



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tom Liukkonen

Kaasuvoimalan tulevaisuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

14.5.2021

Tekijä Otsikko	Tom Liukkonen Kaasuvoimalan tulevaisuus
Sivumäärä Aika	31 sivua 14.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tomi Hämäläinen toimintovastaava Sauli Kopalainen
<p>Insinööritö tehtiin Helsingin seudun ympäristöpalvelulle. Työn tavoitteena oli tutkia erilaisia vaihtoehtoja kaasumootorivoimalaitoksen käyttämättömiksi jääville kaasumootoreille kaatopaikkakaasun vähentyessä.</p> <p>Työssä tutkittiin kaasumootorivoimalaitokselle vaadittavia muutoksia, jotta kaksi neljästä kaasumootorista saataisiin takaisin hyötykäyttöön. Sekä kahdelle kaatopaikkakaasu käyttöön jäävälle kaasumootorille riittävän laadukkaan polttoaineen takaaminen. Vähenevän kaatopaikkakaasun laatua pitää alkaa jalostamaan puhtaalla maakaasulla, jotta saadaan kaasumootorien toiminnan kannalta vaadittua metaanipitoista polttoainetta.</p> <p>Kaasumootorivoimalaitokselle täytyisi lisätä sekoitinjärjestelmä staattisella sekoittimella, sekä LNG/LBG-asema tai liittää olemassa oleva maakaasuputkiyhde maakaasun jakeluverkostoon. LNG/LBG-aseamalla voidaan tuottaa maakaasua tai vaihtoehtoisesti ottaa suoraan maakaasuverkosta puhdasta maakaasua laihan kaatopaikkakaasun rikastamiseen sekä suoraan käytettäväksi kahdelle kaasumootorille, jotka muutetaan täysin puhtaalle maakaasulle käytettäväksi.</p>	
Avainsanat	LNG, LBG, maakaasu

Author Title	Tom Liukkonen Future of the gas powerplant
Number of Pages Date	31 pages 14 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Engineering
Instructors	Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer Sauli Kopalainen, Operational Manager
<p>The thesis was done for the Helsinki Region Environmental Services HSY. The aim of this thesis work was to study alternatives to the gas engines in a gas engine power plant that will remain unused when landfill gas is depleted.</p> <p>The thesis work examined the changes required for a gas engine power plant to get two of the four gas engines back into service, as well as ensuring sufficient fuel quality for the two gas engines remaining in the landfill gas use. The quality of the declining landfill gas must be refined with pure natural gas in order to enrich the methane-concentration in the fuel gas required for the operation of the gas engines.</p> <p>A gas engine power plant should be equipped with a mixer system with a static mixer, as well as an LNG / LBG station or connect an existing natural gas pipeline connection to the natural gas distribution network. The LNG / LBG station can produce natural gas or, alternatively, take pure natural gas directly from the natural gas network for the enrichment of lean landfill gas, as well as for direct use by two gas engines that are converted to clean natural gas.</p>	
Keywords	LNG, LBG, natural gas

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kaasumoottorivoimalaitos	2
2.1	Toimenpide-ehdotukset	2
2.2	Kaasumoottorit	3
3	Polttoaineet	3
3.1	Kaatopaikkakaasu	3
3.2	Putkikaasu, maa- ja biokaasu	4
3.3	Nesteytetty maa- ja biokaasu	4
3.4	Kaatopaikkakaasun rikastaminen maakaasulla	5
3.5	Kaatopaikkakaasun metaanipitoisuuden nosto paikallisesti	6
3.5.1	Amiinipesuri	6
3.5.2	Liutinpesuri	8
3.5.3	Vesipesuri	8
3.6	Kompostointilaitoksen biomädättämön biokaasun käyttö kaasumoottorivoimalaitoksella	10
4	Maakaasu lainsäädäntö	11
4.1	Maakaasuputkisto	12
4.2	Maakaasun varastointi (LNG)	13
5	Voimalaitoksen muutostyöt	15
5.1	Kaasumoottorit 1 ja 2	16
5.2	Kaasumoottorit 3 ja 4	16
5.3	Putkikaasu	17
5.4	Nesteytetty maakaasu, LNG/LBG	18
5.5	Kaasusekoitintyyppin valinta	20
5.6	Sekoitinjärjestelmän toimintaperiaate	22
5.7	Staattisia sekoittimia	23

5.7.1	Chemineer Kenics HEV-mixer	24
5.7.2	Komax triple-action mixer	24
5.8	Paine- ja virtausmittaukset	25
6	Muutostöiden kustannukset	25
6.1	Kaasumoottorien revisiokustannukset	26
6.2	Putkikaasun ja LNG/LBG:n investointikustannukset	27
6.3	Puhdistuslaitteistojen investointikustannukset	28
6.4	Putkikaasun ja LNG-aseman käyttökustannukset	29
6.5	Amiini ja vesipesurin käyttökustannukset	30
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Lyhenteet

LNG Liquefied natural gas. Nesteytetty maakaasu.

LBG Liquefied biogas. Nesteytetty biokaasu.

Nm³ Normikuutiometri

kW Kilowatti

MW Megawatti.

PID Proportional integral derivate. Suhde, integroiva ja derivoiva.

THT Tetrahydrotiofeeni

1 Johdanto

Helsingin seudun ympäristöpalveluilla on strategian mukaisesti tavoitteena tuottaa uusiutuvaa energiaa yhtä paljon kuin kuluttaa. Ämmäsuon kaasuvoimalaitoksella on tuotettu tähän asti suurin osa Helsingin seudun ympäristöpalveluiden uusiutuvasta energiasta, joka tuotetaan kaatopaikkakaasusta. Vantaan energian jätteenpolttolaitoksen käynnistyminen ja orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto ovat johtaneet siihen, että kaatopaikkakaasu vähenee vuosittain ja tällä hetkellä kaasua riittääkin vain kahdelle neljästä voimalaitoksen kaasumoottorista. Vähenevää kaatopaikkakaasua voitaisiin tietyissä tilanteissa korvata ostamalla maakaasua tai strategian mukaisesti biokaasua, joko maakaasuputkea pitkin siirtoverkosta tai säiliöautokuljetuksella nesteytettynä maa- tai biokaasuna.

Insinööriyö on tehty Helsingin seudun ympäristöpalvelulle. Työn tarkoituksena on perehtyä maakaasun käytön mahdollisuuksiin kaasumoottorivoimalaitoksella kaatopaikkakaasun vähentyessä. Sekä kahden kaasumoottorin muuntamiseen kaatopaikkakaasukäytöstä puhtaalle maakaasulle toimiviksi, sekä kahden kaasumoottorin polttokaasun rikastamismahdollisuutta puhtaalla maakaasulla.

2 Kaasumoottorivoimalaitos

Ämmässuon vanhalta ja uudelta kaatopaikalta on kerätty jo 1990-luvulta lähtien kaatopaikalta nousevia kaatopaikkakaasuja ja kyseiset kaasut on ennen kaasuvoimalaa poltettu suoraan soihtuissa. HSY otti käyttöönsä Ämmässuon kaasuvoimalaitoksen vuonna 2010, jotta kerättyä kaatopaikkakaasua voitaisiin käyttää hyödyksi sähkön- ja lämmön tuotannossa. Ämmässuon kaasumoottorivoimalaitos onkin yksi Euroopan suurimmista kaatopaikkakaasua hyötykäyttävistä laitoksista. Kaasuvoimalan tuottama kokonaissähköteho on 15 MW kaikilta neljältä kaasumoottorilta, mutta kaatopaikkakaasun vähennytyä, sitä riittää enää vain kahdelle moottorille, jolloin kokonaissähköteho on luokkaa 7,5 MW. [1.]

Kaatopaikkakaasua on vähentynyt niin paljon vuoden 2020 aikana, että kaatopaikkakaasua riittää enää vain yhdelle kaasumoottorille käytettäväksi ja jos mitään lisätoimenpiteitä ei tehdä moottorivoimalaitokselle, tulee viimeinenkin kaasumoottori sammumaan ennen vuotta 2030. [2.]

2.1 Toimenpide-ehdotukset

Seuraavaksi on esitetty ehdotettuja toimenpiteitä voimalaitokselle:

- kaatopaikkakaasun rikastaminen ja säätösähkön tai taajuusohjatun käyttöreservin tuottaminen maakaasulla, joka vaatisi maakaasuverkkoon liittymisen maakaasuputkella tai LNG-aseman rakentamisen.
- kaatopaikkakaasun metaanipitoisuuden nosto paikallisesti lisäpuhdistusmenetelmillä, kuten amiinipesurilla, liuotinpesurilla tai paineistetulla vesipesurilla.
- läheisen kompostointilaitoksen biomädättämön biokaasun hyödyntäminen.
- kaasumoottorien myyminen / romuttaminen

Ehdotettuja toimenpidevaihtoehtoja käydään läpi tarkemmin myöhemmässä vaiheessa.

2.2 Kaasumootorit

Voimalaitoksella käytössä olevat kaasumootorit ovat MWM:n TCG 2032 -sarjan turboahdettuja V16-moottoreita. Voimalaitoksen kaikki 4 kaasumoottoria on tällä hetkellä optimoitu kaatopaikkakaasu käyttöön ja toimiakseen kaasumootorit tarvitsevat polttoaineenaan kaatopaikkakaasua, jossa metaanipitoisuus on vähintään 48 til-%. Yhden MWM TCG 2032 V16-kaasumoottorin metaanin kulutus 100 %:n teholla on noin 850 Nm³/h ja 50 %:n teholla on noin 450 Nm³/h. Alle 50 %:n teholla kaasumoottoreita ei voida käyttää. [3.]

Kaasumoottoreiden suoritusarvot maakaasulle ja kaatopaikkakaasulle eroavat hiukan käytettävän polttoaineen laadun suhteen. Kyseiset kaasumoottorien suoritusarvot näkyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. Kaasumoottorien suoritusarvot [4.]

Polttoaine	Maakaasu	Kaatopaikkakaasu
Sähköteho	4000 kW	3766 kW
Lämpöteho	4132 kW	3805 kW
Sähköntuotannon hyötysuhde	42,7 %	40,4 %
Lämpöhyötysuhde	44,1 %	40,8 %
Kokonaishyötysuhde	86,8 %	81,2 %

3 Polttoaineet

3.1 Kaatopaikkakaasu

Kaatopaikalta kerättävä kaatopaikkakaasu on koostumukseltaan suurimmaksi osaksi metaania, hiilidioksidia ja typpeä. Tyypillinen kaatopaikkakaasun koostumus on noin 50 % metaania, 38 % hiilidioksidia, sekä loput happea ja typpeä. [3.] Kaatopaikkakaasun joukossa on mukana myös pieniä määriä erilaisia kaatopaikalla syntyviä epäpuhtauksia, kuten rikkiyhdisteitä, siloksaaneja ja halogeeniyhdisteitä. Kaatopaikkakaasu täytyykin

puhdistaa ennen sen syöttämistä voimalaitoksen kaasumootoreille, koska sen sisältämät epäpuhtaudet syövyttävät ja kuluttavat polttojärjestelmien osia tai saastuttavat ympäristöä. Voimalaitoksella on kaatopaikkakaasulle omat puhdistusyksiköt, kuten kemiallisbiologinen rikkivetypesuri Thiopaq, joka pesee kaasua emäksisellä liuottimella, jolloin emäkseen liuotettu rikkivety reagoi muodostaen alkuainerikkiä. Vielä ennen kaasun syöttämistä moottoreille on kaksi kaasun esikäsitteily suodatinyksikköä, jotka puhdistavat si-loksaaneja. [3; 5.]

Kaatopaikkakaasusta on vielä mahdollista puhdistaa hiilidioksidia erilaisilla puhdistusyksiköillä, kuten amiinipesurilla, liuotinpesurilla ja vesipesurilla. [6.] Puhdistusyksiköitä käydään läpi tarkemmin kohdassa 3.5.

3.2 Putkikaasu, maa- ja biokaasu

Tässä työssä putkikaasu-termillä tarkoitetaan maakaasuverkon siirtoputkistosta saatavaa maakaasua. Maakaasuverkon putkistoa pitkin saatava maakaasu on koostumukseltaan lähes puhdasta metaania, jota voidaan ostaa suoraan toimittajalta, mikäli on yhteydessä maakaasuputkistolla suoraan maakaasuverkkoon. Kaasumarkkinoiden avautuminen kilpailulle 2020 vuoden alusta, mahdollistaa maa- ja biokaasun ostamisen keneltä tahansa maakaasun tarjoajalta, jotka ovat liittyneinä maakaasuverkkoon. Biokaasun ostaminen mahdollistaisi Helsingin seudun ympäristöpalveluiden strategian mukaisen biokaasun käytön ja kaasun tarjoajat voivat osoittaa kaasun uusiutuvuuden sertifikaateilla, joita on markkinoilla vastaava määrä kuin kaasuverkkoon syötetyn uusiutuvan kaasun määrä. [7.]

3.3 Nesteytetty maa- ja biokaasu

Nesteytetty maakaasu eli LNG on maakaasua, joka on nestemäisessä olomuodossa. Nestemäisessä olomuodossa maakaasun tilavuus on tyypillisesti 420–450 kg/m³, joka on lähes 1/600 sen kaasumaisesta olomuodosta. Nestemäisessä olomuodossa maakaasun kuljettaminen on mahdollista kaasuverkkojen ulkopuolella ja varastoiminen vie huomattavasti vähemmän tilaa. Esimerkiksi nesteytettyä maakaasua voidaan kuljettaa LNG-säiliöaluksilla ja säiliöautoilla. Jotta maakaasu pysyisi nestemäisessä olomuodossa normaalissa ilmanpaineessa, sen lämpötilan on oltava vähintään -163 °C. [8.] Jotta

nesteytettyä maakaasua voidaan käyttää polttoaineena, sen olomuoto täytyy muuttua nestemäisestä kaasumaiseksi. Olomuodon muutos tapahtuu höyrystinasemassa, joka täytyisi rakentaa nesteytetyn maakaasun varastointisäiliön ja voimalaitoksen läheisyyteen etäisyyksien minimoimiseksi, jolloin rakennuskustannuksetkin pysyvät alhaisina.

Nesteytetty biokaasu eli LBG on nestemäisessä olomuodossa olevaa biokaasua, joka on koostumukseltaan metaania. Biokaasua valmistetaan mädättämällä biomassaa anaerobisissa olosuhteissa, jossa mikrobit hajottavat biomassaa ja siitä vapautuva metaani kerätään talteen ja hyödynnetään biokaasuna. [9.] Helsingin seudun ympäristöpalveluiden strategian mukaisesti tulisi ensisijaisesti käyttää biokaasua polttoaineena, jolloin nesteytetty biokaasu olisi paras vaihtoehto, mutta nesteytetyn biokaasun rajoittavana tekijänä toistaiseksi on sen heikko saatavuus ja sen ensisijainen käyttö liikennepolttoaineena. [7.]

3.4 Kaatopaikkakaasun rikastaminen maakaasulla

Kaatopaikkakaasu vähenee ajan myötä, kun kaatopaikan käymisprosessi hiipuu ja metaanin tulo vähenee tai lakkaa täysin. Vähenevää metaania onkin alettava korvaamaan vaihtoehtoisilla polttoaineilla, kuten puhtaalla maakaasulla tai biokaasulla.

Puhdistettuun kaatopaikkakaasuun voidaan sekoittaa suoraan maakaasun siirtoverkosta saatavaa puhdasta maakaasua tai höyrystinasemalla nestemäisestä maakaasusta tai biokaasusta tuotettua kaasumaista maakaasua. Laihan kaatopaikkakaasun ja maakaasun sekoituessa kaatopaikkakaasun metaanipitoisuus kasvaa ja saadaan laadultaan parempaa polttokaasua. Kaatopaikkakaasuun lisättävän maakaasun osuus saa lähtökohtaisesti olla maksimissaan 30 til-% kaasuseoksesta. [3.]

Kaasujen sekoittaminen voidaan toteuttaa erilaisilla T-putkiristeyksillä tai staattisilla sekoittimilla, joita käydään läpi myöhemmin kohdassa 5.6. [10.]

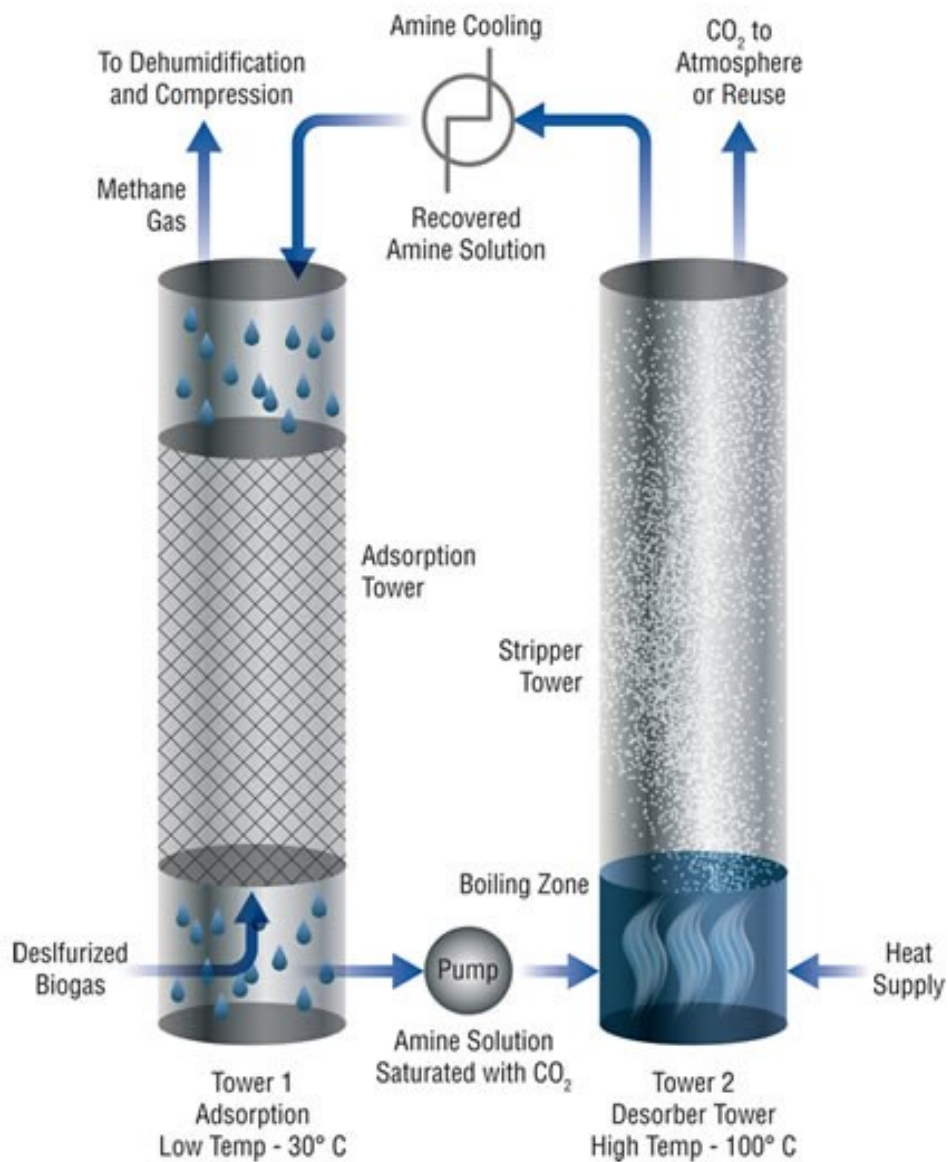
3.5 Kaatopaikkakaasun metaanipitoisuuden nosto paikallisesti

Kaatopaikkakaasun metaanin pitoisuutta on mahdollista nostaa paikallisesti poistamalla kaasusta lisää epäpuhtauksia. Käytännössä yksinkertaisin ja edullisin vaihtoehto on poistaa kaasusta hiilidioksidia. Ehdotettuja lisäpuhdistusmenetelmiä ovat amiinipesuri, liuotinpesuri tai paineistettu vesipesuri. Osa ehdotetuista kaasunpuhdistuslaitteistoista voivat myös vähentää rikkivetyä ja siloksaaneja, kuten esimerkiksi vesipesuri, jolla voitaisiin puhdistaa maksimissaan 60 % siloksaaneista, johtuen siloksaanien alhaisesta liukoisuudesta veteen. Osalla puhdistusmenetelmiä on mahdollista poistaa myös rikkivetyä biokaasusta, mutta johtuen eri puhdistusvaihtoehtojen rikkivedyn vapautumisesta ilmaan, ei olemassa olevasta Thiopaq rikkivetytypesurista luopumista ole ehdotettu. [6.]

3.5.1 Amiinipesuri

Amiinipesurissa sisään syötettävä biokaasu pestään amiineilla. Amiinit muodostavat sisään virtaavan biokaasun hiilidioksidin kanssa kemiallisen yhdisteen ja kaasuvirta voidaan syöttää eteenpäin kaasumootoreille sisältäen vähemmän hiilidioksidia. Kuumentamalla amiinia seuraavassa yksikköoperaatiossa hiilidioksidi vapautuu, jonka jälkeen amiini on jälleen käytettävissä pesuun. Amiinipesussa hävikkiä tulee amiinin termisestä hajoamisesta ja muiden epäpuhtauksien muodostamista termisesti vakaista suoloista. Näistä syistä amiinia tulee lisätä säännöllisesti. [6.] Kuvassa 1 on esitetty amiinipesurin toimintaperiaate.

Figure 8. Amine upgrading system process flow diagram



Kuva 1. Amiinipesuri toimintaperiaate. [11.]

Amiinipesuri on jo pitkään käytetty teknologia teollisuudessa hiilidioksidin ja rikkivedyn poistamiseen erilaisista kaasuvirroista. Amiinipesurin hyvinä puolina on teknologian yksinkertaisuus, teknologian kypsyyt, matala paine (ei paineenkorotustarvetta), vähäinen metaanivuoto, sekä mahdollisuus poistaa jopa 99 % hiilidioksidista. Ilman paineenkorotusta näin korkea hiilidioksidin poisto ei kuitenkaan ole mahdollista, jolloin todellinen hiilidioksidin poiston tehokkuus jää noin 50 %:iin. [6.] Laitteistolle ei ole suunniteltu paineenkorotusmahdollisuutta Ämmässuolla. [2.]

Teknologian huonoina puolina voidaan katsoa olevan käytettävyys, amiinin hävikki ja energiankulutus. Regenerointia varten amiini täytyy kuumentaa noin 120 °C:n lämpötilaan. Lisäksi amiinipesurissakin esiintyy metaanivuotoa arviolta noin 0,1–0,5 til-% poistettavassa hiilidioksidissa. Tämä johtuu metaanin liukoisuudesta amiiniliuokseen ja riippuu osaltaan valitusta prosessipaineesta. Käytettävyyttä laskee tarvittavasta lämmityksestä johtuva hitaampi käynnistys. Jos LNG/LBG on käytettävissä minuuteissa, amiinipesurin käyttövalmiuteen saattaminen voi viedä tunteja, mikä taas haittaisi säätösähkön tuotantovalmiutta, joka pitäisi olla noin 15 minuutin viiveellä käytössä. Laitteiston valmiudessa pitäminen pidempiä jaksoja ei ole järkevää, koska se kuluttaa energiaa ja amiineja. [6.] Laitteiston investointikustannuksia käydään läpi myöhemmin kohdassa 6.3.

3.5.2 Liuotinpesuri

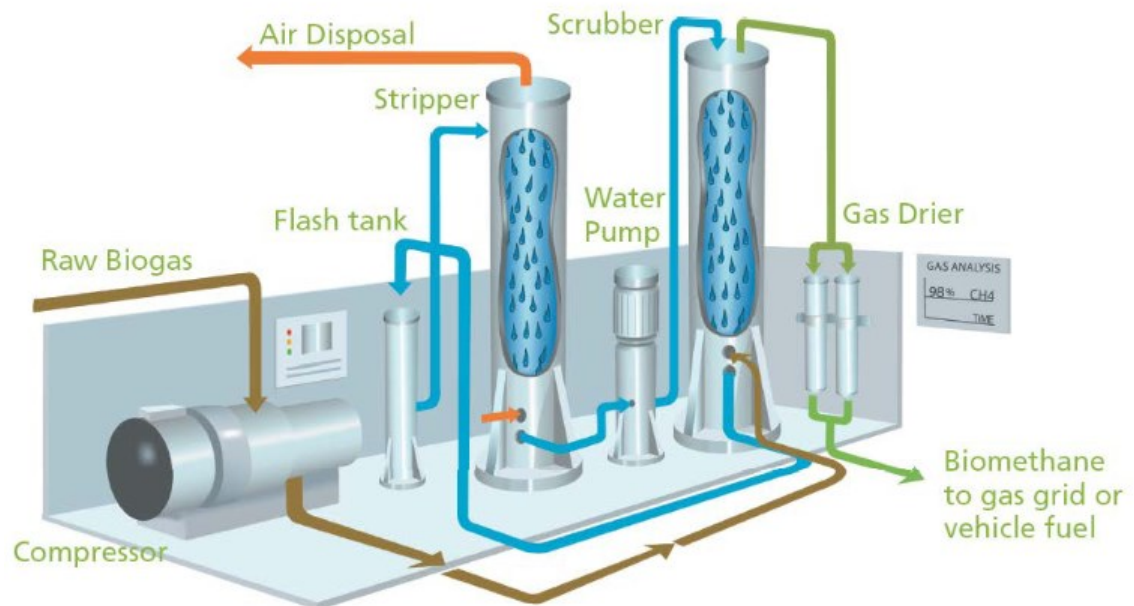
Liuotinpesut ovat teollisuudessa paljon käytettyjä puhdistusmenetelmiä, etenkin isommissa käyttökohteissa. Suuressa mittakaavassa etuina ovat edullisemmat käyttökustannukset, pienemmät liuotinkierrot, sekä alhainen ympäristöjalanjälki. Vesipesuriin nähden laitteistolla on pienempi veden kulutus, jonka takia laitteistolla on myös alhainen ympäristöjalanjälki vesipesuriin nähden. [6.]

Liuotinpesurissa käytettävä liuotin valitaan puhdistettavan kaasun epäpuhtauksien perusteella ja valitaan tyypillisesti selektiivisyyden perusteella tietyn epäpuhtauden mukaan. Tässä tapauksessa liuottimena toimisi Selexol-liuotin, sillä hiilidioksidilla on todella hyvä liukoisuus kyseiseen liuottimeen. Liuotinpesurilla ei kuitenkaan nähty olevan merkittäviä etuja vesipesuriin nähden. [6.] Laitteiston investointikustannuksia käydään läpi myöhemmin kohdassa 6.3.

3.5.3 Vesipesuri

Vesipesuri perustuu korotetussa paineessa tapahtuvaan pesuun. Biokaasun paine nostetaan noin 8 bar g:n paineeseen ja syötetään pesuriyksikköön. Hiilidioksidi liukenee veteen lähes kokonaan korotetussa paineessa. Biokaasu syötetään tämän jälkeen kaasumootoreille ja vesi pumpataan matalapaineiseen säiliöön. Säiliössä osa veteen liuenneesta metaanista pääsee höyrystymään, jonka jälkeen se palautetaan takaisin syöttöön. Tämän jälkeen vesi pumpataan erotusyksikköön, jossa liuennut hiilidioksidi

erotellaan pois vedestä ja hiilidioksidi vapautuu ilmakehään. [6.] Kuvassa 2 on esitetty vesipesurin periaatekuva.



Kuva 2. Vesipesuri periaatekuva. [12.]

Laitteisto pystyy poistamaan hiilidioksidista noin 94 %, jonka jälkeen jäännöskaasussa on jäljellä hiilidioksidia noin 2 til-%. Metaanin pitoisuus tämän jälkeen kaasussa on arviolta noin 60 til-%. Laitteistolla voidaan käsitellä vain osa biokaasusta, koska metaanin pitoisuudeksi riittää 48 til-%. Laitteiston metaanivuoto on myös maltillinen, arviolta 0,3 til-% hiilidioksidissa, johtuen osin metaanin talteenotosta ja palautuksesta. [6.]

Lisänettä vesipesuri tarvitsee toimiakseen noin 150–350 l/h. Jolla estetään epäpuhdistusten kertyminen veteen. Pesuri tarvitsee veden lisäksi lähinnä vain sähköä kaasun paineistamiseen ja veden pumppaukseen. Laitteiston mitoitukseen käytetyt biokaasun virtaukset ovat 2 000 Nm³/h käsittelevälle laitteistolle, joka riittäisi Ämmäsuon voimalaitoksen tarpeisiin. [6.]

Vesipesurin hyviä puolia ovat Helsingin seudun ympäristöpalveluiden arvojen mukaisuus. Puhdistaminen tapahtuu paikallisesti lähellä tuotetta ja sähkönkulutus on vähäisempää kuin esimerkiksi amiinipesurilla, mikä taas vähentää käyttökustannuksia ja parantaa omavaraisuutta. Laitteisto käyttää puhdistamiseen puhdasta vettä,

jota on myös saatavilla paikallisesti, eikä tarvitse erillistä kemikaalilisäystä. Laitteistolla on myös parempi käytettävyys kuin amiinipesurilla, koska vesipesurilla on alhaisemmat lämpötilaolosuhteet. [6.]

Vesipesurin haittapuolena on sen kallis investointikustannus verrattuna muihin biokaasun lisäpuhdistusmenetelmiin. [6.] Investointikustannuksia tarkastellaan myöhemmin kohdassa 6.3.

3.6 Kompostointilaitoksen biomädättämön biokaasun käyttö kaasumoottorivoimalaitoksella

Läheisen kompostointilaitoksen biomädättämön biokaasujen hyödyntäminen kaasumoottorivoimalaitoksessa olisi hyvä vaihtoehto, mutta biomädättämölle rakennettiin oma pieni kahden pienemmän kokoluokan kaasumoottorin voimalaitos uusiutuvan energiantuotannon syöttötariffien takia. Vaihtoehtoisesti biomädättämöltä syntyvät biokaasut olisi voitu syöttää suoraan olemassa olevalle kaasumoottorivoimalaitokselle. Tällä hetkellä biomädättäjä nauttii uusiutuvan energian sähkön syöttötariffeista vielä 8 vuoden ajan, joten vaihtoehto on realistinen vasta vuoden 2029 jälkeen. [6.]

Tämänhetkinen kapasiteetti biomädättämölle on noin 600 Nm³/h biokaasua, jossa on 60 til-% metaania. [6.] Kyseistä mädättämön biokaasua voitaisiinkin käyttää kaasumoottorivoimalaitoksen kaatopaikkakaasun rikastamiseen, mikä olisi järkevin vaihtoehto, jos se vain olisi mahdollista.

Biojätteen keräysvelvoitteen laajeneminen kiinteistökohtaiseksi lähivuosina voi johtaa biojätteen määrän rajuun lisääntymiseen [13]. Biojätteen määrän kasvu voi johtaa siihen, että biomädättämön kapasiteettia joudutaan kasvattamaan ja mädättämöllä alkaa syntyä niin paljon biokaasua, että sitä voitaisiin käyttää myös kaasumoottorivoimalaitoksella jo ennen mädättämön uusiutuvan energian sähkön syöttötariffien loppumista.

4 Maakaasu lainsäädäntö

Vuoden 2018 alussa astui voimaan uusi maakaasumarkkinalaki ja laki maakaasunsiirtoverkonhaltijan eriyttämisestä. Nykyinen maakaasun siirtoverkko on Gasumin omistuksessa ja se on uuden lain mukaan eriytettävä maakaasun tuotannosta ja myynnistä vuoden 2020 alkuun mennessä. Uuden maakaasun siirtoverkkoyhtiön toimintaa perustettiin organisoimaan Suomen Kaasunsiirtopalvelut Oy yhdessä Gasumin kanssa. Uuden lain tarkoituksena on avata maakaasumarkkinat kilpailulle 1.1.2020, jolloin maakaasua voisi ostaa keneltä tahansa maakaasun toimittajalta, jotka ovat liittyneinä maakaasun siirtoverkkoon. [14.] Suomen Kaasunsiirtopalvelut Oy on nykyään nimeltään Gasgrid Finland Oy, joka hallinnoi Suomen maakaasun siirtoverkkoa [15].

Laki maakaasun siirtoverkonhaltijan eriyttämisestä -lainsäädäntöä sovelletaan maakaasun siirtoverkonhaltijoihin, joilla on Suomessa sijaitsevaa maakaasun siirtoverkkoa [16]. Maakaasumarkkinalakia sovelletaan koko kaasumarkkinoihin, joka pitää sisällään maakaasun ja nesteytetyn maakaasun maahantuonnin, viennin, siirron, jakelun, toimituksen ja varastoinnin [17].

Maakaasun käyttöön ja varastointiin liittyy paljon eri lainsäädäntöä ja viranomaislupahakemuksia, koska eri olomuodoissa oleville kaasuille sovelletaan eri lainsäädäntöjä. Nestemäiselle maakaasulle sovelletaan kemikaalilainsäädäntöä ja kaasumaiselle maakaasulle maakaasulainsäädäntöä. Alla on esitetty huomioon otettavia lainsäädäntöjä. [8.]

- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005), joka säätää vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelystä ja varastoinnista. Edellä mainitun lain nojalla on myös annettu valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta (552/2009).
- Maankäyttö ja rakennuslaki (132/1999), joka säätää kaavoituksesta ja rakennuslupien myöntämisestä.
- Pelastuslaki (377/2011), joka säätää pelastusviranomaisten tehtävistä ja toiminnanharjoittajan velvollisuuksista onnettomuuksien ehkäisemiseksi.

- Painelaitelaki (1144/2016) ja sen nojalla annetut valtioneuvoston asetukset (1548/2016, 1549/2016 ja 1550/2016), jotka säättävät paineenalaisten laitteiden teknisistä vaatimuksista ja turvallisuudesta.
- Valtioneuvoston asetus (1439/2016), jossa säädetään räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien teknisistä vaatimuksista.
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014), joka säättää ympäristön suojelusta ja sen nojalla annettu valtioneuvoston asetus (713/2014) ympäristölupa-asioista. [8.]

Kaikkien Ämmässuon voimalaitosalueen instrumentointien ja sähköasennusten tulee olla ATEX-direktiivin, standardien ja määritellyn tilaluokituksen mukaisia [3].

4.1 Maakaasuputkisto

Maakaasuputkiston rakentaminen vaatii rakennusluvan myöntämistä Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta, kun maakaasuputkisto koostuu siirto- jakelu ja käyttöputkisto kokonaisuudesta ja siihen liittyvistä säiliöistä ja laitteista, joiden sisältönä on maakaasu [18].

Ämmässuon kaasuvoimalaitokselta lähtee vanha maakaasun siirtoputkisto, jolla on ennen toimitettu biokaasua Kivenlahteen, eikä siirtoputkisto ole enää Helsingin seudun ympäristöpalveluiden omistama. Vanha siirtoputkisto on liitettävissä pienillä edellytyksillä maakaasun siirtoverkkoon, jolloin kaasuvoimalalle saataisiin putkea pitkin puhdasta maakaasua. Koska kyseessä ei ole Helsingin seudun ympäristöpalveluiden omistama maakaasun siirtoputkisto, ei Helsingin seudun ympäristöpalveluiden tarvitse hakea Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta rakennuslupaa siirtoputkiston rakentamiselle, vaan sen hoitaa siirtoputken omistaja. [3.]

Mikäli maakaasun siirtoputkisto otetaan käyttöön ja liitetään maakaasun siirtoverkkoon, voidaan kyseinen putki liittää paineenalennusasemalla kaasuvoimalan kaasuverkoston. Paineenalennusasemalle ja maakaasun jakeluputkistolle Helsingin seudun ympäristöpalveluiden täytyy hakea rakennuslupa Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta, koska käyttölaitteiden yhteinen nimellinen polttoainetehto ylittää 1,2 MW. [19].

4.2 Maakaasun varastointi (LNG)

Maakaasun varastoinnilla tarkoitetaan maakaasun säilyttämistä muualla kuin putkistossa, eli kaasupulloissa, monisäiliökonteissa tai LNG-säiliöissä. Maakaasun varastoinnissa täytyy ensimmäiseksi hakea rakennus- ja toimenpidelupa paikalliselta rakennusvalvontaviranomaiselta. Rakentamislupa haetaan Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta, kun varastoitavan maakaasun määrä ylittää 5 tonnia. Jos varastoitavan maakaasun määrä ylittää 50 tonnia, täytyy tehdä myös toimintaperiaateasiakirja, sekä turvallisuus selvitys varastoitavan maakaasun määrän ylittäessä 200 tonnia. [20.] Nestemäistä maakaasua ei luokitella nestemäiseksi polttoaineeksi nykyisen ympäristönsuojelulain mukaan ja ympäristölupaa ei tarvita, kun LNG-varastointimäärä on alle 100 m³, eli 50 tonnia [8].

Alustavien suunnitelmien mukaan LNG-säiliö tulisi olemaan 100 m³, joka riittää lähes kolmen päivän käyttöön moottorien täydellä teholla [7]. Nesteytetyn maakaasun lupahakemuksissa käytetään aina tiheytenä 500 kg/m³. Vaikka sadan kuutiometrin LNG-säiliöön menee noin 42–45 tonnia nesteytettyä maakaasua, käytetään lupahakemuksessa 50 tonnin kapasiteettia. Kyseisen 100 m³ olevan LNG-säiliön rakentaminen vaatii siis rakennusluvan Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta, ympäristöluvan hakemisen ympäristöviranomaisilta ja toimintaperiaateasiakirjan laatimisen varastointikapasiteetin ollessa tasan 50 tonnia, eli 100 m³. Turvallisuus selvitystä ei tarvitse tehdä, koska kapasiteetti ei ylitä 200 tonnia. [20.]

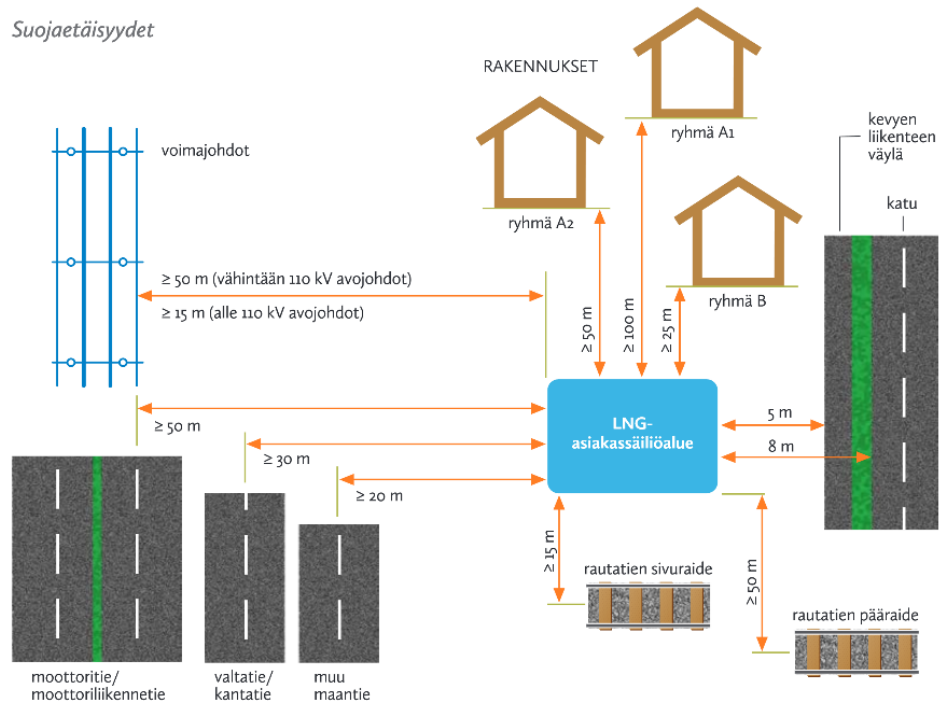
LNG-aseman sijoituspaikkaa suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon edellä mainitut lainsäädännöt ja maakaasulainsäädäntöön asetetut suojaetäisyydet. Suojaetäisyydet rakennuksiin on jaoteltu kolmeen ryhmään, jotka on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Rakennusten suojaetäisyydet. [8.]

Ryhmä	Selite	Suojaetäisyydet
A1	Rakennukset, jotka on tarkoitettu yleiseen kokoontumiseen, kuten asuinhuoneistot (kerrostalo), hotellit, sairaalat, koulut ja suurmyymälät	A1 kiinteistön ulkopuoliseen rakennukseen 100 metriä.
A2	Laitokset, jotka valmistavat, varastoivat tai käyttävät räjähteitä, tai vaarallisia kemikaaleja teollisesti käsittelevät laitokset.	A2 kiinteistön ulkopuoliseen rakennukseen 50 metriä.
B	Asuinhuoneistot (omakotitalo ja rivitalo), työpaikkahuoneistot ja muut kuin asumiseen tarkoitetut rakennukset, joissa oleskelee ihmisiä.	B kiinteistön ulkopuoliseen rakennukseen 25 metriä.

Vaakasuora etäisyys 110 kV:n voimajohtoihin täytyy olla vähintään 50 metriä ja 15 metriä alle 110 kV:n avojohtoon, eivätkä voimajohtojen pylväät saa ylettyä LNG-aseman alueelle. Suojaetäisyydet moottori- tai moottoriliikennetiehen täytyy olla vähintään 50 metriä, valta- tai kantatiehen vähintään 30 metriä, sekä muuhun maantiehen vähintään 20 metriä. Etäisyydet määritellään lähimmän ajoradan keskilinjasta. Suojaetäisyydet katuun tulee olla vähintään 8 metriä, kevyen liikenteen väylään 5 metriä. [8.] Kuvassa 3 on esitetty vaadittavat suojaetäisyydet LNG-säiliöalueen läheisyydessä.

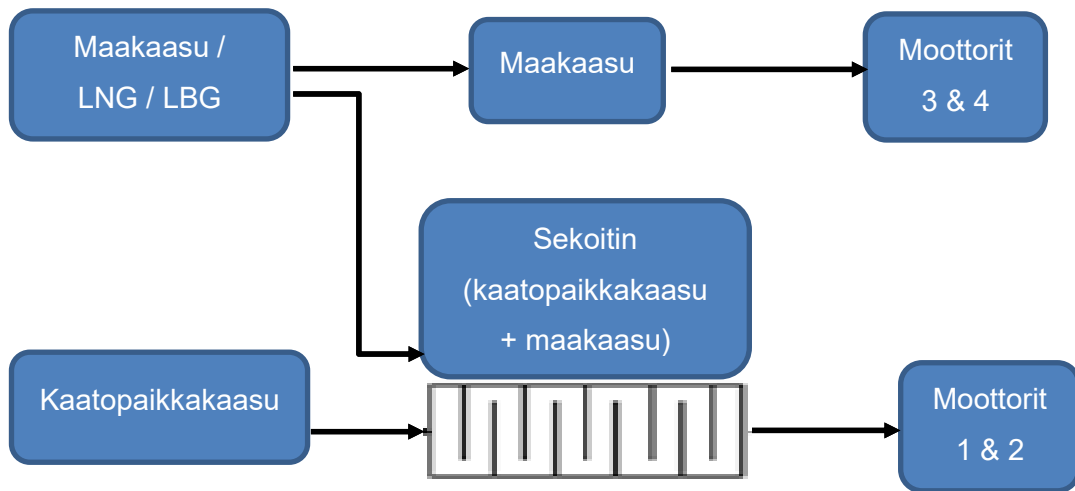
Maakaasusetuksen mukaan LNG-asemalle täytyy myös nimetä maakaasusetuksen mukainen vastuuhenkilö, eli käytön valvoja ja hänelle sijainen. LNG-aseman varastosäiliölle täytyy myös nimetä painelain mukainen vastuuhenkilö. [8.]



Kuva 3. LNG-asiakassäiliöiden suojaetäisyydet. [21.]

5 Voimalaitoksen muutostyöt

Voimalaitokselle tarvittavat muutostyöt ovat minimaalisia ja koostuvat enimmäkseen uusien kaasun jakeluputkituksien rakentamisesta, sekoitinjärjestelmästä ja moottorien parametrien säätämisestä. Maakaasulle muutettaviksi ja maakaasulla rikastettaviksi moottoreiksi valitaan kaksi vierekkäistä moottoria rakennettavien putkitusten minimoimiseksi, eli valitaan moottorit 1 ja 2, sekä 3 ja 4. [3.] Kuvassa 4 on esitetty kaasumoottorien yksinkertaistettu polttoainejärjestelmän uudelleenohjaus.



Kuva 4. Yksinkertaistettu polttoainejärjestelmän uudelleenohjaus.

5.1 Kaasumoottorit 1 ja 2

Moottorit 1 ja 2 olisivat suunnitelmien mukaan jäämässä kaatopaikkakaasu käyttöisiksi moottoreiksi. Moottoreille tehtävät muutokset jäävät vähäisiksi, koska maakaasulla rikastettava kaatopaikkakaasu ei vaadi suuria muutoksia moottorien osille. Kaasumootto-reille riittää parametrien säätäminen. [3.]

Kaatopaikkakaasun rikastaminen maakaasulla tapahtuu kaasun esikäsittely-yksiköiden jälkeen, ennen polttokaasun syöttämistä moottoreille. Puhtaan maakaasun ja kaatopaikkakaasun sekoittaminen tapahtuu staattisella sekoittimella, jolla saavutetaan kaasujen hyvä sekoittuminen lyhyilläkin putkiosuuksilla ennen moottoreille syöttämistä. [3.] Sekoittinjärjestelmän valinta käydään läpi kohdassa 5.5.

5.2 Kaasumoottorit 3 ja 4

Suunnitelmien mukaan moottorit 3 ja 4 olisivat muutettavissa maakaasukäyttöisiksi, koska moottorit 3 ja 4 ovat suuren revisiohuollon tarpeessa, joten niiden muuntaminen revisiohuollon yhteydessä maakaasukäyttöiseksi olisi kustannuksiltaan kannattavinta. Kaasumoottorien muuntaminen kaatopaikkakaasulta maakaasulla toimiviksi ei vaadi moottori revisiossa kuin sylinterien mäntien, sekä kansien vaihdon. Moottorien

parametrejä täytyy myös säätää, koska puhtaalla maakaasulla toimiva kaasumoottori ei tarvitse samanlaisia puhdistusyksiköitä, kuin kaatopaikkakaasulla toimiva. [3.]

Täysin maakaasukäyttöisiksi moottoreiksi muutettavat kaasumoottorit tulevat toimimaan sähköntuotannossa vain sähkön hinnan ollessa korkealla, jotta kaasumoottoreilla olisi kannattavaa tuottaa sähköä. Kaasumoottorit tulisivat toimimaan myös säätösähkön tuotantoon tuntimarkkinoilla tai vaihtoehtoisesti varattuna taajuusohjatulle käyttöreserville vuosi- ja tuntimarkkinoille. Eli kaasumoottoreita ajettaisiin vain silloin, kun sähkömarkkinoille tarvitaan säätösähköä tai taajuusohjausta. [2.]

Säätösähköllä tarkoitetaan sähköntuotantoa, jolla voidaan kattaa sähköverkosta uupuvaa tuotantoa, kuten uusiutuvien energianlähteiden uupuvaa sähköntuotantoa, joka on todella sääriippuvaista.

Kaasumoottorit 3 ja 4 olisivat myytäviksi tai romutettaviksi valikoitavat moottorivaihtoehdot, koska moottorit 1 ja 2 olisivat jäämässä kaatopaikkakaasukäyttöisiksi joka tapauksessa. Myyminen olisi ainut edes harkittava vaihtoehto, sillä moottoreilla on vielä paljon teknistä käyttöikää jäljellä ja moottorit maksavat uutena noin 1,5 miljoonaa euroa. Moottorien myymistä voisikin harkita takaisin valmistajalle tai jollekin toiselle kaatopaikka toimijalle Euroopassa tai sen ulkopuolellekin. [2.]

Moottorien romuttamisesta saisi vain romuraudan hinnan, joka ei olisi kannattavaa. Sekalaisen romuteräksen hinta tällä hetkellä (1.5.2021) on 0,99 €/kg, jolloin 48 800 kg painavasta moottorista saisi vain 48 312 €. [22.]

5.3 Putkikaasu

Kaasuvoimalaitokselle tuleva maakaasun jakeluputkisto tulisi suunnitelmien mukaan olemaan DN-100 kokoluokan putkea. [3.] Maakaasuputkisto ei saa ylittää putkiston suurinta sallittua käyttöpainetta, joten maakaasuputkisto on aina varustettava säätö- ja turvalaitteilla. Maakaasun paineenalennus tehdään moniportaisesti paineenvähennysasemalla. Ensimmäiseksi siirtoputkiston paine alennetaan jakeluputkistolle sopivaksi paineenvähennysasemalla ja tämän jälkeen jakelupaine alennetaan voimalaitokselle sopivaksi. [19.]

Paineenvähennyslaitteiston kokoonpano muodostuu paineensäätimestä ja tulopaineen mukaan määräytyvistä turvalaitteista, kuten turvasulkuventtiili, varasäädin ja apuvaroventtiili. Maakaasun tuloputkessa täytyy myös olla sulkuventtiili ennen paineenvähennyslaitteistoa. Putkistoon on myös hyvä asentaa suodatin tai roskanerotin, sillä epäpuhtauksien joutuessaan paineensäätimeen, voivat ne aiheuttaa toimintahäiriöitä laitteessa. [19.]

Maakaasuasetuksen ja kaasuvoimalan prosessiolosuhteiden takia maanpäälliset maakaasun jakelu- ja käyttöputkistojen pitää olla haponkestävää ruostumatonta terästä (tyyppi 316) ja maakaasuasetuksen mukainen minimi seinämänvahvuus DN-100 teräsputkelle on 3,2 mm. [19.]

5.4 Nesteytetty maakaasu, LNG/LBG

LNG-asema koostuu höyryntimestä, LNG-varastosäiliöstä, ohjauskeskuksesta sekä liittävästä putkituksista. Sijoituspaikkaa suunniteltaessa täytyy hakea erilaisia viranomaislupia ja ottaa huomioon paljon eri lainsäädäntöä. Kuten vaaditut suojaetäisyydet, turvallisuustoimenpiteet, rakennus- ja toimenpideluvat, ympäristöluvut, sekä käytävä keskustelu pelastusviranomaisten kanssa laitoksen erityspiirteistä ja samalla kartoittaa pelastuslaitoksen varautuminen ja vasteaika. [8.]

LNG-aseman sijoituspaikkaa valittaessa voimalaitoksen läheisyyteen on otettava huomioon kohdassa 4.2 esitetyt lakiin asetetut rakennusten suojaetäisyydet, sekä LNG-aseman vaatiman rakennusalueen koko, joka on saatujen tarjouksien perusteella 30x30 metriä. Suojaetäisyyksistä käytetään ryhmää B, joka on 25 metriä asuinhuoneistoihin, työpaikkahuoneistoihin ja muihin kuin asumiseen tarkoitettuihin rakennuksiin, joissa oleskelee ihmisiä. Voimalaitoksen läheisyydestä lähtee myös 110 kV:n voimajohto, johon täytyy olla vähintään 50 metriä suojaetäisyyttä.

LNG-aseman purkupaikan suunnittelu on toteutettava huolellisesti, koska lastin purku on riskialttein tapahtuma. Purkualueelle on tehtävä käyttöohje, jossa määritellään vaaditut turvallisuustoimenpiteet purkualueella. Purkupaikka täytyy olla myös aidattu tai muulla tavalla suojattu muulta liikenteeltä, esim. lippusiimoilla ja varoituskylteillä. Purkupaikalle tulee tehdä kallistus, joka ei saa haitata kuorman purkua ja johtaa keräilyojiin pois päin

ajoneuvoista ja säiliöstä. Purkupaikalle täytyy sijoittaa lämpötila-antureita, jotka antavat hälytyksen vuotoista lämpötilan laskiessa alle $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, sekä hälytyksen tulipalosta lämpötilan ylittäessä $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$. LNG-säiliön täytön yhteyteen asennetaan myös kuolleen miehen kytkin, joka on kytketty hätäpysäytysjärjestelmään. [8.]

LNG-aseman varastosäiliön tarkoitus on varastoida nestemäinen maakaasu ja pitää se nestemäisessä olomuodossa. LNG-aseman varastosäiliön suunnittelussa täytyy noudattaa sille asetettua standardia SFS-EN 13458. [8.]

Varastosäiliön tulee olla kaksivaippainen terässäiliö ja sijoituspaikkana ulkotiloihin maanpinnan yläpuolelle, mutta myös maanalaiset rakenteet ovat mahdollisia. Osa nestemäisestä maakaasusta pääsee kaasuuntumaan säiliössä, mikä täytyy ottaa huomioon säiliön täyttöasteetta suunniteltaessa. Maksimi täyttöaste on tyypillisesti 90 %. Säiliön ylitäyttö täytyy estää täytön yhteydessä, sekä säiliöön on asennettava nestepinnan mittaus kahdella toisistaan riippumattomalla järjestelmällä, joista toinen täytyy olla paikallinen mekaaninen mittari. LNG-säiliön paineenmittaus täytyy tehdä nestepinnan yläpuolelta paikallisella mekaanisella mittarilla. Säiliö tulee varmistaa kahdennetulla varoventtiilillä, joista toisen voi ottaa kerrallaan pois käytöstä. Säiliön nestepuolen pääsulkuventtiili tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle varastosäiliötä. [8.]

LNG toimitetaan aina hajustamattomana asiakassäiliöön, joten höyrystinasemalla valmistettua kaasumaista maakaasua pitää vielä hajustaa ennen käyttöputkistoon toimittamista. Maakaasu voidaan hajustaa vain kaasumaisessa muodossa, koska nestemäinen maakaasu on liian kylmää hajusteaineelle, jolloin se jäätyisi. Hajusteaineena käytetään tetrahydrotiofeenia (THT). [8.]

LNG-asema tulee varustaa maadoituskiskolla, johon liitetään kaikki metalliset rakenteet potentiaalin tasaamiseksi. Kaikki laitteiston pääkomponentit, kuten varastosäiliö, höyrystin ja ulospuhallusputket täytyy liittää maadoitusjohdolla maadoitukseen. Aseman laitteistot ja rakennukset tulee myös suojata ukkoselta yhdistämällä ukkossuoja päämaadoitukseen. [8.]

LNG-aseman alustavaksi sijoituspaikaksi on suunniteltu alla esitettyssä kuvassa 5 näkyvää aluetta, jossa on otettu huomioon lain vaatimat turvaetäisyydet.



Kuva 5. LNG-aseman sijoituspaikka.

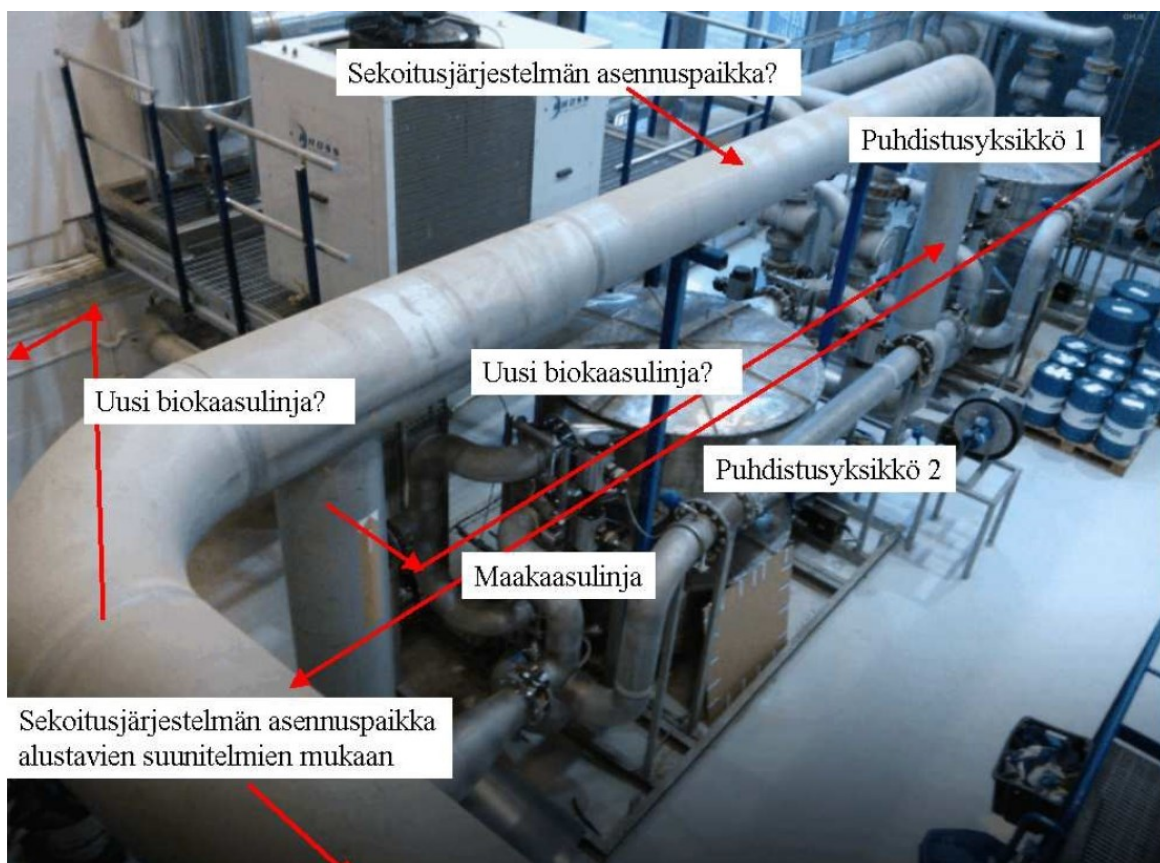
5.5 Kaasusekoitintyyppin valinta

Kaatopaikkakaasun sisältämät epäpuhtaudet asettavat materiaali kriteereitä valittavalle sekoitinjärjestelmälle. Syövyttävien epäpuhtauksien takia sekoitinjärjestelmän pitää olla haponkestävää ruostumatonta terästä (tyyppi 316). [3.]

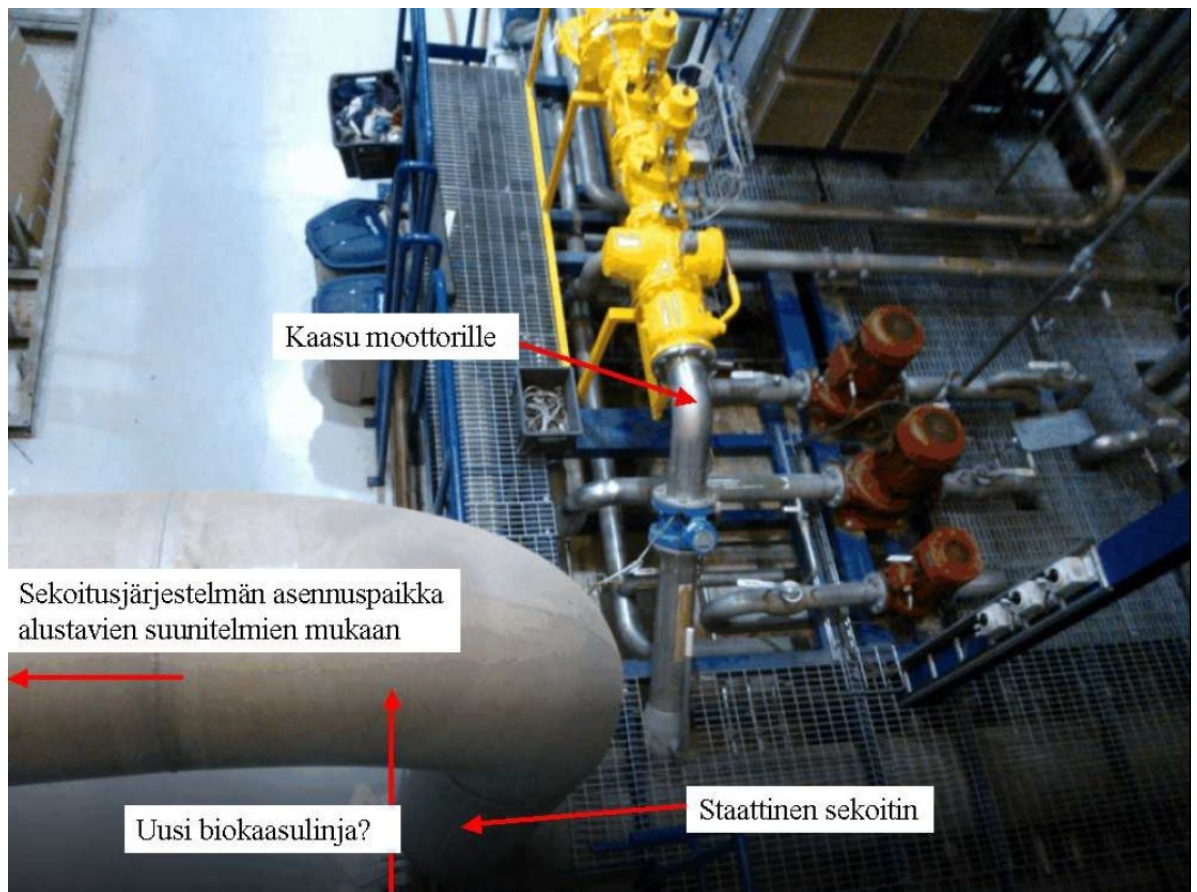
Kaatopaikkakaasun ja maakaasun homogeeninen sekoittaminen voidaan toteuttaa T-putkiristeyksillä tai erilaisilla staattisilla sekoittimilla. Ari Laatikaisen Maakaasun käytön mahdollisuudet ja optimointi biokaasuvoimalaitoksessa -diplomityössä toteutetuissa virtaussimuloinneissa bio- ja maakaasun sekoittumiseen T-putkiristeyksessä päädyttiin lopputulokseen, että T-putkiristeyksellä toteutetulla sekoitusjärjestelmällä kaasujen riittävän homogeeniseen sekoittumiseen tarvittava putkipituus tulisi olemaan useita metrejä. [10.] Koska sekoitusjärjestelmä on järkevintä sijoittaa voimalaitoksella kaasun puhdistuksen jälkeiselle putkiosuudelle, nykyisellä putkisto-osuudella ei saavuteta tarpeeksi

homogeenista kaasuseosta T-putkiristeyksellä sekoitettuna. Näin ollen putkilinjaan kannattaisi sijoittaa staattinen sekoitin, koska sen vaatimat suorat putkiosuudet homogeenisen kaasuseoksen saavuttamiseksi ovat paljon lyhyemmät.

Kuvassa 6 ja 7 on esitetty sekoitusjärjestelmän, staattisen sekoittimen ja uusien kaasulinjojen alustavasti suunnitellut paikat puhdistusyksiköiden ja moottorien väliselle osuudelle.



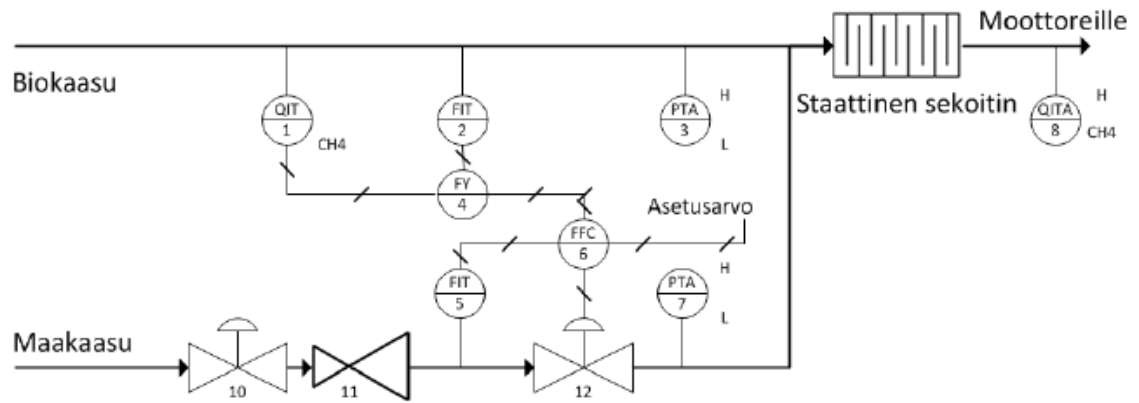
Kuva 6. Sekoitinjärjestelmän alustava sijoituspaikka. [10.]



Kuva 7. Staattisen sekoittimen alustava sijoituspaikka. [10.]

5.6 Sekoitinjärjestelmän toimintaperiaate

Sekoitinjärjestelmä koostuu staattisesta sekoittimesta, metaanimittauksesta (1), kaasuanalysointilaiteesta (8), virtausmittauksista (2 ja 5), virtauksen suhdeseätimestä (6), virtauksen säätimestä (4), painemittauksista (3 ja 7), sulkuventtiilistä (10), paineenalennusventtiilistä (11) ja maakaasulinjan säätöventtiilistä (12). Alla kuvassa 8 on esitetty sekoitinjärjestelmän PI-kaavio ennen polttoaineen syöttämistä kaasumoottoreille. [10.]



Kuva 8. Sekoitinjärjestelmän PI-kaavio. [10.]

Sekoitinjärjestelmää ohjataan kuvassa 8 näkyvillä säätimillä ja mittauksilla. Kaasuanalysaattorilla määritetään metaanipitoisuudelle ylärajahälytysarvo, jolla ohjataan maakaasun säätöventtiiliä täysin kiinni -asentoon metaanipitoisuuden ylittäessä hälytysraja-arvon. Maakaasun säätöventtiiliä voidaan myös ohjata valvomosta käsin. [10.]

Kaasuseoksen PID-säädössä käytetään kummankin kaasulinjan virtausmittauksia. Kyseisistä virtausarvoista lasketun sekoitussuhteen erotuksella suoritetaan PID-säätö. Maakaasun osuus kaasuseoksessa saa olla maksimissaan 30 til-%, joten sekoitussuhteen raja-arvoina käytetään maakaasulle maksimissaan 0,3 ja kaatopaikkakaasulle minimissään 0,7. [10.]

Painemittauksille säädetään alarajahälytysarvo biokaasulinjasta ja ylärajahälytysarvo maakaasulinjasta. Hälytysarvojen ylittyessä tai alittuessa ohjataan maakaasulinjan säätöventtiili välittömästi kiinni -asentoon. Maakaasulinjan paineen on myös oltava normaalisti biokaasulinjan painetta korkeampi. Maakaasulinjan säätöventtiiliä ohjataan kiinni-asentoon, jos biokaasulinjan paine ylittää maakaasulinjan paineen. [10.]

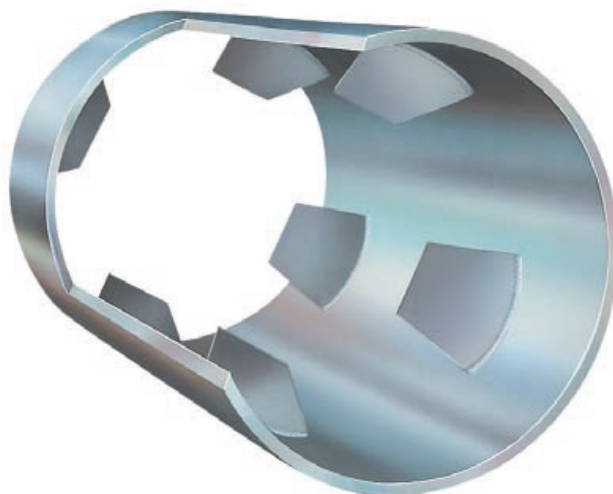
5.7 Staattisia sekoittimia

Staattisten sekoittimien rakenne, materiaalit, sekoitustehokkuus, painehäviö, hinta ja asennuksesta aiheutuvat kustannukset vaihtelevat paljon. Näin ollen materiaalivaatimukset tulevat määrittelemään staattisen sekoittimen valinnan.

Staattisen sekoittimen materiaalivaatimuksena on haponkestävä ruostumaton teräs (tyyppi 316), sekä asennusvaatimuksena laippaliitokset. Jäljempänä on esitetty kaksi Ämmässuon voimalaitokselle mahdollisesti sopivaa staattista sekoitin vaihtoehtoa, jotka vastaavat vaadittavia materiaalivaatimuksia ja joilla saavutetaan haluttu sekoitustehokkuus. [3.]

5.7.1 Chemineer Kenics HEV-mixer

Kenics HEV-sekoitin neljällä sekoituselementtiryhmillä olisi Chemineerin ehdotus sopivaksi sekoitin vaihtoehdoksi. Kenics HEV-sekoittimessa olevat sekoituselementit luovat turbulenttisen virtauksen sekoittimessa, mikä takaa kaasujen lähes täydellisen sekoittamisen lyhyelläkin putkisto-osuudella. Kenics HEV-sekoitinta on saatavilla kaikissa metallimateriaaleissa aina 72 tuuman putkikokoihin asti ja asennustavat ovat joustavia. [10.] Kuvassa 9 on esitetty Kenics HEV-sekoittimen sekoituselementit.



Kuva 9. Kenics HEV High Efficiency Static Mixer. [23.]

5.7.2 Komax triple-action mixer

Komax triple-action mixer kahdella sekoituselementillä olisi Komaxin ehdotus sopivaksi sekoitin vaihtoehdoksi. Komax triple-action sekoitin luo sekoituselementin kummallakin puolella pyörrevirtauksen, jotka pyörivät vastakkaiseen suuntaan. Tämä mahdollistaa

kaasujen optimaalisen takaisinsekoittumisen asteen, kun kaasut virtaavat pyörrevirralla vastakkaiseen suuntaan ennen kuin jatkavat matkaa alavirtaan. Menetelmä takaa todella hyvän sekoittumistehokkuuden lyhyelläkin putkisto-osuudella. [10.] Kuvassa 10 on esitetty virtauksien käyttäytyminen Komax triple-action sekoituselementissä.



Kuva 10. Virtauksien käyttäytyminen Komax triple-action sekoittimen sekoituselementissä. [24].

5.8 Paine- ja virtausmittaukset

Painemittaukset toteutetaan erilaisilla painelähttimillä, joita on paljon erilaisia kyseiseen käyttötarkoitukseen sopivia. Voimalaitoksella käytössä olevat painemittaukset on toteutettu Endress Hauserin painelähttimillä, jotka on todettu hyviksi ja lisättävät painemittaukset toteutetaan kyseisillä painelähttimillä. [3.]

Voimalaitokselle valittavien virtausmittarien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat laaja mittausalue, nopea vasteaika ja hyvä virtausanturin toistettavuus. Voimalaitoksella on käytössä turbiinivirtausmittarit kaasun virtauksen mittaamiseen, jotka on todettu luotettaviksi kyseisissä prosessiolosuhteissa. Lisättävät virtausmittaukset tullaan toteuttamaan samantyyppisillä turbiinivirtausmittareilla. [3.]

6 Muutostöiden kustannukset

Kaasuvoimalalle vaadittavien muutostöiden kustannukset vaihtelevat paljon haluttujen muutostöiden suhteen. Moottori revisioista koostuvat kustannukset olisivat voimalaitokselle tehtävistä välittömistä kustannuksista suurimpia, jos kampiakselit vaihdetaan. Moottorien revisiokustannuksia tarkastellaan myöhemmin kohdassa 6.1.

Putkikaasu vaihtoehto olisi kalliimpi rakentaa, koska vaadittavan paineenvähennysaseman rakentaminen maksaisi paljon enemmän kuin LNG-aseman rakentaminen. Alueella on myös vanha maakaasun siirtoputkisto, joka olisi helposti liitettävissä maakaasuverkkoon ja vähentäisi lisättävien putkitusten kustannuksia. Kustannuksia tarkastellaan myöhemmin kohdassa 6.2.

LNG vaihtoehto olisi kustannuksiltaan huomattavasti edullisempi vaihtoehto toteuttaa, kuin maakaasuverkkoon liittyminen. Alueelle täytyisi rakentaa oma LNG-tankkausasema, varastosäiliö, sekä höyrystinasema. [7.] LNG vaihtoehdon kustannuksia tarkastellaan myöhemmin kohdassa 6.2.

6.1 Kaasumoottorien revisiokustannukset

MWM TCG 2032 V16 kaasumoottorin kokonaisrevisiokustannuksia ei ole tarpeen käydä läpi, sillä ne kuuluvat huoltosopimukseen ja tehdään joka tapauksessa.

Yhden puhtaalle maakaasulle muutettavan kaasumoottorin kustannukset koostuvat suurimmalta osin kaasumoottorin mäntien ja kansienvaihdoista, parametrien säätämisestä, sekä lisättävistä putkituksista muodostuvista kustannuksista. Kaasumoottoreiden käyttötuntien lähentyessä moottori revisioiden edellyttämää käyttötuntimäärää, kannattaa kaasumoottoreille tehdä suoraan kokonaisvaltaiset moottorirevisiot ja tässä yhteydessä muuntaa tarvittavat osat, kuten männät ja kannet maakaasukäyttöön sopiviksi. [3.] Yhden kaasumoottorin muutostöiden kustannusarvio maakaasukäyttöiseksi on esitetty taulukossa 3.

Muutostyöt maakaasulla rikastettaville kaasumoottoreille koostuvat sekoitinjärjestelmästä, lisättävistä putkituksista, sekä erilaisista mittauksista, kuten paine- ja virtausmittauksista. T-putkiristeytyksellä toteutettu sekoitusjärjestelmä on edullisin vaihtoehto ja sen hinta määräytyykin täysin lisättävien putkituksen määrästä ja anturilaitteista. Erillisen sekoitusjärjestelmän kustannukset koostuvat itse staattisesta sekoittimesta, sekoitinjärjestelmän muista anturilaitteista ja lisättävistä putkiosuuksista. Ehdotettujen staattisten sekoitinjärjestelmien hinnat vaihtelevat paljon sekoittimen tyyppin mukaan ja hinnat on esitetty alempana taulukossa 3. [10.]

Ämmässuon kaasuvoimalaitoksen prosessiolosuhteiden ja maakaasuasetuksen takia kaikki maanpäälliset maakaasuputkitukset täytyy olla haponkestävää ruostumatonta terästä (tyyppi 316). [3.]

Taulukko 3. Laitteiden hinta-arvioita [3; 10.]

Laitteisto	Hinta/€
Maakaasulle muutettavan moottorin kustannukset	35 000
Putkitukset	25 000
Maakaasulla rikastettavan moottorin kustannukset	35 000
Kenics HEV-sekoitin	9 000
Komax triple-action mixer	30 000

6.2 Putkikaasun ja LNG/LBG:n investointikustannukset

Paineenvähennysasema putkituksineen on kallein vaihtoehdoista ja sen hinta-arviot on esitetty alempana taulukossa 4.

Nesteytetyn maakaasun/biokaasun suurimmat investointikustannukset koostuvat LNG-varastosäiliöstä, jossa nesteytetty maakaasu varastoidaan, sekä varastointisäiliön läheisyyteen rakennettavasta höyrystinasemasta. LNG-varastosäiliön hinta määräytyy koon mukaan. [7.] 100 m³ / 20 MW:n LNG-aseasta on saatu tarjous avaimet käteen toimituksella [2]. Hinta-arviot on esitetty alempana taulukossa 4.

Taulukko 4. Laittekokonaisuuksien hinta-arvioita [2; 7.]

Laitteisto	Hinta/€
Paineenvähennysasema	1 500 000
Putkityöt	40 000
LNG/LBG-asema (100 m ³) avaimet käteen periaatteella	750 000

6.3 Puhdistuslaitteistojen investointikustannukset

Amiinipesurin investointikustannus on esitetty taulukossa 5. Tämä pohjautuu saatuun budjettitarjoukseen ja hinnat ovat arvioita. Tässä yksikössä kapasiteetti on noin 3000 Nm³/h biokaasua, joka riittää vuoden 2021 arvioituun tarpeeseen ja tulevaisuudessa biokaasun määrä tulee vain laskemaan. [6.]

Liutinpesurin investointikustannukset ovat samankaltaiset vesipesurin kanssa, mutta hiukan halvempi vaihtoehto. Liutinpesurilla ei katsottu olevan merkittäviä hyötyjä vesipesuriin nähden, joten investointikustannuksia ei ole tarpeen tarkastella tarkemmin. [6.]

Vesipesurin investointikustannukset on esitetty taulukossa 6. Tämä pohjautuu saatuun budjettitarjoukseen ja hinnat ovat arvioita. Tässä laitousyksikössä kapasiteetti on noin 2000 Nm³/h biokaasua, joka riittää vuoden 2021 arvioituun tarpeeseen ja tulevaisuudessa biokaasun määrä tulee vain laskemaan. [6.]

Taulukko 5. Amiinipesurin investoinnin hinta-arviot. [6.]

Laitteisto	Hinta/€
Laitepaketti	1 500 000
Perustustyö	50 000
Laitteiston asennus	100 000
Laitteiston käyttöönotto	15 000
Putkityöt	30 000
Sähkö-, instrumentti- ja automaatiotyöt	30 000
Suunnittelu	30 000
Yhteensä	1 755 000

Taulukko 6. Vesipesurin investoinnin hinta-arviot. [6.]

Laitteisto	Hinta/€
Laitepaketti	2 600 000
Perustustyö	50 000
Laitteiston asennus	100 000
Laitteiston käyttöönotto	15 000
Putkityöt	30 000
Sähkö-, instrumentti- ja automaatiotyöt	30 000
Suunnittelu	30 000
Yhteensä	2 855 000

6.4 Putkikaasun ja LNG-aseman käyttökustannukset

Maakaasun hinta on jaoteltu kahdeksaan eri luokkaan (T1-T8) ja sen hinta on riippuvainen laitoksen vuosikulutuksesta, huipunkäyttöajasta ja tilaustehosta. Energiaviraston teollisuuskäyttäjähintatilastojen mukaan maakaasun hinta oli joulukuussa 2019 luokassa T1 32,36 €/MWh. T1-luokka vastaa 50 GWh:n vuosikulutusta, 4000 tuntia

huipunkäyttöaikaa ja 12,5 MW:n tilaustehoa. [25.] Maakaasun hinta määräytyy T1 luokan mukaan, koska kaasumoottorivoimalaitos vastaa T1-luokan kriteerejä.

Saadun tarjouksen perusteella nesteytetyn maakaasun toimitushinta Ämmäsuolle on noin 25 €/MWh, joka sisältää toimittajan palvelumaksun ja nesteytetyn maakaasun hinnan ylemmän lämpöarvon mukaan. Nesteytetyn maakaasun valmistevero on noin 20 €/MWh ja nesteytetyn biokaasun noin 10 €/MWh. Mikäli ostetaan nesteytettyä biokaasua, tullaan nesteytetyn maakaasun hintaan lisäämään vielä bioalkuperä maksu, joka tulee olemaan noin 5–15 €/MWh. Bioalkuperän tarkempi hinta selviää kevään 2021 aikana. [2.]

6.5 Amiini ja vesipesurin käyttökustannukset

Amiinipesurin käyttökustannukset koostuvat suurimmilta osin kiehuttimen energiankulutuksesta ja amiinin lisäyksestä laitteistoon. Kiehutin kuluttaa sähköä noin 17 % voimalan tuottamasta sähköstä, mikä tekee siitä todella energiaa kuluttavan laitteiston. Kiinteitä käyttökustannuksia laitteistosta tulee sähkönkulutuksen lisäksi lisättävästä amiinista ja kunnossapidosta, ja näiden arvioidaan olevan noin 15 000 € vuodessa. [6.]

Vesipesurin käyttökulut koostuvat laitteiston käyttämästä sähköstä, voiteluöljystä ja lisävedestä. Kiinteiden käyttökulujen on arvioitu olevan noin 15 000 € vuodessa. [6.]

7 Yhteenveto

Kaasumootorivoimalaitoksella on vielä paljon teknistä käyttöikää jäljellä, sillä voimalaitos ei ole kuin kymmenisen vuotta vanha. Jotta kaasumootorivoimalaitoksella olisi tulevaisuudessa vielä käyttöä kaatopaikkakaasun vähentyessä niin paljon, että se ei riitä enää edes yhdelle kaasumootorille, täytyy jotakin vaihtoehtoista polttoainetta ottaa käyttöön kaatopaikkakaasun rinnalle. Vaihtoehtoisina lisä- tai korvauspolttoaineina olisi puhdas maakaasu suoraan maakaasuverkoston putkea pitkin tai vaihtoehtoisesti nesteytetynä maa- tai biokaasuna. Voimalaitokselle itselleen ei tarvitse tehdä suuria muutoksia vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönottamisessa, sillä kaatopaikkakaasun käyttö kaasumootoreilla vaatii enemmän kaasumootoreilta, kuin puhdas maakaasu.

Nesteytetty biokaasu olisi näillä näkymin parempi lisäpolttoainevaihtoehto, koska LNG/LBG-aseman rakentaminen olisi kustannuksiltaan jo edullisin vaihtoehto, mutta nesteytetyn biokaasun saatavuus on huonompi kuin biokaasun maakaasuputkea pitkin. Paineenvähennysaseman rakentaminen ja maakaasuverkkoon liittyminen olisi kalliimpi vaihtoehto, mutta myös todella varteenotettava vaihtoehto. Maakaasuverkosta voidaan ostaa sertifikaatein varmennettua biokaasua, mikä tukisi myös Helsingin seudun ympäristöpalveluiden strategiaa, johon kuuluu biopolttoaineiden käyttö, sekä hiilineutraalustavoitteet. Putkikaasun käyttöönottaminen voimalaitoksella olisi taas helpompi toteuttaa, kuin LNG vaihtoehto.

Vesipesurin käyttöönottaminen kaatopaikkakaasun metaanipitoisuuden nostamiseen paikallisesti puhdistamalla hiilidioksidia olisi paras puhdistus vaihtoehto. Vaikka vesipesuri on kallein vaihtoehtoista, on se käytettävyydeltään paras vaihtoehto ja sopii Helsingin seudun ympäristöpalveluiden arvoihin.

Kompostointilaitoksen biomädättämön biokaasun hyödyntäminen kaasumootorivoimalaitoksella olisi kaikista paras vaihtoehto. Alueelle ei tarvitsisi rakentaa mitään erillistä lisälaitteistoa, mutta tämä vaihtoehto on mahdollista vasta 2029 jälkeen, kun biomädättämön uusiutuvan energian sähkön syöttötariffit loppuvat. Biojätteen määrän kasvu lähivuosina voi johtaa mädättämön laajentamiseen, jolloin mädättämön biokaasun ylituotantoa voitaisiin hyödyntää kaasumootorivoimalaitoksella kaatopaikkakaasun rikastamiseen.

Lähteet

- 1 Kaatopaikkakaasun keräys. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/jatehuolto/jatteenkasittelykeskus/kaatopaikkakaasu/Sivut/default.aspx>>. Luettu 20.10.2019.
- 2 Kopalainen, Sauli. 2020. Toimintovastaava, kaasuvoimala, kaasunkeräys ja vesienhallinta, Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, Espoo. Keskustelu 19.11.2020.
- 3 Kopalainen, Sauli. 2020. Toimintovastaava, kaasuvoimala, kaasunkeräys ja vesienhallinta, Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, Espoo. Keskustelu 29.1.2020.
- 4 Kaasumoottorien tekniset tiedot. MWM Energy Efficiency Environment. Yrityksen sisäinen dokumentti. Luettu 15.11.2019.
- 5 Hirvonen Janne. 2010. Pro gradu. Jyväskylän yliopisto. Kaatopaikkakaasun puhdistaminen ja analysointimenetelmät. Luettavissa osoitteessa. <<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/24571#>> Luettu 15.11.2019.
- 6 HSY Ämmässuon kaatopaikkakaasun tehokas hyödyntäminen. Sweco Industry Oy. Yrityksen sisäinen dokumentti. Luettu 30.4.2021.
- 7 Pöyry. Kaasumoottoareiden tulevaisuuden vaihtoehdot. Yrityksen sisäinen dokumentti. Luettu 5.11.2019.
- 8 LNG-Asiakassäiliöt. Verkkoaineisto. Kaasuyhdistys. <<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/lng-asiakassailiot/>> Luettu 1.11.2019.
- 9 Miten biokaasua tuotetaan?. Verkkoaineisto. Gasum. <<https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/miten-biokaasua-tuotetaan/>> Luettu 20.1.2019.
- 10 Laatikainen, Ari. 2012. Maakaasun käytön mahdollisuudet ja optimointi biokaasuvoimalaitoksessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Yrityksen sisäinen dokumentti. Luettu 15.11.2019.
- 11 Amine Scrubbing. Verkkoaineisto. Biocycle. <<https://www.biocycle.net/basics-biogas-upgrading/>> Luettu 1.5.2021.
- 12 How Water Scrubbing Works. Verkkoaineisto. Greenlane <https://www.globalmethane.org/expo-docs/canada13/biogas_03_Hamdan_CNG.pdf> Luettu 1.5.2021.

- 13 Jättesäädöspaketin pääsisältö. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.ym.fi/download/noname/%7BD4ECD64A-B5F3-4E93-9BA3-5AC7A33057BC%7D/158429>> Luettu 1.5.2021.
- 14 Suomen kaasumarkkina avataan kilpailulle vuoden 2020 alusta lähtien. Verkkoaineisto. Suomen Kaasunsiirtopalvelut. <<https://figas.fi/kaasumarkkinat/>> Luettu 5.12.2019.
- 15 Yhtiö / Esittely. Verkkoaineisto. Gasgrid Finland Oy. <<https://gasgrid.fi/yhtio/esittely/>> Luettu 21.11.2020.
- 16 Laki maakaasun siirtoverkonhaltijan eriyttämisestä. 2017. 588/2017.
- 17 Maakaasumarkkinalaki. 2017. 587/2017.
- 18 Rakentamisluvan hakeminen ja ilmoitukset. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/rakentamisluvan-hakeminen-ja-ilmoitukset>> Luettu 15.1.2020.
- 19 Maakaasun käsikirja. Verkkoaineisto. Suomen Kaasuyhdistys ry. <<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>> Luettu 30.1.2020.
- 20 Maakaasun varastointi. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/maakaasun-varastointi>> Luettu 15.1.2020.
- 21 LNG-Asiakassäiliöt. Verkkoaineisto. Kaasuyhdistys. <<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/lng-asiakassailiot/>> Haettu 20.2.2020.
- 22 RST – teräsromu, sekalainen. Verkkoaineisto. Romuta Oy. <<https://romuta.fi/hinnasto/1605/>> Luettu 1.5.2021.
- 23 Chemineer HEV Mixer. Verkkoaineisto. Chemineer. <<https://www.chemineer.com/products/kenics/hev-mixers.html>> Haettu 26.2.2020.
- 24 Triple action static mixer. Verkkoaineisto. Komax Systems. <<https://komax.com/triple-action-static-mixer/>> Haettu 26.2.2020.
- 25 Maakaasun hintatilastot. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/maakaasun-hintatilastot>> Luettu 30.1.2021.