä.

Poltoissa syntyvä pohjakuona ja -tuhka poistetaan arinalta tuhkanpoistosuppilon ja -kuilun kautta kuona-altaaseen.

4.2 Tukipolttoaineen käyttö

Westenergin tukipolttoaineen määrä vaihtelee vuosittain jonkin verran mm. jätepolttoaineen tehollisen lämpöarvon mukaan. Esimerkiksi vuonna 2019 tukipolttoainetta kului 159 tonnia (Westenergy 2019b) ja vuonna 2018 tukipolttoaineen kulutus oli 178 tonnia (Westenergy 2018). Tässä selvityksessä tarvittavaksi tukipolttoaineen energiasisällöksi oletetaan 7 344 GJ (2,04 GWh), joka vastaa 170 tonnia kevyttä polttoöljyä. Laskennassa käytettiin kevyen polttoöljyn tehollisena oletuslämpöarvona 43,2 MJ/kg (Tilastokeskus 2020).

Biokaasu on pääosin metaanin (60–65 %) ja hiilidioksidin (30–35%) seos, joka on maakaasun tavoin käytettävissä energiantuotannossa. Näiden kaasujen erona on käytännössä vain biokaasun korkeampi hiilidioksidipitoisuus ja matalampi energiasisältö. Lisäksi biokaasu voi sisältää pieniä määriä happea ja typpeä sekä kosteutta, orgaanisia piiyhdisteitä, rikkivetyjä ja partikkeleita. Vedenerotuksen jälkeen biokaasua voidaan periaatteessa käyttää sellaisenaan kaasukattiloissa lämmöntuotannon polttoaineena. Westenergin tarvitsema tukipolttoaineen määrä on kuitenkin niin suuri, että käytännössä tämän määrän kuljettaminen ja varastointi vaativat kaasun paineistamista tai nesteyttämistä.

Paineistusta tai nesteytystä varten biokaasu tulee puhdistaa ja lisäksi jalostaa poistamalla siitä hiilidioksidia. Puhdistuksen avulla vähennetään biokaasun epäpuhtauksia, kuten rikki- ja piiyhdisteitä, ja jalostuksen tarkoituksena on nostaa biokaasun energiatiheyttä. Jalostettu biokaasu on lähes puhdasta metaania, joten tarvelaskennassa sen lämpöarvona käytetään metaanin tehollista lämpöarvoa 50 MJ/kg eli 36 MJ/m³ (13,9 kWh/kg eli 10 kWh/m³). Jos Westenergy siirtyisi yksinomaan biometaanin käyttöön tukipolttoaineena, tarvittava määrä vuositasona olisi 204 000 m³ (=2,04 GWh) eli noin 146 tonnia metaania.

Huomattava on, että tukipolttoaineen käyttö on hyvin jaksottaista eli saattaa mennä viikkoja tai jopa kuukausia ilman käyttöä, mutta sitten jonkin häiriötilanteen tai huoltoseisokin yhteydessä kuluu todella paljon. Käynnistysajon yhteydessä polttoöljyä kuluu jopa 4000 litraa tunnissa (noin 40 MWh/h).

4.3 Biometaanin saatavuus

4.3.1 Paineistettu biometaani

Westenergy:n välittömässä läheisyydessä (1 km) sijaitseva Ab Stormossen Oy:n biokaasulaitos tuottaa Vaasan seudun kotitalouksien biojätteestä sekä Vaasan veden jätevesilietteestä vuosittain noin 3 000 000 m³ biokaasua. Raakabiokaasun metaanipitoisuus on 60 %. Gigawattiperustainen vuosituotanto on näin ollen 18 GWh. Vuonna 2019 tuotetusta biokaasusta 37 % käytettiin liikennekaasun tuotantoon, 32 % sähkön ja loput prosessilämmön tuotantoon (Stormossen 2021). Westenergy:n vuosittainen biokaasun tarve olisi runsaat 11 % Stormossenin kokonaistuotannosta.

Pohjanmaan alueella toinen merkittävä biokaasun tuottaja on Jeppo Biogas Ab. Etäisyys Westenergyltä Jepuulle on 65 km. Tällä hetkellä Jeppo Biogasin biokaasun vuosituotanto on 30 GWh (Jeppo Biogas 2021). Osa kaasusta puhdistetaan, paineistetaan ja siirretään asiakkaille konttikuljetuksina. Puhdistetun kaasun metaanipitoisuus on noin 98 %. Vuonna 2018 hyväksytyyn laajennukseen liittyvän ympäristöluvan (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto päätös nro 40/2018/1) mukaan kapasiteettia voidaan vielä kasvattaa. Yhtiön tulevaisuuden visio on myös jatkojalostaa biometaania nestemäiseen muotoon.

4.3.2 Nesteytetty biometaani

Tällä hetkellä Suomessa nesteytettyä biometaania toimittaa ainoastaan Gasum. Marraskuussa 2020 avattu Gasumin Turun Topinojalla sijaitseva biokaasulaitos tuottaa vuodessa noin 60 GWh nesteytettyä biometaania liikenteen, teollisuuden ja meriliikenteen tarpeisiin. Etelä-Pohjanmaalla Nurmon Bioenergian biokaasulaitokselle on myös suunniteltu biokaasun nesteytystä laajassa mittakaavassa, 90–100 GWh/v. Tiedotusvälineiden mukaan rakennustyöt käynnistetään, kun LBG:n myynnin esisopimukset saadaan kasaan.

4.4 Kaasun kuljetus ja varastointi

Etäisyyden puolesta kaasun putkiveto Stormossenilta olisi soveltuva vaihtoehto. Häiriötilanteiden ja huoltoseisokkien jälkeisten käynnistysajojen yhteydessä tukipolttoaineen kulutus on kuitenkin niin suuri (tarvittava huipputeho 40 MW), että Stormossenin kaasuntuotannon kapasiteetti (2 MWh/h) ei riitä. Tämän vuoksi tukipolttoaineen vaihto edellyttää biometaanivaraston rakentamista Westenergyllä. Normaalipaineisen metaanin alhaisen energiatihedyyden vuoksi soveltuvat vaihtoehdot voidaan rajoittaa 1) varastointiin kaasumaisessa muodossa korkeassa paineessa ja 2) kuljetukseen ja varastointiin nestemäisessä olomuodossa.

4.4.1 Varastointi kaasumaisessa olomuodossa korkeassa paineessa

Biometaanin voidaan kompressoida eli paineistaa siirtoa ja varastointia varten aina 300 bar paineeseen saakka, tyypillisimmin kuitenkin 250 bar paineeseen. 250 bar paineessa metaanin energiasäilytys nousee 36 MJ/m³:sta 9000 MJ/m³:een ja kaasuväestön fyysistä kokoa voidaan huomattavasti pienentää. Paineistetut kaasusäiliöt edellyttävät hyvin puhdistettua kaasua korroosion välttämiseksi, ja paineen kasvaessa puhtausvaatimukset tiukentuvat (Söderena ja muut 2019). Paineistaminen on mahdollista pelkästään puhdistetulle kaasulle (Lampinen 2015), mutta koska inerttien kaasujen kompressoimista ja kuljetusta ei pidetä taloudellisesti kannattavana, tyypillisesti vasta jalostettu (=hiilidioksidi poistettu) biometaanin paineistetaan. Jalostamattoman biokaasun sisältämä hiilidioksidi myös vaikeuttaisi kompressoimista eikä raakakaasua yleensä pysty paineistamaan yli 40 bar paineeseen.

Kiinteiden kaasuväestöjen lisäksi metaania voidaan varastoida kaasumaisessa muodossa kuljetukseen soveltuvissa kaasupullo- ja monisäiliökonteissa (Tukes 2021a). Korkeapaineistetusta kaasusäiliöstä tai kontista kaasu tyhjennetään paineenasennusaseman kautta käyttöputkeen ja sieltä käyttölaitteelle.

Korkeapaineistetut kaasusäiliöt jaotellaan valmistusmateriaalin mukaan neljään luokkaan (Söderena ja muut 2019):

- Tyypin I: Metallin
- Tyypin II: Metallin & lasikuitu/hiilikuitu
- Tyypin III: Metallin (teräs/alumiini) & hiilikuitu
- Tyypin IV: Polymeeri & lasi/hiilikuitu

Korkeapainesäiliön massa ja hinta vaihtelevat niiden kapasiteetin ja valmistusmateriaalin mukaan. Taulukossa 3 on annettu suuntaa antava hinta- ja massa-arvio eri tyypin painesäiliöille.

Taulukko 3. Massa- ja hinta-arvio tyypin I–IV painesäiliöille (Söderena ja muut 2019).

Säiliötyyppi:	Massa-arvio [kg/l]:	Hinta-arvio [€ ₂₀₁₇ /l]:
Tyyppi I:	0,8 - 0,72	3 - 5
Tyyppi II:	0,68 - 0,52	5 - 7
Tyyppi III:	0,5 - 0,41	9 - 13
Tyyppi IV:	0,33 - 0,24	11 - 17

Paineastia, jota ei tarvitse siirtää, voi olla myös painava. Näin ollen kiinteän painesäiliön materiaaliksi soveltuu hyvin myös teräs eli edullinen säiliötyyppi I. Sen sijaan siirtokontti kannattaa pyrkiä suunnittelemaan mahdollisimman kevyeksi eli käyttämään komposiittimateriaaleihin perustuvia ratkaisuja. Siirtokonttien varastointi- ja kuljetuskapasiteetit ovat suurimmillaan noin 120 MWh. Esimerkiksi Suomen Biovoima Oy markkinoi vesitilavuudeltaan jopa 42 350 litran, tyyppin IV UMOE-kaasunsiirtokontteja. Kyseinen 45 jalan siirtokontti on kuitenkin logistiikan kannalta haastava ja Suomen Biovoima Oy:n yleisimmin käytetty konttiratkaisu onkin 40 jalan ISO Standard –kontti (Hiltunen 2021). 250 bar täyttöpaineella kyseisen kontin kaasumäärä on 6 489 kg (90 MWh) (Biovoima 2019). UMOE tyyppin IV kaasunsiirtokontteja nähdään kuvassa 5. Siirtokonttien kuljetuksissa vaaditaan ADR-ajolupa.



Kuva 5. UMOE Advanced Composites tyyppin IV kaasunsiirtokontti (Biovoima 2019; UMOE 2021).

Vaihtoehto siirtokonteille on kiinteä kaasuvälikko, jota täytetään kaasuntuottajan siirtokonteista paikan päällä. Tällöin voitaisiin käyttää raskaampia säiliötyyppi I:n materiaaleja, mikä alentaisi itse säiliöiden alkuinvestointia merkittävästi. Kiinteiden säiliöiden kohdalla tarvitaan lisäksi kompressoriasema kaasun siirtämiseksi painesäiliöstä toiseen. Vaihtoehtoja tarkastellessa on huomioitava myös käytettävissä oleva kuljetuskalusto, eli onnistuuko esimerkiksi 40 jalan siirtokonttien kuljetus.

Normaalisti polttoainesäiliön kapasiteetti tulee laskea niin, että maksimiteholla päästään noin viikon täydennysväliin. Koska kyseessä on kuitenkin apupolttoaine, mitoituksen perustana käytetään tässä laitoksen alas- ja/tai ylösajon maksimikulutusta. Westenergyltä saadun tiedon mukaan tukipolttoaineen (kevyt polttoöljy) kulutus alasajossa on 20–30 m³ ja ylösajossa jopa 40 m³. Lasketaan kaksi vaihtoehtoista mallia.

Vaihtoehto 1: Mitoitetaan kaasuvälikko niin, että varastoitavan kaasun energiasisältö vastaa ylösajon maksimikulutusta 40 m³ kevyttä polttoöljyä (noin 400 MWh). Tämä mitoitus riittää, kun seisokki on ennakoitu, esim. vuosihuolto, ja kaasuvälikko voidaan täyttää seisokin aikana.

Sen sijaan häiriötilanteisiin liittyvien yllättävien seisokkien kohdalla kaasu ei riitä, jos ylösajo seuraa nopeammin kuin kaasuväriö ehtitään täyttää. Tämä vaihtoehto vaatii nykyisen öljyjärjestelmän jättämistä varapolttoaineeksi.

Vaihtoehto 2: Mitoitetaan kaasuväriö niin, että väriöitavan kaasun energiasisältö vastaa alasajon ja ylösajon yhteenlaskettua maksimikulutusta 60 m³ kevyttä polttoöljyä (=600 MWh). Tämän vaihtoehdon etuna on, että öljyn käyttöön ei välttämättä synny tarvetta edes yllättävissä häiriötilanteissa.

Kaasupoltin ei pysty suoraan polttamaan paineistettua biometaania. Tämän vuoksi korkeapainekaasun väriö on väriöitettävä paineenalennusasemalla, joka alentaa kaasun paineen polttimien vaatimusten mukaisesti. Kaasuväriön ja käyttöputkiston paine-eron pitäminen mahdollisimman suurena myös mahdollistaa metaanin väriöitämisen ja tyhjentää kaasusäiliön kokonaan. Jalovaaran ja muut (2003) mukaan kaasun paineen ennen poltinta tulisi kuitenkin olla vähintään 2 bar (abs) ja yleensä vaaditaan 3–4 bar (abs), jotta kaasumäärän mittaukselle ja säädölle jäisi riittävästi painehäviötä. Käytännössä paineenalennus 250 bar väriöpainesta lopulliseen käyttöpaineseen vaatii kaksivaiheisen paineenalennuksen ja kaasun lämmityksen, koska paineen laskiessa kaasu jäähtyy voimakkaasti. Lopullinen paineenalennus polttimien vaatimusten mukaisesti tapahtuu sitten poltintoimitukseen kuuluvassa paineenalennusyksikössä.

4.4.2 Väriöinti nestemäisessä olomuodossa

Nesteytetyn biometaanin energiatiheys vastaa 600 bar paineseen paineistettua metaania. Suuren energiatihedden lisäksi nesteytetyn metaanin etuna on sen energiatehokas kuljettaminen. -161,5°C:een jäädytetyn nesteytetyn metaanin tiheys on 423 kg/m³ ja tehollinen lämpöarvo noin 21 150 MJ/m³ (5,9 MWh/m³).

Energiasisällöltään 60 m³ kevyttä polttoöljyä vastaava nesteytetyn metaanin massa on 43 tonnia. Lisäksi on huomioitava, että nestemäisen metaanin säiliöön on väriöitettävä tilaa myös kaasufaasissa olevalle metaanille. Nesteen täyttöaste on yleensä noin 90 % (Suomen kaasuyhdistys 2021). Edellä mainittu huomioiden nesteytetyn metaanin väriösäiliön minimikoko olisi 113 m³.

Jos nesteytetyn kaasun säiliö haluttaisiin väriöittää paineistetun kaasun kohdalla kuvatun vaihtoehdon 1 mukaan (40 m³ kevyttä polttoöljyä vastaava energiamäärä), tulisi väriösäiliön minimikooksi 76 m³. Vaihtoehdon 1 mukainen nesteytetyn metaanin massa olisi noin 29 tonnia.

Alhaisen kiehumispisteen vuoksi LBG soveltuu paineistettua kaasua huomioimmin pitkäaikaiseen väriöintiin. Nesteytetyn metaanin säilytyksen haaste on nesteytetyn metaanin lämpeneminen säilytyksen aikana, mikä johtaa sen haihtumiseen kaasuksi (boil-off gas, BOG). BOG:in osuus on tyypillisesti 0,1–0,5 % päivässä (Söderena ja muut 2019). Tämä kaasu on poistettava säiliöstä paineen ja lämpötilan hallitsemiseksi. BOG:in hallinta korostuu sovelluksissa, jossa nesteytetyn kaasun käyttö on ajoittaista.

Haihtuvan metaanin käsittely säilytyksen yhteydessä tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Yksinkertaisinta on syöttää boil-off kaasu höyrytetyn kaasun seassa prosessiin. Tämä ei kui-

tenkaan ole mahdollista, jos säännöllistä kaasun kulutusta ei ole. Tällöin BOG tulee ottaa talteen ns. välisäiliöön, josta se sitten tarvittaessa syötetään polttimelle. Toinen vaihtoehto on jäädyttää BOG takaisin nestemäiseen muotoon esimerkiksi nestetyypen avulla. Tämä kuitenkin lisää vaadittavien laitteistojen määrää, vaatii mm. oman kryogeenisen säiliön nestemäiselle tyypelle, eikä siksi yleensä ole asiakaskokoluokassa kannattavaa. Metaanin vapauttaminen kylmäsoihdun kautta ilmakehään on sallittu vain hätätilanteissa. Metaani on erittäin voimakas kasvihuonekaasu ja sen vuoksi metaanivuotoja tulee välttää kaikissa tilanteissa.

Säiliöt voidaan jakaa paineistettuihin ja ilmanpaineisiin säiliöihin. Vallitseva ratkaisu pienessä mittakaavassa on paineistettu säiliö (3–10 bar) (Söderena ja muut 2019). Säiliöt ovat kaksivaipaisia terässäiliöitä. Vaippojen välissä on tyhjä, joka on tehokas lämmöneriste. Lisänä välitilassa käytetään lämpösäilyä ja konvektiota vähentävää eristettä (Suomen kaasuyhdistys 2021).

Ennen polttimille syöttöä nestemäinen LBG muutetaan takaisin kaasumaiseen olomuotoon höyrystimessä. Yleensä käytetään ilmahöyrystymiä, jolloin lämpöä siirretään ympäröivästä ilmasta nestemäiseen LBG:hen. Tyypillisesti kaasun lämpötila on ilmahöyrystimen jälkeen n. 20°C ulkolämpötilaa matalampi. Tästä syystä ilmahöyrystimet tarvitsevat Suomen olosuhteissa käytännössä aina jälkilämmittimen, ns. trim-heaterin, joka lämmittää kaasun käyttölämpötilaan. Vaihtoehtoisesti höyrystämisessä voidaan käyttää vesilämmönvaihdinta. Tässä nesteenä käytetään vesi-glykoli-seosta, joka lämmitetään ulkoisella energialla, esimerkiksi kaukolämmöllä tai teollisuusprosessin hukkalämmöllä (Suomen kaasuyhdistys 2021.)

Lappeenrannan yliopistolle tehdyissä opinnäytetyössä Haimila (2015) oli saanut laitetoimittajalta 78 m³ säiliölle ja höyrystimille hinta-arvioksi 150 000–200 000 €. Heinonen (2016) arvioi höyrystimen hinnaksi 30 000 €. Näiden perusteella säiliön yksikkökustannukseksi muodostuu 1 540–2 180 €/m³. Tässä työssä yksikkökustannuksena käytetään 2 000 €/m³. Lisäksi kustannuksia syntyy perustustöistä, kuljetuksista ja asennuksista sekä instrumentoinnista ja sähköistyksistä.

4.5 Kaasun käyttöputkisto

Kaasun käyttöputkisto alkaa kaasuväriä ja ulottuu polttimille asti. Käyttöputkiston tulee olla joko terästä, kuparia tai muuta maakaasukäyttöön tarkoitettua materiaalia. Rakennusten ulkopuoliset käyttöputkistot on yleensä rakennettava maanalaisena. Tehdasalueilla putkistot voidaan rakentaa myös maanpäällisenä. (Kaasuyhdistys 2014.)

Käyttöputkiston suunnittelupaine tulee valita vähintään yhtä suureksi kuin suurin paine, jonka alaiseksi putki käyttöolosuhteissa joutuu. Teräksisten putkien ja putken osien (käyrä, haaroitus, laippa) suunnittelupaineen tulee olla kuitenkin vähintään 10 bar. (Kaasuyhdistys 2014.)

Käyttöputken sisähalkaisija voidaan laskea suositellun virtausnopeuden avulla käyttämällä kaavaa 1. PSK Standardoinnin (2009) ilmoittama suositeltu virtausnopeus palaville kaasuille on 10–20 m/s. Annettu virtausnopeus on ohjeellinen ja tarkempaa mitoitus varten on tehtävä tapauskohtaiset painehäviölaskelmat.

$$D = \sqrt{\frac{qV \times 4}{\pi \times v}} \quad (1)$$

D = sisähalkaisija (m)
 qV = tilavuusvirta (m³/s)
 v = virtausnopeus

Kaasun tilavuusvirtaa (kaava 2) laskiessa huomioon on otettava ympäristöolosuhteista riippuva kaasun tiheys:

$$qV = \frac{m}{\rho(T,p) \times t} \quad (2)$$

m = kaasun massa (kg)
 T = aika (s)
 ρ = kaasun tiheys lämpötilan ja paineen funktiona

Esimerkiksi virtausnopeudella 10 m/s ja metaanin tilavuusvirralla 0,3 m³/s (40 MW, 20°C, 4 bar) putken halkaisijaksi saadaan 195 mm. Putkikoko olisi näin ollen DN200.

Käyttöputkistolle vaaditaan rakentamislupa, kun kohteen polttoaineteho ylittää 1,2 MW. Lupa-asioihin palataan tarkemmin tämän raportin kappaleessa 5. Käyttöputkiston saa asentaa Turvallisuus- ja kemikaaliviraston hyväksymä asennus- ja huoltoliike (hyväksytty liike).

4.6 Poltintekniikka

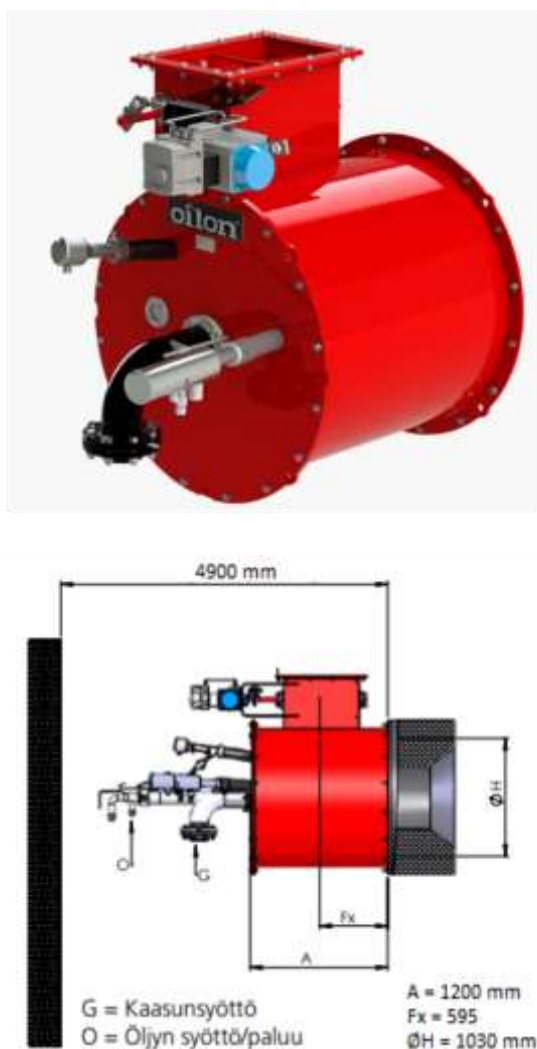
Poltintekniikan valinnassa oletuksena on, että olemassa oleva öljynpolttomahdollisuus jätetään varalle. Öljyjärjestelmän varalle jättämistä puoltaa sen hyödyt esimerkiksi mahdollisissa kaasun toimitusvaikeuksissa tai ennakoimattomissa laitoksen alas- ja ylösajotilanteissa.

Biometaanin polttomahdollisuuden lisääminen olemassa oleviin öljypolttimiin on periaatteessa mahdollista modifioimalla polttimet yhdistelmäpolttimiksi, ts. kaasulle asennetaan lanssi nykyisen öljylanssin ympärille. Muutoksen myötä polttimista tulisi kuitenkin uusittavaksi merkittävä osa. Lisäksi modifioinnissa iso merkitys on työn osuudella eikä ainoastaan osien lisäyksellä. Modifiointi on usein jossain määrin hankalampaa kuin uuden rakentaminen ja kustannukset nousevat muokkauksissa helposti lähelle uuden laitteiston hintatasoa. Tämän vuoksi poltinten vaihtaminen uusiin saattaa olla pitkällä tähtäimellä kannattavampaa ja tässä selvityksessä oletuksena onkin, että polttimet vaihdetaan kokonaan uusiin yhdistelmäpolttimiin.

Olemassa olevat öljyventtiilikeskukset voidaan todennäköisesti hyödyntää sellaisenaan. Myöskään palamisilmapuhaltimia ei tarvitse uusia; ilmamäärä on riittävä myös biokaasun polttoon. Uusina varusteina tulisi näin ollen yhdistelmäpolttimet ja niiden kaasuventtiilikeskukset. Lisäksi automaatioon tulee tehdä lisäyksiä tai rakentaa uusi automaatio. Tässä selvityksessä polttinvaihtoehdoksi valittiin Oilonin GKT-25K –yhdistelmäpoltin.

4.6.1 Oilonin K-yhdistelmäpoltin

K-poltin (kuva 6) sopii vaativiin teollisuusprosesseihin, kuten jätteiden polttoon. Palamisilma syötetään tangentiaalisesti ilmakaappiin, millä aikaansaadaan voimakas palamisilman pyörre ja stabiili liekki. Polttimen rakenne mahdollistaa liekin pysymisen vakaana myös silloin, kun tulipesän paine ja prosessiolosuhteet vaihtelevat. K-poltin voidaan varustaa useilla lansseilla sen mukaisesti, kuinka monta polttoainetta on käytössä. GKT-25K polttimen tehoalue on 4,4–22,0 MW (Oilon 2020.)

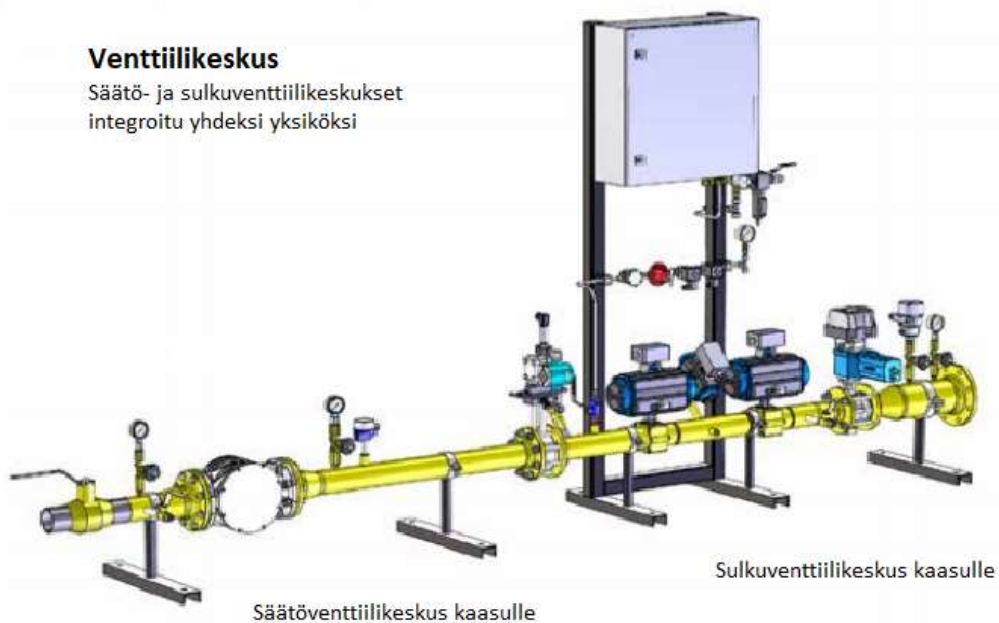


Kuva 6. Oilon GKT-25K yhdistelmäpoltin kevytöljylle ja kaasulle.

Polttimen suutinpaine on suuruusluokkaa 100–300 mbar. Kaasun paine pudotetaan polttimelle sopivaksi venttiilikeskukseen paineensäätimissä.

4.6.2 Kaasun paineensäätö

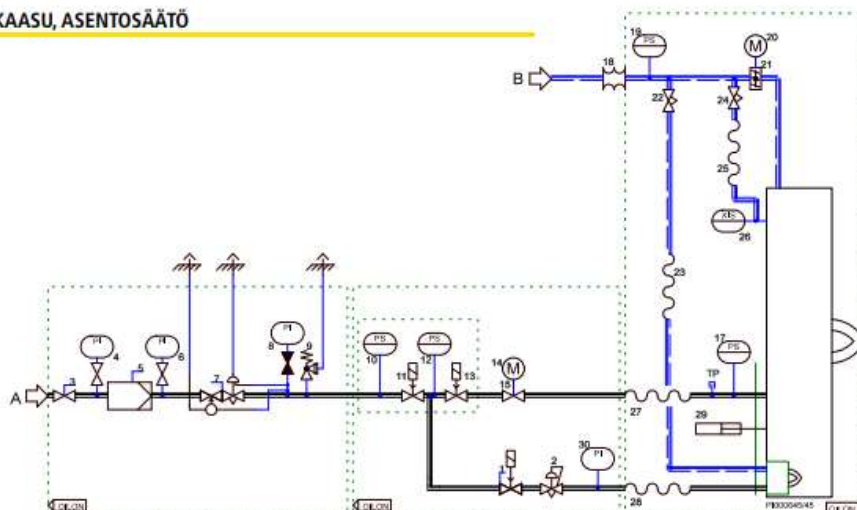
Venttiilikeskus (kuva 7) koostuu kaasun säätö- ja sulkuventtiiliryhmistä. Mittaus- ja säätöventtiiliryhmä voi olla poltinkohtainen tai useamman polttimen sovelluksissa myös yhteinen keskenään saman tehoisilla polttimilla (Oilon i.a.). Syöttöpaine venttiilikeskukseen tulee olla vähintään 0,3 barg (Laitinen 2021), mutta kuten aiemmin todettiin, yleensä vaaditaan 3–4 bar (abs), jotta kaasumäärän mittaukselle ja säädölle jäisi riittävästi painehäviötä. Oilonin tarjoamissa paineensäätimissä maksimitulopaine on tyypillisesti 8 bar (Palo 2021).



Kuva 7. Venttiilikeskuksessa säätö- ja sulkuventtiiliryhmät (Oilon 2020).

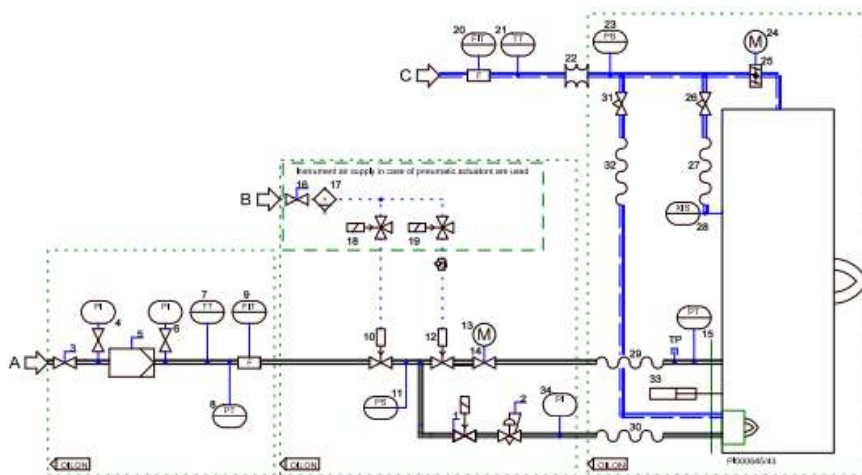
PI-kaaviot K-polttimelle ja kaasuventtiilikeskukseen esitetään kuvassa 8.

KAASU, ASENTOSÄÄTÖ



- | | | |
|-----------------------------------|--|---|
| 1. Magneettiventtiili, NC | 14. Toimilaite | 28. Taipuisa letku |
| 2. Paineensäädin | 15. Kaasumääränsäätöventtiili | 29. Paineilmasylinteri (vakiona lanssipolttimessa, S- ja K-polttimissa optio) |
| 3. Käsi käyttöinen sulkuventtiili | 17. Painekytkin, korkea | 30. Painemittari |
| 4. Painemittari | 18. Palje, ei kuulu Oilonin toimitukseen | |
| 5. Kaasusuodatin | 19. Painekytkin, matala | |
| 6. Painemittari | 20. Toimilaite | |
| 7. Turvasulullinen paineensäädin | 21. Palamisilmapelti | |
| 8. Painemittari | 22. Neulaventtiili | |
| 9. Apuvaroventtiili | 23. Taipuisa letku | |
| 10. Painekytkin, matala | 24. Neulaventtiili | |
| 11. Turvasulkuventtiili | 25. Taipuisa letku | |
| 12. Painekytkin, matala ja korkea | 26. Liekinilmaisin | |
| 13. Turvasulkuventtiili | 27. Taipuisa letku | |
- A = Kaasusyöttö
B = Ilmansyöttö

KAASUMÄÄRÄN SÄÄTÖ



- | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|--|---|------------------|
| 1. Magneettiventtiili, NC | 9. Virtauksen mittaus | 17. Ilmansuodatin* | 26. Neulaventtiili | 34. Painemittari |
| 2. Paineensäädin | 10. Turvasulkuventtiili | 18. Magneettiventtiili* | 27. Taipuisa letku | |
| 3. Käsi käyttöinen sulkuventtiili | 11. Painekytkin | 19. Magneettiventtiili* | 28. Liekinilmaisin | |
| 4. Painemittari | 12. Turvasulkuventtiili | 20. Virtauksen mittaus | 29. Taipuisa letku | |
| 5. Kaasusuodatin | 13. Toimilaite | 21. Lämpötilalähetin | 30. Taipuisa letku | |
| 6. Painemittari | 14. Kaasumääränsäätöventtiili | 22. Palje, ei kuulu Oilonin toimitukseen | 31. Neulaventtiili | |
| 7. Lämpötilalähetin | 15. Paineilähetin, korkea | 23. Painekytkin, matala | 32. Taipuisa letku | |
| 8. Paineilähetin, korkea ja matala | 16. Käsi käyttöinen sulkuventtiili* | 24. Toimilaite | 33. Paineilmasylinteri (vakiona lanssipolttimessa, S- ja K-polttimissa optio) | |
| | | 25. Palamisilmapelti | | |
- A = Kaasusyöttö
B = Instrumentti-ilma
C = Ilmansyöttö
- * Instrumentti-ilmakomponentteja, jos käytössä on paineilmatoimilaitteita.

Kuva 8. Kaasujärjestelmän PI-kaaviot K-polttimelle (Oilon 2020).

Paineensäätölaitteisto sijoitetaan joko ulos mekaanisilta vaurioilta suojattuun kaappiin tai sisätilaan laitteistoa varten erikseen varattuun tilaan tai tiiviiseen suojakaappiin, josta on suora tuuletusyhteys ulos. Jos kaasun paine on yli 4 bar, tila luokitellaan räjähdysvaaralliseksi tilaksi. (Kaasuyhdistys 2014.)

4.6.3 Poltinautomaatiikka

Poltinautomaatio sisältää kaikki polttimen tarvitsemat ohjaukset, lukitukset, valvonnat ja säädöt. K-polttimille tarkoitettut vakioautomaatiikat ovat WiseDrive 1000 ja WiseDrive 2000. WD 1000:ssä on mm. seuraavat ominaisuudet (Oilon i.a.):

- Poltinohjausyksikkö EN 298, EN 230 ja TÜV-hyväksytty.
- Käynnistys ja pysäytys pääautomaatiojärjestelmästä tehdään binäärisillä HW-signaaleilla ja/tai paikallisohjauskaapista.
- Tehonsäätö perustuu tulevaan 4-20 mA -tietoon (esim. höyryn paine, kattilaveden lämpötila, polttimen teho).
- Polttoaineen/palamisilman suhdesäätö toteutetaan säätötoimilaitteiden asentoviesteihin perustuen.
- Automaatiikkaan voidaan liittää O₂-säätö sekä CO-säätö O₂-säätön rinnalle.
- Ulkopuolisille lukituksille varattu 5 binääristä laukaisupiiriä.
- Syöttöjännite 230 VAC, sisäiset ja ulkoiset ohjaukset 240 VAC. Sisältää tehon syöttöyksikön 230 VAC / 24 VDC.
- Teräskaappi 800 x 1200 x 400 (L x K x S), IP55, ei ATEX-luokiteltu.
- Koko järjestelmä ei-ATEX luokiteltu.

Automaatiikka voidaan sijoittaa joko erilliseen automaatiotilaan tai kattilan läheisyyteen. Korkein sallittu ympäristön lämpötila on +40 °C ilman erillistä jäähdytystä. Korkeampi lämpötila edellyttää instrumentti-ilmapursotusta tai jäähdyttimiä, jotka voidaan toimittaa optiona.

4.7 Tukipolttoaineen vaihdon päästövaikutukset

Kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen on yksi tärkeimpiä bioenergiaa puoltavia tekijöitä. Kuten muidenkin uusiutuvien polttoaineiden, myös biokaasun käytön aikaiset hiilidioksidipäästöt ovat laskennallisesti nolla: Nettomääräinen hiilidioksidin määrä ilmakehässä ei lisääntynyt, sillä biohajoavaan raaka-aineeseen on sitoutunut saman verran CO₂:sta kuin biokaasun palamisessa vapautuu.

Kasvihuonekaasujen inventaarion laadinnassa käytettävä Tilastokeskuksen polttoaineluokitus ilmoittaa kevyen polttoöljyn CO₂-päästökertoimeksi 73,1 t/TJ (Tilastokeskus 2020). Kun keskimääräiseksi vuosittaiseksi tukipolttoaineen energiasisällöksi oletetaan 170 tonnia kevyttä polttoöljyä vastaava 7,334 TJ, saadaan polttoaineen vaihdolla saavutettavaksi polton aikaiseksi päästövähennykseksi 536 CO₂-tonnia vuodessa. Vuonna 2019 Westenergyn fos-

siiliset CO₂-päästöt olivat 78 836 tonnia. Vaihtamalla tukipolttoaine fossiilisesta polttoöljystä biometaaniin saavutettaisiin noin 0,7 %:n päästövähennys laitoksen vuosittaisissa kokonaishiilidioksidipäästöissä.

Yksihiilinen metaani palaa puhtaasti ja sen poltossa syntyvät hiukkaspäästöt ovat erittäin pienet. Metaanin poltossa ainoa merkittävä savukaasupäästö on typen oksidit, joita muodostuu lähinnä palamisilman sisältämästä typestä (Jalovaara ja muut 2003). Poltossa syntyvien typen oksidien määrä riippuu poltintyypistä, tulipesän mitoituksesta ja ajoparametreista, erityisesti palamisilman määrästä, sekä polttoaineen ominaisuuksista. Jalovaaran ja muut (2003) mukaan tyypilliset NO_x-ominaispäästökertoimet suurissa maakaasukattiloissa ovat 40–80 mg/MJ. Kevytöljykattiloissa vastaavat ominaispäästökertoimet ovat 60–120 mg/MJ, joten vaihdolla saavutettava NO_x-päästövähennys tukipolttoaineen osalta olisi 30 %:n luokkaa.

Voidaan todeta, että ympäristöluvan mukaan mitattavien päästökomponenttien osalta tilanne paranee nykytilanteeseen verrattuna, jos tukipolttoaineena käytetään biometaania kevyen polttoöljyn sijaan.

4.8 Tukipolttoaineen vaihdon kustannusvaikutukset

4.8.1 Investointikustannukset

Investointikustannuksista merkittävimmän osan muodostaa kaasuväaraan liittyvät kustannukset. Kustannustasoon vaikuttaa erityisesti kaasun varastointimuoto. Seuraavassa esitetään kustannusarviot kummallekin varastointimuodolle kahdessa eri kokoluokassa. Kaasuväaraan kustannuksiin lasketaan säiliöiden lisäksi kaasun käytön kannalta välttämättömät oheislaitteet, kuten paineenvähennysyksikkö ja vastaavasti nesteytetyn kaasun kohdalla höyrystinyksikkö.

Kaasuväara paineistetulle kaasulle

Paineistetun kaasun väara oletetaan kiinteäksi pulloväaraksi, jolloin voidaan käyttää edullisempia tyypin I terässylintereitä. Vaihtoehdossa 1 kaasun massa on noin 29 t ja vaihtoehdossa 2 noin 43 t. Kaasun tiheytenä käytetään 212 kg/m³ (15°C, 250 bar). Väarasäiliöiden tilavuudeksi vaihtoehdossa 1 saadaan 136 m³ ja vaihtoehdossa 2 säiliötilavuus on 203 m³. Säiliöiden yksikköhintana käytetään 5 €/l (sivu 15, taulukko 3) ja hintaan lasketaan 20 % lisä kaasusylinterien vaatimia kehikoita ja muita rakenteita varten (räkit). Lisäksi tarvitaan kompressori kaasun siirtämiseksi kuljetuspainesäiliöstä kiinteään painesäiliöön sekä paineenvähennyslaitteisto, joka alentaa kaasun paineen polttimien vaatimusten mukaisesti. Kompressorin ja paineenvähennyslaitteiston kustannusarvio perustuu laitetoimittajalta saatuun hinta-arvioon.

Kaasuvarasto paineistetulle kaasulle, vaihtoehto 1 (400 MWh)

Terässylinterit yht. 136 m ³ + sylinteriräkit	816 000 €
Paineenvähennyslaitteisto	360 000 €
Kompressori	210 000 €
Perustukset ja maatyöt	50 000 €
Asennukset, kaapeloinnit ym.	20 000 €
Yhteensä	1 456 000 €

Kaasuvarasto paineistetulle kaasulle, vaihtoehto 2 (600 MWh)

Terässylinterit yht. 203 m ³ + sylinteriräkit	1 218 000 €
Paineenvähennyslaitteisto	360 000 €
Kompressori	210 000 €
Perustukset ja maatyöt	60 000 €
Asennukset, kaapeloinnit ym.	20 000 €
Yhteensä	1 868 000 €

Kaasuvarasto nesteytetylelle kaasulle

Nesteytetyn kaasun varaston investointikustannuksiin luetaan kryogeenisen LBG-säiliön lisäksi höyrystin. Lisäksi tarvitaan betoninen pohjalaatta, joka kantaa säiliön kuorman. Alla olevissa kokonaiskustannusarvioissa säiliöiden ominaiskustannuksena käytetään luvussa 4.4.2 kuvattua mukaisesti 2 000 €/m³ ja höyrystimen hintana 30 000 €. Suuremman säiliön perustuskustannuksia nostaa 100 m³ ja sitä suuremmille säiliöille vaadittavan vuotojen keruun rakentaminen. Asennuskustannukset muodostuvat henkilötyön lisäksi säiliön pystyttämiseksi tarvittavista nosturikustannuksista. Säiliön toimitus tapahtuu suurten mittojen vuoksi erikoiskuljetuksena, jolle kustannukseksi arvioidaan 10.000 € (Heinonen 2016). Perustuskustannukset sekä instrumentoinnin ja sähköistyksen kustannukset perustuvat arvioituihin hintoihin.

Vaihtoehto 1 (400 MWh, säiliön koko 76 m³)

LBG-säiliö	152 000 €
Höyrystin	30 000 €
Perustukset ja maatyöt	40 000 €
Kuljetukset ja asennus	20 000 €
Instrumentointi ja sähköistys	30 000 €
Yhteensä	272 000 €

Vaihtoehto 2 (600 MWh, säiliön koko 113 m³)

LBG-säiliö	226 000 €
Höyrystin	30 000 €
Perustukset ja maatyöt	60 000 €
Kuljetukset ja asennus	30 000 €
Automaatio, kaapeloinnit ym.	30 000 €
Yhteensä	376 000 €

Käyttöputkisto

Kaasuputki kaasuvarastolta polttimien paineensäätöyksiköille.

- 50 m, DN200 putki maan alle asennettuna, hinta-arvio 200 €/m

Kokonaishinta **10.000 €**.

Polttimet, ohjausautomaatio ja kaasuputkistovarusteet

Kustannusarvio sisältää:

- 2 kpl GKT-25 K yhdistelmäpolttimia varusteineen
- 2 kpl ohjausautomaatio WD 1000
- 2 kpl kaasuputkistovarusteet biokaasulle

Hinta-arvio yhteensä **180.000 €**.

Yhteenvedo investointikustannuksista eri vaihtoehdoille

Kokonaiskustannusarviot kullekin vaihtoehdolle muodostuvat seuraavasti:

	Vaihtoehto 1 (400 MWh)		Vaihtoehto 2 (600 MWh)	
	CBG	LBG	CBG	LBG
Kaasuvarasto	1 456 000	272 000	1 868 000	376 000
Käyttöputkisto	10 000	10 000	10 000	10 000
Polttimet, ohjausautomaatio ja putkistovarusteet	180 000	180 000	180 000	180 000
Yhteensä (€)	1 646 000	462 000	2 058 000	566 000

Edellä kuvatuissa kustannusarvioissa ei ole huomioitu luvituksista ja viranomaistarkastuksista aiheutuvia kustannuksia eikä projektin yleiskuluja kuten projektin suunnittelua ja johtoa.

4.8.2 Käyttökustannukset

Käyttökustannusten osalta käsitellään vain polttoainekustannukset. Paineistetun biometaanin hinta teollisuusasiakkaille on 65–75 €/MWh ja biometaanin nesteytyskustannukset ovat teknii- kasta riippuen 10–20 €/MWh (Spoof-Tuomi 2021). Tämän perusteella nesteytetyn kaasun hin- naksi saadaan 75–95 €/MWh. Vuonna 2020 tehdyssä meriliikennepolttoaineiden selvityksessä North European Oil Trade (NEOT) Oy:n ilmoittama hinta LBG:lle oli 80–90 €/MWh (Spoof- Tuomi ja Niemi 2020).

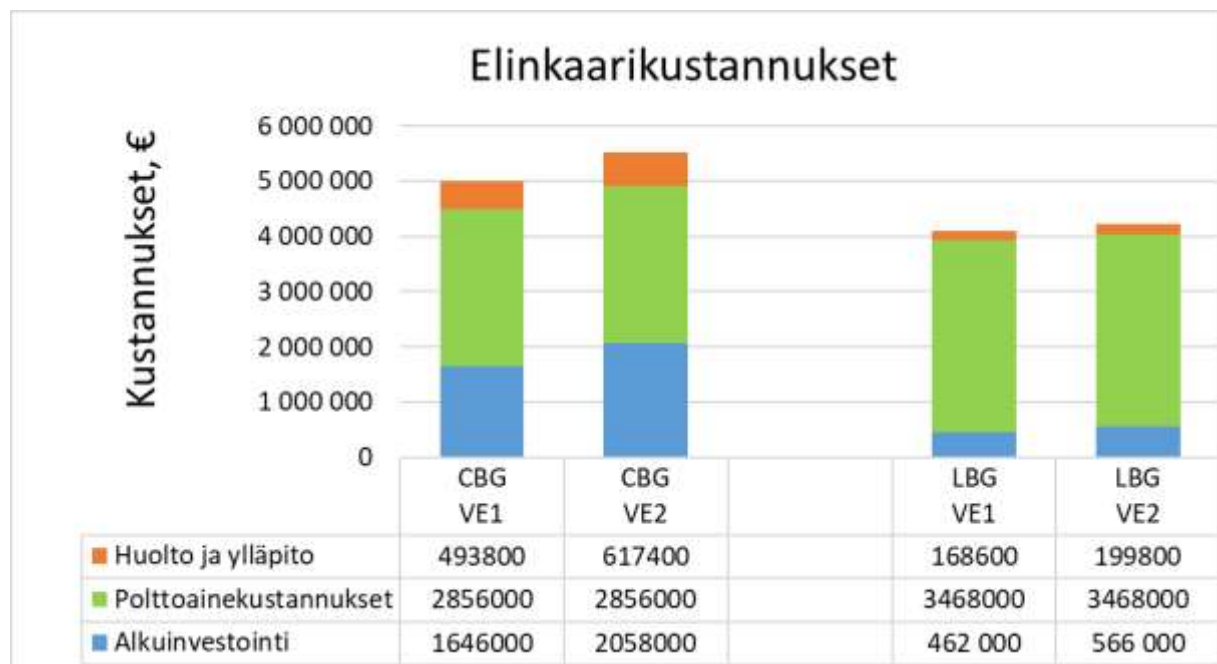
Kaasun vuosikulutuksella 2 040 MWh paineistetun biometaanin kustannus olisi 132 600– 153 000 € vuodessa ja nesteytetyn kaasun vuosikustannus 153 000–193 800 €.

4.8.3 Elinkaarikustannukset

Eri vaihtoehtojen kustannusvaikutusten vertailemiseksi kullekin vaihtoehdolle laskettiin elin- kaarikustannukset (kuva 9). Yksinkertaistetussa laskennassa käytettiin elinkaarikustannusten summakaavaa:

$LCC = \text{alkuinvestointi} + \text{käyttöaika vuosina} * (\text{kaasun vuosittainen hankintakustannus} + \text{vuo- sittaiset huolto- ja ylläpitokustannukset})$

Alkuinvestointi sisältää kaasuvaraston, käyttöputkiston ja poltinvaihdon. Käyttökustannuk- sissa huomioidaan vain kaasupolttoaineen hankintakustannus ja laitteistojen huoltokustannuk- set. Esimerkiksi käyttöhenkilöstön palkkakustannuksia, kaasun kuljetuskustannuksia ja pai- neenvähennysjärjestelmän tai kompressorin energiakustannuksia ei huomioitu. Laskenta-ai- kana käytettiin 20 vuotta. CBG:n hintana laskelmassa käytetään 70 €/MWh ja LBG:n hintana 85 €/MWh. Huolto-kustannukseksi määriteltiin 1,5 % alkuinvestoinnista. Lisäksi LBG-höy- rystin uusitaan laskenta-aikana kertaalleen.



Kuva 9. Elinkaarikustannukset eri vaihtoehdoille.

Analyysin perusteella edullisempänä näyttäytyy LBG-vaihtoehto. Nesteytetyn kaasun kohdalla haasteita kuitenkin asettaa ajoittaiseen käyttöön liittyvä boil-off kaasun hallinta. Ellei boil-off kaasua syötetä säännöllisesti prosessiin, on sille perustettava välisäiliö tai se on nesteytettävä uudelleen esimerkiksi nestetyypen avulla. Tässä selvityksessä ei otettu kantaa BOG-hallintamenetelmään eikä sitä huomioitu kustannuksissa. Nesteytetyn biometaanin saatavuus on myös vielä rajoitettua ja sitä on tällä hetkellä saatavissa vain Gasumilta Turun nesteytyslaitokselta. Keskusteluita nesteytetyn biometaanin tuottamisesta Pohjanmaalla on kuitenkin käynnissä.

5 Kaasukäyttöön liittyvä lainsäädäntö ja lupamenettelyt

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) mukaan biokaasu rinnastetaan hallinnollisten vaatimusten osalta maakaasuksi, jos sen metaanipitoisuus on 80 % tai enemmän.

Maakaasuputkistolle ja kaasulaitteille on laadittu varsin kattava lainsäädäntö. Maakaasun tekniseen käyttöön ja turvallisuuteen liittyvän lainsäädännön runkona toimii laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005), jäljempänä kemikaaliturvallisuuslaki. Mainitun lain nojalla annettu Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta (551/2009) antaa kaikki perusvaatimukset rakentamiselle, asentamiselle, tarkastamiselle, käytölle ja käytön valvonnalle sekä toimenpiteille mahdollisissa vaurio- ja onnettomuustilanteissa. Kaasulaitteita koskevat vaatimukset määritellään tarkasti kaasulaiteasetuksessa (1434/1993), joka perustuu vastaavaan EU-direktiiviin. Lisäksi kaasuasennuksista on säädetty valtioneuvoston asetuksessa hyväksytyistä liikkeistä (558/2012), jossa määritellään mm. hyväksytyjen kaasuasennusliikkeiden oikeudet ja liikkeiden vastuuhenkilöiden pätevyysvaatimukset. (Tukes 2021b; Suomen Kaasuyhdistys 2014.) Säädökset löytyvät säädösnumerollaan säädöskokoelmasta www.finlex.fi. Lisäksi Tukes on laatinut erillisen luettelon niistä standardeista, joita noudattaen kemikaaliturvallisuuslain (390/2005) vaatimusten katsotaan täyttyvän. Linkki vuosittain päivitettävään listaan löytyy osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasuja-biokaasu>. Lisäksi huomioitavia ovat esimerkiksi painelaitelaki (1144/2016), joka säätelee painelaitteiden teknilliset vaatimukset sekä sähkö- ja työturvallisuussäädökset ja asetukset, jotka määrittelevät tekniset vaatimukset räjähdysvaarallisessa ympäristössä toimiville laitteille.

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi keskeisimmät biometaanin käyttöön ja varastointiin liittyvät säädökset ja lupamenettelyt.

5.1 Rakentamislupa

Biometaanin varastoinnille on haettava Tukesin rakentamislupa, kun varastointimäärä on 5 tonnia tai enemmän. Tukesille tehtävän ilmoituksen ja rakentamislupahakemuksen rajat sekä Seveso-direktiivin (2012/18/EU) mukaisen toimintaperiaateasiakirjan ja turvallisuusselvityksen rajat on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4. Varastoinnin luparajat (Tukes 2021a).

Jalostetun biokaasun varastoinnin lupamenettely	Ilmoitus Tukesille	Lupa Tukesilta	Toimintaperiaateasiakirjalaitos (lupa Tukesilta)	Turvallisuusselvityslaitos (lupa Tukesilta)
Biokaasua (puhtausaste vähintään 80 %)	0,2 – alle 5 tonnia	5 – alle 50 tonnia	50 – alle 200 tonnia	Vähintään 200 tonnia

Huomioitava on, että vaikka LBG:n tiheys on tyypillisesti 420-450 kg/m³, käytetään lupa-asioissa tiheytenä 500 kg/m³. Esimerkiksi 100 m³ säiliöön lasketaan mahtuvan 50 tonnia LBG:tä, jolloin ko. laitoksen kemikaalien määrä ylittää toimintaperiaatelaitoksen toiminnan rajat.

Kaasuvaraston sijoittamisessa tulee huomioida riittävät suojaetäisyydet rakennuksiin, liikenneväyliin, voimajohtoihin ja mahdollisiin suuriin palokuormiin. Suunnittelun lähtökohtana voi pitää Tukesin julkaisemia ohjeellisia suojaetäisyyksiä, joissa esimerkiksi työpaikkahuoneistoihin vaadittava suojaetäisyys on 25 metriä. Vähimmäisetäisyys suureen palokuormaan, kuten öljysäiliöön, tulee selvittää mallintamalla lämpösäteily- ja painevaikutuslaskelmia. Riittävällä suojaetäisyyksillä pyritään rajoittamaan tulipalo- ja räjähdystilanteissa vaikutusalue mahdollisimman pieneksi ja torjumaan palon leviäminen ympäristöön sekä helpottamaan alueen tyhjentämistä onnettomuus- ja vaaratilanteissa.

Rakentamislupahakemuksessa tulee olla mm.:

- Kuvaus varaston toiminnasta ja erityisesti siitä, miten maakaasun varastointi on suunniteltu pääasiassa tapahtuvaksi, tarvittaessa kaaviopiirros.
- Selvitys varastoitavan maakaasun määrästä.
- Selvitys mahdollisista muista kemikaaleista, joita varastointiin liittyy.
- Laitoksen sijaintipaikan karttapiirros, josta näkyy varastoa ympäröivä vähintään 500 metrin levyinen vyöhyke (vyöhyke 2000 metriä kun varastointimäärä vähintään 50 tonnia) rakennuksineen ja muine kohteineen, joissa voi olla ihmisiä.
- Arvio varaston sijoituksen kannalta merkittävimpien tunnistettujen onnettomuuksien laajuudesta ja vakavuudesta sekä niiden vaikutuksesta ihmiseen, ympäristöön tai omaisuuteen.
- Varastoinnista mahdollisessa onnettomuustilanteessa aiheutuvat lämpösäteily- ja painevaikutukset (laskelmat).

Huomattava on, että Tukes-luvanvaraisuutta arvioitaessa mukaan lasketaan kaikki laitoksella varastoitavat kemikaalit. Vaikka varastoitavan metaanin määrä alittaisi 50 tonnia, voidaan laitos katsoa Tukes-luvanvaraiseksi toimintaperiaatelaitokseksi, jos kaikkien laitoksella varastoitavien kemikaalien yhteismäärä ylittää Vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta annetun valtioneuvoston asetuksen (685/2015) mukaisen luparajan. Toiminnan luvanvaraisuuden selvittämisessä apuna voi käyttää Tukesin sivuilta löytyvää KemiDigi-järjestelmää (<https://www.kemidigi.fi/suhdelukulaskenta>).

5.2 Toimintaperiaateasiakirja

Vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta annetun valtioneuvoston asetuksen (685/2015) mukaan toiminnanharjoittajan tulee selvittää toimintaperiaatteensa onnettomuuksien ehkäisemiseksi ja koota ne asiakirjaksi (toimintaperiaateasiakirja), jos asetuksessa määritellyt vaarallisten kemikaalien määrät tuotantolaitoksessa ylittyvät. Asiakirjassa toiminnanharjoittajan tulee selostaa toimintaperiaatteensa suuronnettomuuksien ja muiden onnettomuuksien ehkäisemiseksi.

Kaikissa laajamittaista teollista käsittelyä ja varastointia harjoittavissa tuotantolaitoksissa tulee olla henkilö, joka tuntee kemikaaleja koskevat säännökset ja määräykset (käytönvalvoja). Käytönvalvojan tulee ennen nimeämistä suorittaa pätevyyskoe Tukesissa. Lisäksi tuotantolaitok-

sisä on oltava henkilö, joka vastaa siitä, että laitoksella toimitaan laadittujen toimintaperiaatteiden mukaisesti siten, että turvallisuustoiminta tuotantolaitoksella on suunnitelmallista ja tavoitteellista ja että onnettomuuksien ennalta ehkäisemistä koskevat toimenpiteet perustuvat toiminnasta aiheutuvien vaarojen tunnistamiseen. Vastuuhenkilön ja käytönvalvojen nimet ja vastualueet esitetään asiakirjassa. Toimintaperiaatteista vastaava henkilö ja käytönvalvoja voivat olla sama henkilö.

Toimintaperiaateasiakirjan laatimisesta on julkaistu Tukes-ohje (10/2015), ohje on saatavilla osoitteessa <https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/Tukes-ohje+10-2015+Toimintaperiaateasiakirja/>.

Toimintaperiaateasiakirja tai yhteenveto asiakirjasta liitetään lupahakemukseen. Tarkastuksen yhteydessä toiminnanharjoittajan tulee esittää asiakirja ja osoittaa, miten siinä esitettyjen toimintaperiaatteiden noudattamisesta on huolehdittu. Toimintaperiaateasiakirja tulee tarkistaa ja saattaa ajan tasalle vähintään joka viides vuosi, ja aina sellaisten muutosten johdosta, joilla voi olla merkittäviä seurauksia suuronnettomuuksiin liittyvien vaarojen suhteen.

Toimintaperiaateasiakirjan laatimisvelvollisen toiminnanharjoittajan on tiedotettava tuotantolaitosta koskevista turvallisuustoimenpiteistä ja onnettomuustapauksissa noudatettavista toimintaohjeista suuronnettomuuden varalta. Tiedot on pidettävä ajan tasalla ja pidettävä pysyvästi yleisön saatavilla myös sähköisessä muodossa

5.3 Tarkastukset

Tukesin rakentamisluvan vaatineille maakaasuputkistoille ja -laitteistoille tehdään käyttöönototarkastus ja joka kahdeksas vuosi määräaikaistarkastus. Tarkastuksen tekee hyväksytty tarkastuslaitos. *Toimintaperiaatelaitoksille määräaikaistarkastus tehdään 3 vuoden välein.*

Maakaasu/biometaanivaraston, vähintään 5 tonnia, osalta käyttöönototarkastuksen tekee Tukes. Tukes tekee kohteelle tarkastuksen ennen käyttöönottoa ja antaa käyttöluvan. Huom. Tukesin käyttöönototarkastusta edeltävät tarkastuslaitoksen tekemät tekniset tarkastukset.

5.4 Putkiston vastuuhenkilö eli käytön valvoja

Maakaasuputkistoon katsotaan kuuluvaksi kaikki maakaasua sisältävät putkistot ja laitteet sekä kokonaisuuteen liittyvät säiliöt, joiden sisältönä on maakaasu/biometaani. Toiminnanharjoittajan tulee ennen käyttöönottoa nimetä kohteelle maakaasuputkiston käytöstä vastaava henkilö (käytön valvoja), sekä yli 6 MW laitoksissa myös yksi tai useampi sijainen. Maakaasun käytönvalvojan tehtävä on valvoa maakaasutoimintaa ja huolehtia maakaasuputkistojen sekä -laitteiden turvallisesta käytöstä.

Maakaasun käyttöputkiston ja varaston käytönvalvojalla ja sijaisella on oltava

- hyväksytysti suoritettu Tukesin järjestämä maakaasun käytönvalvojan koe
- kohde huomioiden riittävä työkokemus maakaasun käyttöön ja varastointiin perehdyttämissä tehtävissä

Yrityksen on ilmoitettava nimeämänsä käytönvalvojat Tukesiin. Nimettävän henkilön on annettava kirjallinen suostumus tehtävään. Ellei toiminnanharjoittajalla ole maakaasun käytön alkuvaiheessa käytettävissä sopivaa henkilöä käytön valvojaksi, voidaan käyttää ulkopuolista pätevää henkilöä käytön valvojana.

Käytön valvojan tehtävät on lueteltu maakaasuasetuksessa (1058/1993). Tärkeintä on hoitaa tehtävää niin, että maakaasuputkistot käyttölaitteineen ovat kunnossa, toiminta on hallittua ja käyttäjät tuntevat ja osaavat tehtävänsä. Käytön valvoja myös hoitaa dokumentoinnin valvontakirjaan riittävässä laajuudessa.

5.5 Valvontakirja

Kaasujärjestelmälle on laadittava maakaasuasetuksen mukainen valvontakirja. Valvontakirja koostuu maakaasuputkiston rakentamisen aikana kertyvistä asiakirjoista, piirustuksista, asennustodistuksista ja tarkastuspöytäkirjoista sekä käytönaikaiseen toimintaan ja käytön valvojan merkintöihin liittyvästä aineistosta.

5.6 Muuta huomioitavaa

5.6.1 Räjähdyssuojausasiakirjan päivitys

Räjähdyssuojausasiakirja tulee päivittää aina kun tiloissa tapahtuu räjähdysvaaran kannalta oleellisia muutoksia. Maakaasu on palava kaasu ja se voi hallitsemattomana muodostaa räjähdyskelpoisia pitoisuuksia. Tämän estämiseksi ja hallitsemiseksi toiminnanharjoittajan on riittävässä laajuudessa toiminnan luonne huomioiden tehtävä laitteiston räjähdysvaaran arviointi ennen laitteiston käyttöönottoa.

Asiakirjassa tulee olla arvioinnin tulokset, tekniset ja organisatoriset suojaustoimenpiteet ja räjähdysvaarallisten tilojen (ATEX) luokittelu. Teknisiä suojaustoimenpiteitä voivat olla esimerkiksi kohdepoistot sekä kaasunilmaisimet ja niihin kytketty hälytys ja venttiilien sulkeutuminen. Organisatorisena suojaustoimenpiteenä voi pitää esimerkiksi ohjeistusta ja pääsulkuventtiilien selkeätä merkintää.

5.6.2 Pelastussuunnitelman päivittäminen

Pelastussuunnitelman osalta sovelletaan Vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelyä ja varastoinnin valvonnasta annetun valtioneuvoston asetuksen (685/2015) mukaista menettelyä. Asetuksen mukaan toiminnanharjoittajan tulee tarkistaa pelastussuunnitelma vähintään kolmen vuoden välein ja aina tarpeen vaatiessa korjata ja ajanmukaistaa se. Tarkistamisessa on otettava huomioon tuotantolaitoksessa tapahtuneet muutokset.

Pelastussuunnitelma on syytä päivittää jo ennen kaasujärjestelmän käyttöönottoa. Paikallisten pelastusviranomaisten kanssa tulisi keskustella laitoksen erityispiirteistä jo suunnitteluvaiheessa ja samalla kartoittaa pelastuslaitoksen varautuminen ja vasteaika. Päivitetty suunnitelma toimitetaan pelastusviranomaiselle.

5.6.3 Rakennus- tai toimenpidelupa

Rakennus- tai toimenpidelupa haetaan paikalliselta rakennusvalvontaviranomaiselta.

5.6.4 Kaasuasennukset

Maakaasun/biometaanin käyttöputkistoja ja –laitteita saavat asentaa vain Tukesin hyväksymät asennusliikkeet. Tukesin sivuilla hyväksytyjen liikkeiden rekisteristä voi tarkistaa, onko toiminnanharjoittajalla säädösten mukainen oikeus tehdä kyseisiä töitä. Linkki rekisteriin löytyy sivulta <https://tukes.fi/asiointi/rekisterit-ja-patevyudet/hyvaksytyt-liikkeet>.

Lähteet

- Biovoima 2019. Ratkaisut. Kaasunsiirtokontit. Suomen Biovoima Oy. <https://biovoima.com/ratkaisut/kaasunsiirtokontit>
- Haimila, Paavo 2019. Liikennebiokaasun jakelu Mikkelin seudulla: teknologia-, kustannus- ja kannattavuustarkastelu. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/103406/Diplomity%C3%B6.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Heikkilä, Jukka. Julkaisuaika tuntematon. Korvenmäen ekovoimalaitoshanke. Lounais-Suomen Jätehuolto Oy. <https://www.lsjh.fi/wp-content/uploads/korvenmaen-ekovoimalaitoshanke.pdf>
- Heinonen, Joonas 2016. Nesteytetyn maakaasun kilpailukyky Suomen teollisuudessa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/127287/Heinonen%20Joonas%20Nesteytetyn%20maakaasun%20kilpailukyky%20Suomen%20teollisuudessa.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Hiltunen, Toni 2021. Suomen Biovoima Oy. Keskustelu 2.2.2021.
- Hulgaard, T. & Vehlow J. 2011. Incineration: Process and Technology. Teoksessa: T.H. Christensen (toim.), *Solid Waste Technology and Management (Vol 1)* (s. 365-392). Blackwell Publishing Ltd, doi: 10.1002/9780470666883.
- HZI 2019. Hitachi Zosen Inova AG. References. Plants in operation. Vaasa, Finland. <https://www.hz-inova.com/cms/wp-content/uploads/2014/11/Vaasa.pdf>
- Jalovaara, J., Aho, J., Hietamäki, E. & Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Suomen ympäristökeskus 649. [https://www.motiva.fi/files/8707/Paras_kayttavissa_oleva_tekniikka_\(BAT\)_5-50_MWn_polttolaitoksissa_Suomessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/8707/Paras_kayttavissa_oleva_tekniikka_(BAT)_5-50_MWn_polttolaitoksissa_Suomessa.pdf)
- Jeppo Biogas 2021. Jeppo Biogas Ab, Jepuan Biokaasu Oy. Tietoa yrityksestä. <https://jeppo-biogas.fi/yritys/tietoa-yrityksesta/>
- KIVO 2021. Jätevoimalat. Suomen Kiertovoima. [viitattu 7.1.2021]. <https://kivo.fi/ymparimme/jatehuolto-ja-kiertotalous/jatevoimalat/>
- Laine-Ylijoki, J., Mroueh, U-M., Vahanne, P., Wahlström, M., Vestola, E., Salonen, S. & Havukainen, J. 2005. Yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn kuonista ja tuhista hyötykäyttöä ja loppusijoitettavia tuotteita. Kansainvälinen esiselvitys. Espoo 2005. VTT Tiedotteita 2291. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2005/T2291.pdf>
- Laitinen, Tero 2021. Oilon Oy. S-posti 10.2.2021.
- Lampinen, A. 2015. Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa Kymäläinen M. ja Parkarinen O. (toim.), *Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*. HAMKin e-julkaisuja, s. 124–172. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2017. Päätös 56/2017/1. Westenergy Oy Ab:n Mustasaaren jätteenpolttolaitoksen ympäristöluvan muuttaminen sekä toiminnan aloittamis-lupa. <https://westenergy.fi/wp-content/uploads/2019/11/Ymp%C3%A4rist%C3%B6lupa-2017.pdf>
- Länsi-Suomen ympäristökeskus 2009. Ympäristölupapäätös LSU-2008-Y-586 (111). <https://westenergy.fi/wp-content/uploads/2019/11/Ymp%C3%A4rist%C3%B6lupa-2009.pdf>
- Oilon (i.a). Voimalaitos- ja prosessipolttimet. Ryhmä 6 Teho 2-90 MW. Oilon Oy. <https://docplayer.fi/69745005-Voimalaitos-ja-prosessipolttimet.html>
- Oilon 2020. Duoblock-polttimet neste- ja kaasupolttoaineille. Oilon Oy. https://oilon.com/wp-content/uploads/2020/03/Oilon_Duoblock_Burners_for_Liquid_and_Gaseous_Fuels_FI.pdf
- Palo, Petri 2021. Oilon Oy. S-postit 26.1.2021 ja 10.2.2021.
- PSK Standardisointi 2009. Putkiston virtausnopeudet. Standardi PSK 2401, 2009-06-04. <https://docplayer.fi/67511465-Psk-standardisointi-standardi-psk-2401-psk-standards-association.html>
- Pöyry 2015. Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa. Loppuraportti 16.10.2015, Pöyry Management Consulting Oy. https://energia.fi/files/405/ET_Jatteiden_energiakaytto_Loppuraportti_161015.pdf
- Spoof-Tuomi, K. (2021). Techno-economic analysis of biomethane liquefaction processes. Hankeraportti, Vaasan yliopisto. <https://www.univaasa.fi/fi/tutkimus/hankkeet/biokaasu-hyodyntamismahdollisuudet-pohjanmaalla>
- Spoof-Tuomi, K. ja Niemi, S. (2020). Environmental and Economic Evaluation of Fuel Choices for Short Sea Shipping. *Clean Technologies* 2(1), 34–52, doi:10.3390/clean-technol2010004
- Stormossen 2021. Vuosikertomus 2019. Ab Stormossen Oy. https://www.stormossen.fi/annual_report/vuosikertomus-2019/kasittely-ja-hyodyntaminen/
- Suomen kaasuyhdistys 2014. Maakaasukäsikirja. Helmikuu 2014. <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>
- Suomen Kaasuyhdistys 2021. LNG Asiakassäiliöt. <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/lng-asiakassailiot/>
- Söderena, P., Suomalainen, M., Kajolinna, T., & Melin, K. 2019. Biometaanin väliavarastointi ja varastointi ajoneuvossa: Tulevaisuuden mahdollisuudet. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti No. VTT-R-06978-18. https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/26400504/Biometaanin_v_livarastointi_ja_varastointi_ajoneuvossa_Tulevaisuuden_mahdollisuudet.pdf
- Tilastokeskus 2020. Polttoaineluokitus 2020. http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Tukes 2021a. Maakaasun varastointi. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/maakaasun-varastointi>

- Tukes 2021b. Teollisuus. Maakaasu ja biokaasu. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu>
- UMOEO 2021. Application areas. Road. Umoe Advanced Composites. <https://www.uac.no/application-area/on-road/>
- Vesanto, Petri 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä. Jätteenpolton BREF 2006. Suomen ympäristökeskus 27/2006. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38712/SY_27_2006.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Westenergy 2018. Vuosiraportti 2018. Westenergy Oy Ab. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpoltto_ja_rinnakkaispolttolaitoks\(31207\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpoltto_ja_rinnakkaispolttolaitoks(31207))
- Westenergy 2019a. Yhteystiedot. Materiaalipankki. Vuosikertomus 2019. Westenergy Oy Ab. <https://2019.westenergy.fi/>
- Westenergy 2019b. Vuosiraportti 2019. Westenergy Oy Ab. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpoltto_ja_rinnakkaispolttolaitoks\(31207\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpoltto_ja_rinnakkaispolttolaitoks(31207))
- Vna 151/2013. Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013. Annettu Helsingissä 14.2.2013. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130151>