

Biokaasun hyödyntäminen matkustaja-aluksilla

Toteutettavuusselvitys 2025-06-14

Jenni Kanervo, Jari Lahtinen, Juha Nurmio, Piritta Saipa



LYHENTEET

BOD _n	Biologinen hapen kulutus vuorokausissa	MEPC	Kansainvälisen merenkulkujärjestön
C	Hiili		ympäristönsuojelukomitea
CII	Polttoaineen kulutukseen perustuva hiili- intensiteetimittari	N _{tot}	Kokonaistyyppi
COD	Kemiallinen hapenkulutus	pH	Happamuusarvo
EEDI	Energiatehokkuuden suunnitteluindeksi	P _{tot}	Kokonaisfosfori
ETS	Euroopan Unionin päästökauppa	Q _i	Sisäänvirtaama
EU	Euroopan Unioni	Q _e	Ulosvirtaama
EEXI	Käytössä olevien laivojen energiatehokkuusindeksi	Residual chlorine	Jäännöskloori
Fecal coliform	Ulosteperäinen bakteeri	Solas	Kansainvälinen sopimus ihmishengen turvaamisesta merellä
IMO	Kansainvälinen Merenkulkujärjestö	TSS	Kiintoaineen kokonaismäärä
LNG	Nesteytetty maakaasu	VS	Orgaanisen kuiva-aineen määrä

TOTEUTETTAVUUSSELVITYS - SISÄLTÖ

1. JOHDANTO

Meriliikenteen päästöt, vaihtoehtoiset polttoaineet
ja biokaasun potentiaali

1. BIOKAASUPROSESSI

- 2.1 Biokaasu
- 2.2 Biokaasuprosessi ja prosessin raaka-aineet
- 2.3 Biokaasun valmistus

3. TEKNINEN TOTEUTETTAVUUS LAIVASSA

- 3.1 Biokaasutuotannon apujärjestelmät
- 3.2 Biokaasun käyttö laivassa
- 3.3 Biokaasulaitteistojen tilantarve ja sijoittelu
- 3.4 Säiliökapasiteetit
- 3.5 Painotarkastelu
- 3.6 Energiatase

4. YMPÄRISTÖPÄÄSTÖT JA TURVALLISUUS

- 4.1 Päästöt veteen ja ilmaan
- 4.2 Biokaasun terveyshaitat
- 4.3 Biokaasulaitoksen turvallisuus
- 4.4 Laivatekninen turvallisuus
- 4.5 Hajukaasujen hallinta

5. TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

- 5.1 Biokaasun kulutus ja kaasun hinta
- 5.2 Biokaasun tuotantotilojen vaihtoehtoinen käyttö
- 5.3 Epäsuora kannattavuus

6. YHTEENVETO

Lähteet

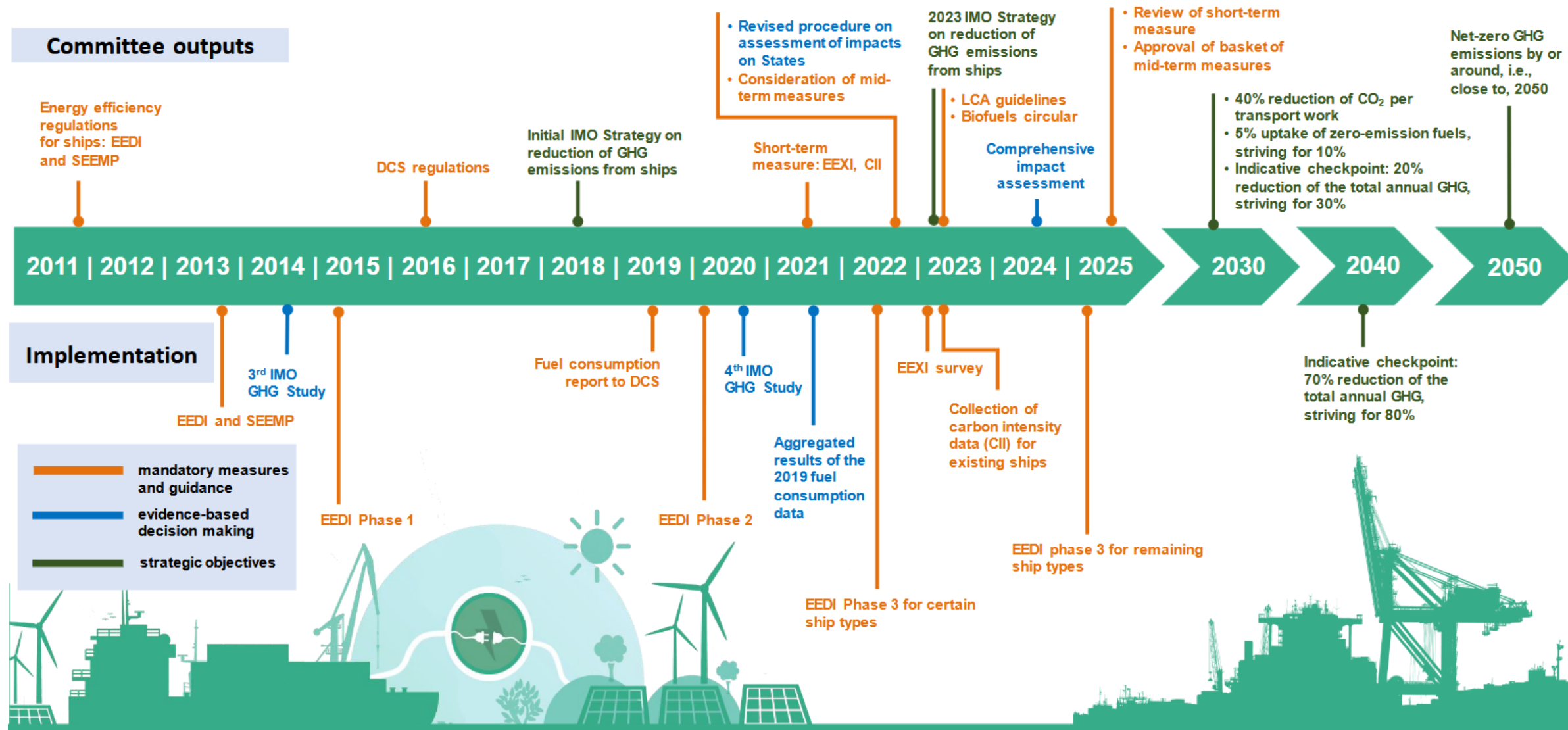
1 JOHDANTO – MERILIIKENTEEEN PÄÄSTÖT

Merenkulun päästöt ovat globaalisti merkittävä osa maapallon ympäristökuormitusta. Laivat liikkuvat pääosin konevoimalla, jolloin syntyy pakokaasupäästöjä. Tämän lisäksi aluksissa syntyy useita jätelajeja, muun muassa nestemäisiä biologisia jätteitä. Ensin mainittu kuormittaa ilmakehää ja jälkimmäiset vesistöjä – olettaen, että jätevedet lasketaan mereen. Käymäläjätevesi (musta jätevesi) täytyy käsitellä ennen mereen pumppaamista niissä tilanteissa, joissa säännöt ja määräykset sitä edellyttävät.

Laivojen kasvihuonekaasukuormitusta säädellään tiukasti (kts. seuraava sivu). Kansainvälisellä Merenkulkujärjestöllä (IMO) on neljä tähän asiaan liittyvää säädöstä: energiatehokkuuden suunnitteluindeksi (Energy Efficiency Design Index, EEDI), laivan energiatehokkaaseen käyttöön liittyvä suunnitelma (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP), käytössä olevien laivojen energiatehokkuusindeksi (Energy Efficiency Existing Ship Index, EEXI) ja polttoaineen kulutukseen perustuva hiili-intensiteetin mittari (Carbon Intensity Indicator, CII). Lisäksi IMO:n kasvihuonekaasustrategian mukaan laivaliikenteen päästöjen tulee pudota 20-30% vuonna 2030 ja 70-80% vuonna 2040 verrattuna vuoden 2008 tasoon. Hiilidioksidipäästöjen suhteessa laivan tekemään kuljetustyöhön tulee pudota 40% ja hiilivapaiden polttoaineiden käytön lisääntyä 5-10% vuoteen 2030 mennessä. Laivojen tulee olla kasvihuonekaasuneutraaleja noin vuonna 2050.

Addressing climate change

Over a decade of **regulatory action** to cut GHG emissions from shipping



1 JOHDANTO – VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET

Myös Euroopan Unionilla (EU) on omaa säätelystä. Hiilidioksidin päästökauppa (EU Emissions Trading System, ETS) ja uusiutuvien sekä matalahiilisten polttoaineiden käytön kannustaminen (FuelEU Maritime, *Euroopan komissio 2023*) alkoi meriliikenteessä 2024 (*Lloyd's Register 2024*). Kaikki yli viiden tuhannen rekisteritonnin kokoisten matkustajalaivojen päästöt tulevat olemaan päästökaupan piirissä vuodesta 2026.

Korvaamalla fossiilinen maakaasu vihreällä, biologisesti tuotetulla polttoaineella, voidaan vähentää kokonaishiilidioksidipäästöjä. Tällöin otetaan huomioon polttoaineen valmistustapa biologisista lähtöaineista, jotka ovat kasvaessaan sitoneet ilmakehästä hiilidioksidia, sekä polttoaineen jakelu ja käyttö. Biokaasun käytöllä on mahdollista keventää myös edellä kuvatus päästösääntelyn aiheuttamaa taakkaa varustamoille. EU ETS –säännöissä biopolttoaineiden osalta voidaan CO₂-muuntokertoimen osalta käyttää arvoa nolla ja FuelEU Maritime -kriteerien osalta biopolttoaineet vähentävät merkittävästi kasvihuonekaasuintensiteettiä. Voidaan myös olettaa, että tulevissa IMO:n keskipitkän ajan toimenpiteissä huomioidaan biopolttoaineiden päästöhuojennusmahdollisuus (*DNV 2025*).

1 JOHDANTO - BIOKAASU

Erityisesti uusissa aluksissa nesteytetty maakaasu on melko yleisesti käytetty polttoaine. Biokaasua voidaan käyttää polttoaineena laivamoottoreissa maakaasun sijaan, jos kaasulle asetetut laatuvaatimukset täyttyvät (*Henriksson 2024*). Heikompilaatuinen (puhdistettu mutta jalostamaton) biokaasu toimii tarvittaessa poltinkattiloiden polttoaineena (*Kurikka 2024*). Biokaasua ja nesteytettyä maakaasua voidaan sekoittaa keskenään, kunhan maakaasu on ensin höyrytetty kaasumaiseen muotoon.

Vertailtaessa vaihtoehtoisten polttoaineiden elinkaarivaikutuksia tuotannosta käyttöön saakka, biokaasun on todettu olevan hiilidioksidipäästöjen (CO₂) osalta paras vaihtoehto (kts. taulukko alla, *Bilgili 2021*).

Substances	Biogas	Ammonia	DME	LNG	LPG	Methanol	Unit
CO ₂	0.9	4.8	2.1	2.7	1.2	1.5	ton
CO	1.3	1.8	2.6	4.4	1.2	13	kg
N ₂ O	0.4	0.1	0.1	0.04	0.02	0.2	kg
Heat	0.8	4.0	3.1	2.0	1.7	3.3	MJ
CH ₄	2.5	8.3	18	44	8.1	3.9	kg
NO _x	1.9	5.5	5.6	3.2	3.6	9.9	kg
NM VOC	0.3	3.1	0.002	3.6	4.6	3.7	kg
PM _{2,5}	0.3	2.1	0.9	0.7	0.4	2.2	kg
SO ₂	2.2	23	20	54	6.2	6.5	kg

1 JOHDANTO – BIOKAASU LAIVASSA

Biokaasua voidaan tuottaa erityisesti matkustaja-aluksissa, koska siellä on paljon ihmisiä ja sen vuoksi siellä muodostuu runsaasti biologista jätettä. Tärkeimmät jätelajikkeet ovat ruokajäte ja käymäläjätevesi. Tässä toteutettavuusselvityksessä arvioidaan mahdollisuuksia asentaa biokaasulaitos matkustaja-alukseen. Arviointi tehdään teknisestä-, taloudellisesta-, turvallisuus- ja operointinäkökulmasta.

Tässä selvityksessä käytetään referenssialuksena Icon of the Seas –kokoluokan alusta. Laivan toiminta-alueeksi oletetaan Itämeri. Euroopan Unionin sisäisessä liikenteessä ruokajätettä voidaan käyttää biokaasuprosessin syöteaineena.

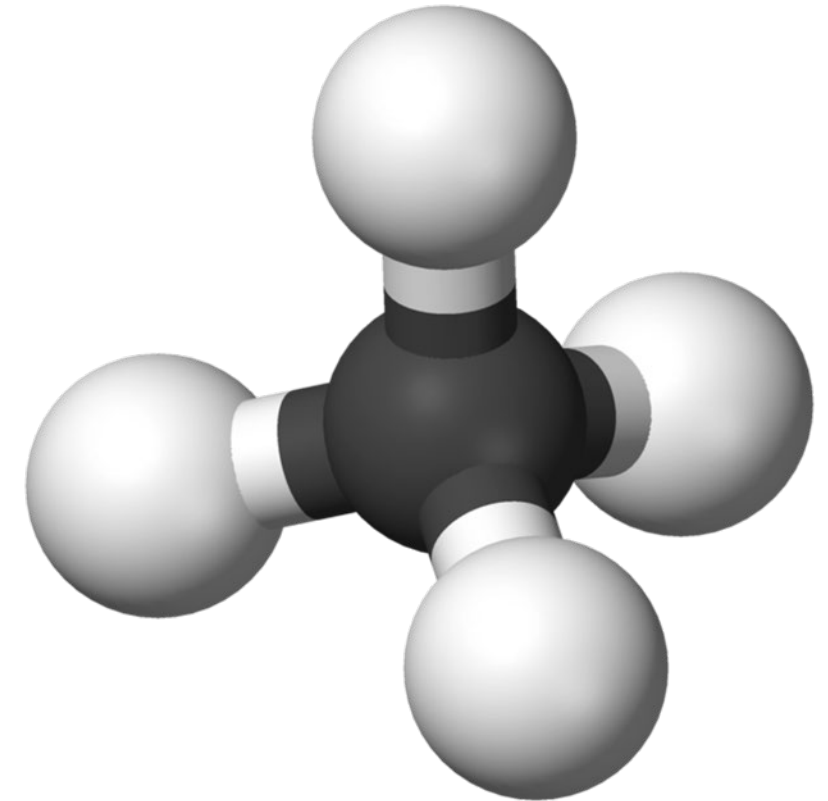
Käyttämällä biokaasua laivassa, voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Huomattava etu on myös se, ettei laivassa valmistettavaa kaasua tarvitse nesteyttää ja vaan se voidaan ottaa suoraan käyttöön.

Tämän selvityksen laatimisen on rahoittanut Suomen Ympäristöministeriö.

2.1 METAANI

- Biokaasulaitoksen ensisijaisena tehtävänä on tuottaa metaania (CH_4), joka on palava kaasu ja soveltuu polttoaineeksi
- Metaanimolekyylissä on yksi hiiliatomi ja neljä vetyatomia

Parametri	Yksikkö	Metaani
Tiheys	kg/m^3 (0°C , 101 kPa)	0,7173
Alempi lämpöarvo (tilavuus)	MJ/m^3 (0°C)	35,9
Alempi lämpöarvo (massa)	MJ/kg	50,0
Energiasisältö	kWh/kg	13,9
Leimahduspitoisuus ilmassa	Tilavuus %	4,4-17
Tunnistettavuus	Hajuton ja väritön kaasu	
Itsesyttymislämpötila	$^\circ\text{C}$	537

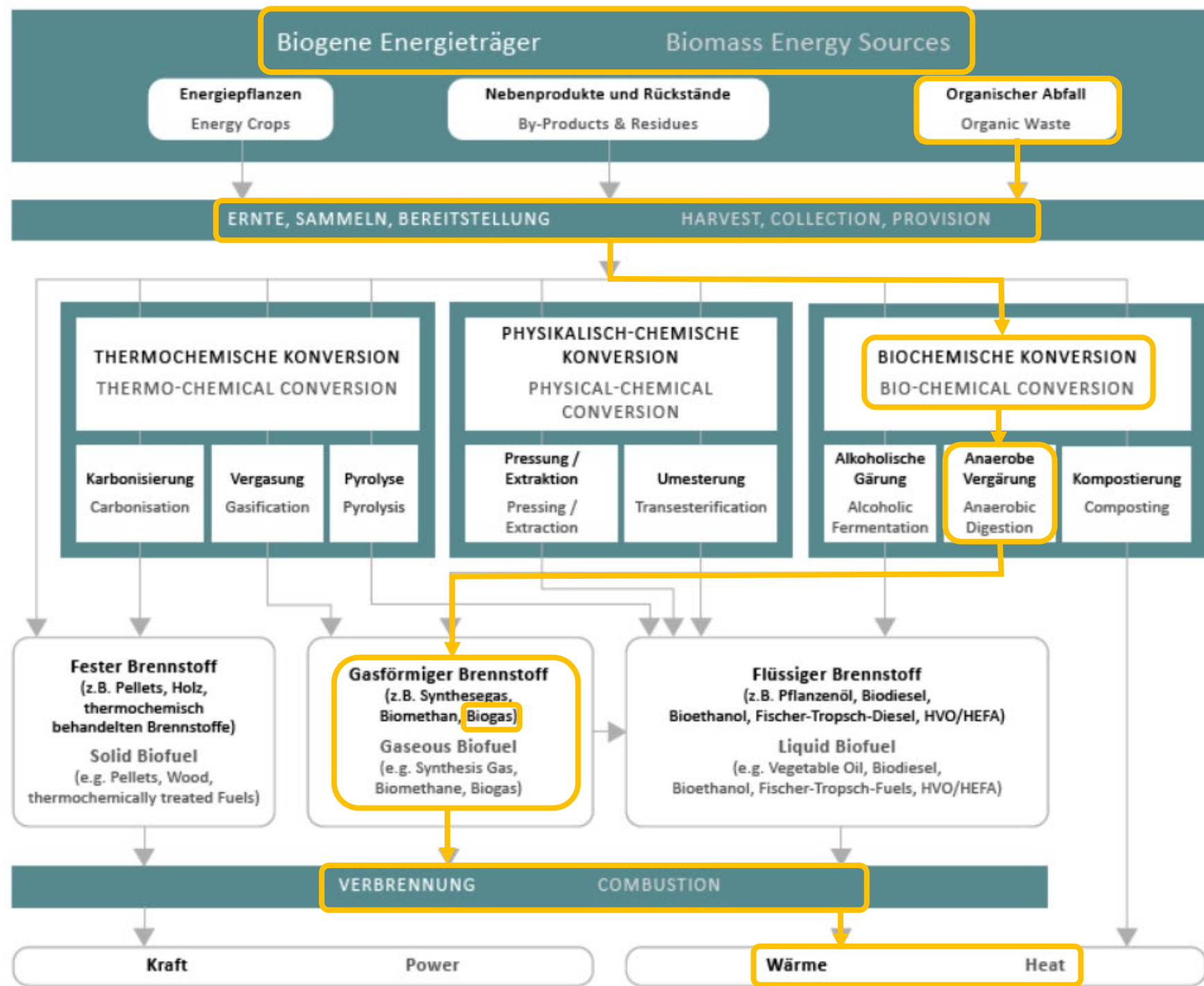


<https://vi.wikipedia.org/wiki/Methan>

2.1 BIOKAASUN VALMISTUS

Viereisessä kuvassa on esitetty keltaisella värillä biokaasun valmistus ja käyttö laivassa (*Thrän ym. 2015*).

Energian lähteenä on eloperäistä jätettä, jota käsitellään hapettomassa biokemiallisessa muutosprosessissa siten, että siitä saadaan muodostumaan kaasumaista polttoainetta eli biokaasua. Myöhemmin kaasu poltetaan, jolloin muodostuu lämpöä.



2.1 BIOKAASUN KOOSTUMUS - RAAKAKAASU

TURKU AMK



- Märkäprosessissa biokaasureaktoriin tulevasta syöteainemassasta suurin osa on vettä ja siitä muuttuu kaasuksi 5-7 massaprosenttia
- Metaanipitoisuus kaasussa on tyypillisesti 45-75 tilavuusprosenttia ja kaasun suhteellinen kosteus on 100 % sekä vesihöyrypitoisuus 2-7 tilavuusprosenttia.
- Biokaasu sisältää tyypillisesti myös muita aineita kuten:
 - hiilidioksidia (CO_2) 20-55 til-%
 - typpeä (N_2) < 2 til-%
 - hiilimonosidia (CO) < 0,2 til-%
 - happea (O_2) < 1 til-%
 - vetyä (H_2) < 0,5 til-%

- rikkivetyä (H_2S) < 0,8 til-%
- rikkiä yhteensä < 8 g/Nm³
- ammoniakkia (NH_3) < 3 mg/Nm³
- siloksaaneja < 5 mg/Nm³

(Lampinen. 2015)

- Rikkivedyn ja siloksaanien määrät voivat hyvinkin olla alhaisempia, riippuen raaka aineista

Useita syklosiloksaaneja (D4, D5, D6; katso taulukko alla) on pidetty haitallisina ympäristölle ja ihmisten terveydelle. Nämä kolme ainetta on lisätty REACH-asetuksen erityistä huolta aiheuttavien aineiden kandidaattiluetteloon (SVHC).

Yhdiste	CAS N:o	Lyhenne
Oktametyylisyklotetrasiloksaani	556-67-2	D4
Dekametyylisyklopentasiloksaani	541-02-6	D5
Dodekametyylisykloheksasiloksaani	540-97-6	D6

2.1 BIOKAASUN KOOSTUMUS - RAAKAKAASU

TURKU AMK



Edellisen sivun perusteella yksi kuutiometri biokaasua sisältää

0°C lämpötilassa ja 101 kPa paineessa:

➤ metaania (CH ₄)	0,32-0,54	kg
➤ hiilidioksidia (CO ₂)	0,40-1,09	kg
➤ vesihöyryä (H ₂ O)	< 0,4	g
➤ typpeä (N ₂)	< 2,5	g
➤ hiilimonosidia (CO)	< 2,5	g
➤ happea (O ₂)	< 14	g
➤ vetyä (H ₂)	< 0,4	g
➤ rikkivetyä (H ₂ S)	< 12	g
➤ rikkiä yhteensä	< 8	g

➤ ammoniakkia < 3 mg

➤ siloksaaneja < 5 mg

- Biokaasun suhteellinen tiheys ilmaan nähden on tyypillisesti 0,84-1 (ilman tiheys 1,29 kg/Nm³)
- Tässä tarkastelussa metaanipitoisuudeksi oletetaan 60 % ja biokaasun tiheydeksi 1,21 kg/Nm³
- Runsas metaanipitoisuus ja vähäinen hiilidioksidimäärä keventävät kaasua ja parantavat sen lämpöarvoa.

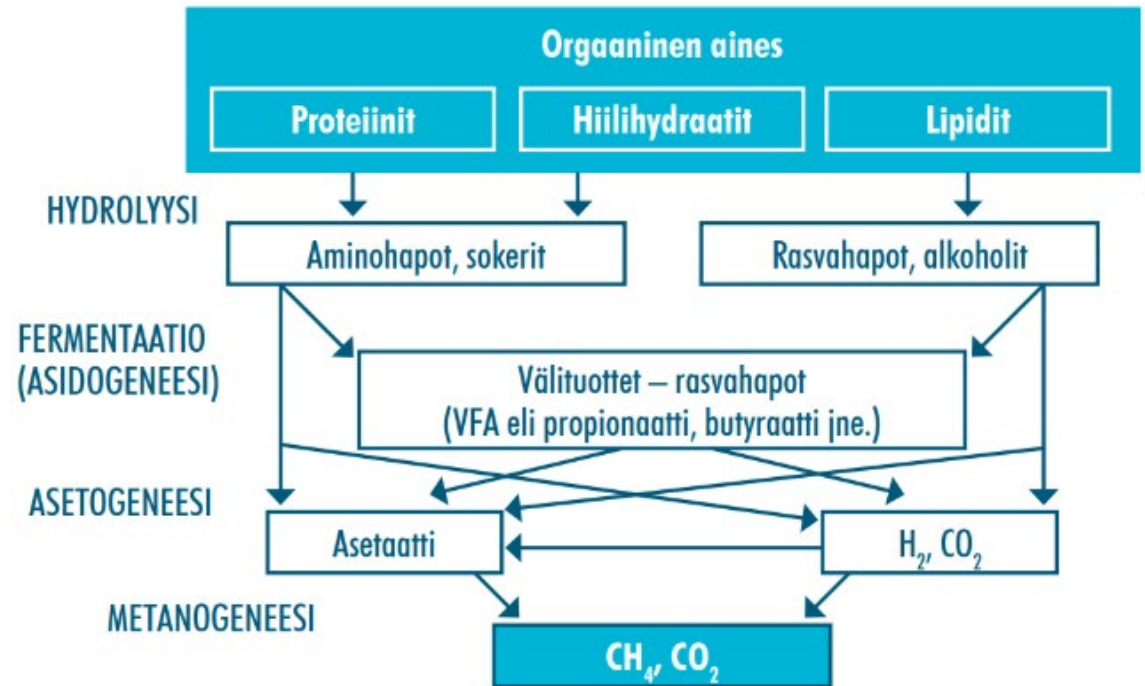
2.2 BIOKAASUPROSESSIN SYÖTEAINEET

Biokaasua syntyy orgaanisen, erityisesti kuiva-aineksen, anaerobisessa hajoamisprosessissa erilaisten mikro-organismien toiminnan tuloksena. Anaerobisessa hajoamisessa on neljä välivaihetta – hydrolyysi, fermentaatio, asetogeneesi ja metanogeneesi – viereisen kuvan mukaisesti.

Prosessin syöteaineita arvioidaan seuraavilla tekijöillä (Kymäläinen 2015):

- Happamuus (pH)
- Kuiva-ainepitoisuus (TS)
- Orgaanisen kuiva-aineen määrä (VS)
- Kemiallinen hapenkulutus (COD)
- Kokonaistyyppi (N)
- Hiilipitoisuus (C)

Hyvälaatuisessa syötteessä on korkea VS/TS-suhde ja helposti hajoava VS. Jotta syötteen pumppaus ja sekoitus onnistuu, kuiva-ainepitoisuuden tulee olla märkäprosessissa alle 15 %.



Anaerobisessa hajoamisessa tapahtuva orgaanisen aineen vaiheittainen hajoaminen bio-kaasuksi.

Kymäläinen 2015

2.1 PROSESSIOLOSUHTEET

Biokaasutuotantoon vaikuttavat seuraavat tekijät (Kymäläinen 2015):

- Lämpötila, jonka tulisi olla mesofiilisessa prosessissa välillä 35-43 °C. Lisäksi lämpötilan tulisi olla tasaisen, vaihteluväli +/- 2 °C.
- Tavoitteena on happamuudeltaan neutraali prosessi, jolloin pH on välillä 7-8.
- Ravinteet: hiili, typpi, fosfori sekä rikki vaikuttavat solujen kasvuun
- Hivenaineet: nikkeli, koboltti, molybdeeni, rauta, seleeni, sinkki, kupari, mangaani sekä volframi ovat olennaisia solujen kasvussa ja entsyymitoiminnassa
- Haitallisia aineita ovat metallit, antibiootit, desinfiointiaineet, torjunta-aineet sekä korkeat suolapitoisuudet. Lisäksi liiallinen määrä prosessissa syntyvää ammoniakkia, rikkivetyä ja rasvahappoja voivat haitata biokaasun muodostumista

Laivojen moottoreissa syntyy runsaasti hukkalämpöä. Korkean lämpötilan jäähdytysvesi on arvokasta ja tälle kuumalle vedelle on runsaasti käyttökohteita. Moottoreista ja muista laivan koneisoista saadaan myös matalamman lämpötilan jäähdytysvettä ja tätä vähempiarvoista energiaa on mahdollista käyttää bioreaktorin lämmitykseen. Muihin edellä lueteltuihin tekijöihin on hankalampaa vaikuttaa, mutta desinfiointi- ja torjunta-aineiden kulkeutuminen WC-jäteveteen sekä ruokajätteeseen tulisi minimoida.



<https://5.imimg.com/data5/VI/PR/TG/AN/DROID-4836272/prod-20200309-1628593553709075444993852-jpg-500x500.jpg> 2025-04-30

2.2 BIOKAASUPROSESSIN SYÖTEAINEET LAIVASSA

- Laivan biojätteet voidaan ryhmitellä seuraavasti: **viemäriverdet, ruokajäte ja kiinteät jätteet**
- Viemäriverdet voidaan edelleen jakaa käymäläjäteveteen (musta jätevesi) ja vähemmän haitallisiin viemäriverisiin (harmaat jätevedet). Laivan keittiöistä tuleva harmaa jätevesi voi sisältää rasvaa ja siksi se johdetaan rasvanerotuksen läpi jätevedenpuhdistusjärjestelmään.
- Ruokajäte koostuu ruoan valmistuksessa syntyvästä jätteestä, ylijäämääruuasta ja muusta ruokajätteestä. **EU:n ulkopuolelta saapuva kansainvälinen ruokajäte on ensimmäisen luokan ruokajätettä ja se pitää hävittää tälle jätetyypille asetettujen säädösten mukaisesti.**
- Kiinteät biojätteet ovat pääosin pakkauksia, paperipyyhkeitä ja muita puupohjaisia lyhytikäisiä tuotteita.

 **RUOKAVIRASTO**
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority

Etusivu Ajankohtaista Elintarvikkeet **Eläimet** Kasvit Laboratorio Tuet Teemat

Etusivu Eläimet / Eläimistä saatavat sivutuotteet ja kuolleet eläimet Eläimistä saatavat sivutuotteet Kansainvälinen ruokajäte

Eläimet

- Eläintenpito, tunnistaminen ja rekisteröinti
- Eläinten hyvinvointi
- Eläinten terveys ja eläintaudit
- Tuonti, vienti ja sisämarkkinasiirrot

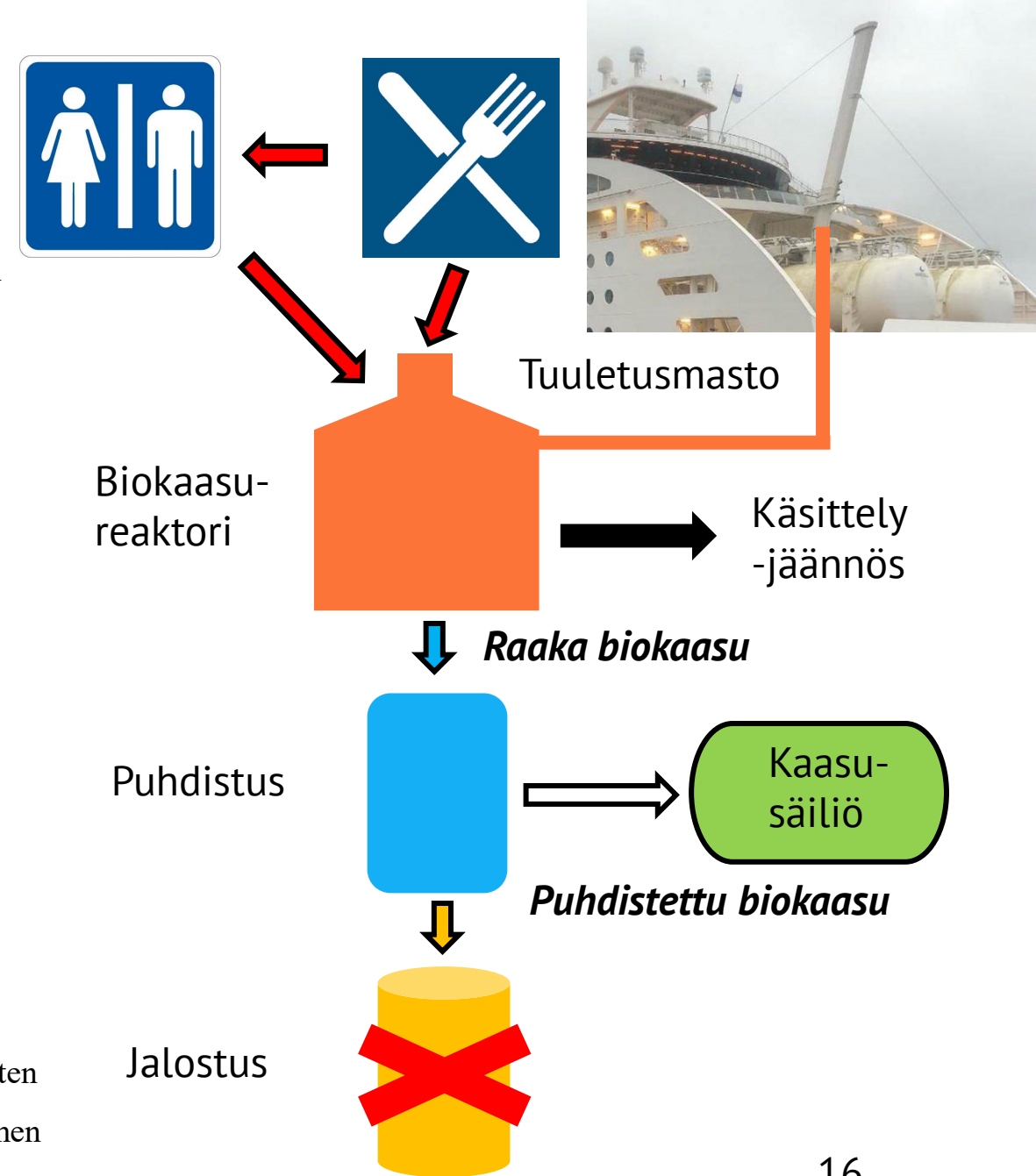
Kansainvälisen liikenteen ruokajäte

Kansainvälisellä liikenteellä tarkoitetaan tässä yhteydessä liikennettä, joka saapuu Suomeen EU:n ulkopuolelta (lentokoneet, laivat ja junat, joiden lähtöpiste on EU:n ulkopuolisessa maassa). Kansainvälisesti liikennöivästä liikennevälineistä peräisin olevalla luokan 1 ruokajätteellä tarkoitetaan matkustajien ja miehistön ruokailun ja ruoanvalmistuksen yhteydessä muodostuvaa ruokajätettä (ruokajäte). Toimijoiden, jotka vastaavat kansainvälisestä liikenteestä peräisin olevan ruokajätteen keräily pisteistä, tulee rekisteröityä Ruokavirastoon sivutuoteasetuksen ((EY) N:o 1069/2009) mukaisesti toimijoiksi.

2.2 BIOKAASUPROSESSI LAIVASSA

Viereisessä kuvassa on esitetty tässä selvityksessä tarkasteltava anaerobinen biokaasuprosessi:

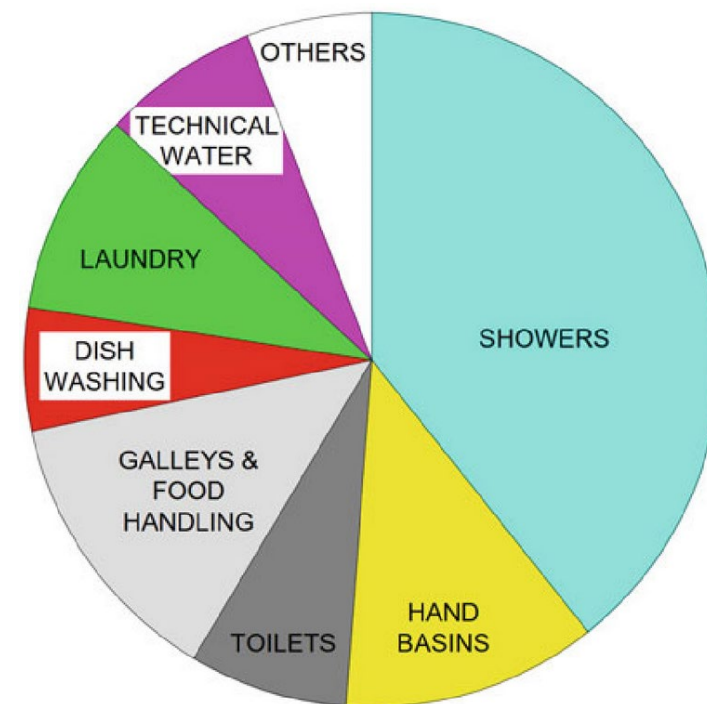
- Tärkeimmät syöteaineet ovat WC-jätevesi ja ruokajäte
- Biokaasureaktorissa muodostuu puhdistamatonta raakakaasua
- Höyrykattilakäyttöön soveltuva raakakaasu puhdistetaan syövyttävistä, myrkyllisistä, saastuttavista, likaavista, räjähdysvaarallisista ja haisevista yhdisteistä
- **Jalostettu kaasu on liikennekäyttöön soveltuvaa, mutta sen vaatimia teknologioita ei katsota järkeväksi asentaa laivakokoluokan biokaasulaitokseen**
- Jos biokaasun puhdistuksessa tai käytössä ilmenee ongelmia, reaktorissa muodostuva biokaasu täytyy johtaa turvallisesti ulkoilmaan
- Turvallisuussyistä laivaan ei todennäköisesti voida asentaa soihtupoltinta, joten häiriötilanteessa ylijäämäkaasu johdetaan ylipaineventtiilin ja poistopuhaltimen kautta tuuletusmastoon



2.2 BIOKAASUPROSESSIN SYÖTEAINEET

- Koska matkustajalaivojen koko ja matkustajamäärä vaihtelee suuresti, jätemääriä kannattaa tarkastella henkilömäärä- ja aikasidonnaisesti.
- Seuraavaan taulukkoon on koostettu risteilyaluksella kertyvät viemäriveresi- ja ruokajättemäärät (*Aarnio 2022, Evac 2019, Schumüller ym. 2021*).

Jäte	Yksikkö	Määrä
Viemäriveredet	Litraa/(vuorokausi × henkilö)	230-348
Ruokajäte	Kiloa/(vuorokausi × henkilö)	1,365



Veden kulutusjakauma (*Aarnio 2022*)

2.2 JÄTELAJIKKEET JA NIIDEN MÄÄRÄT

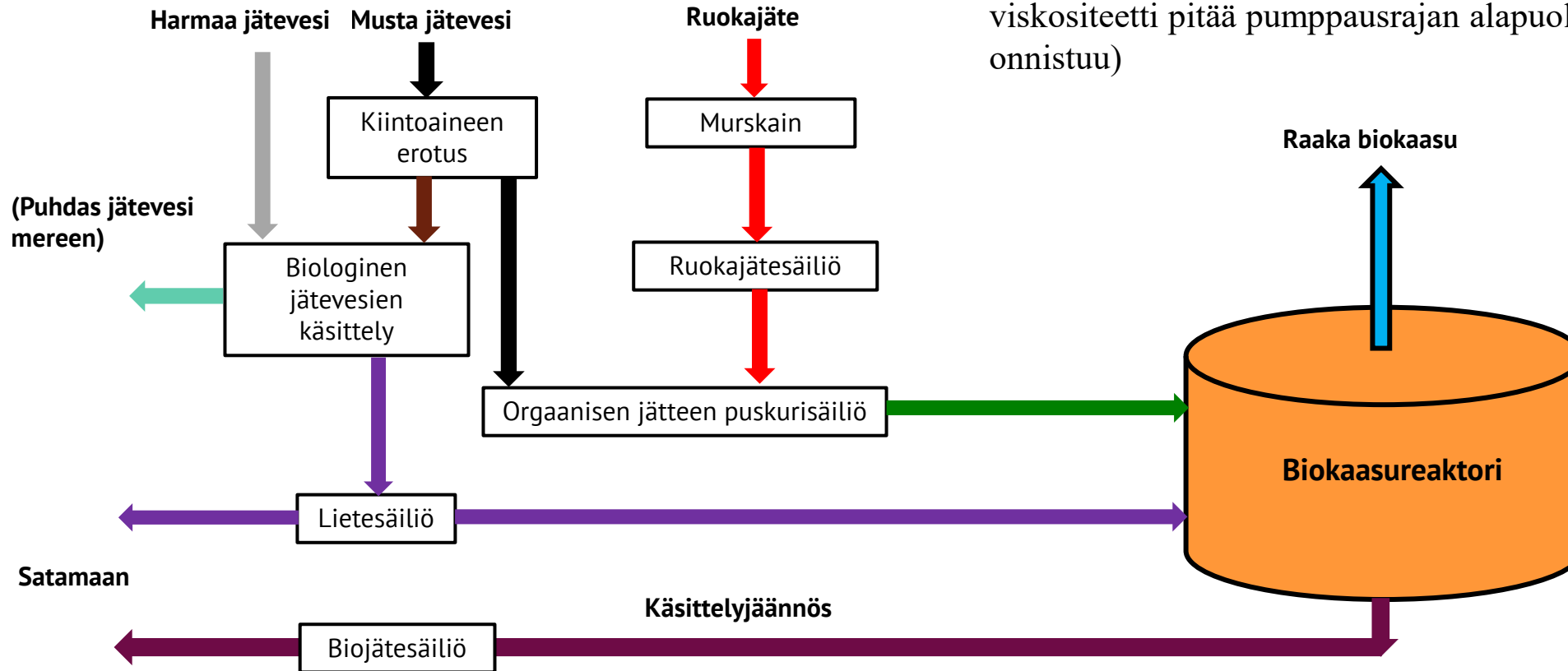
TURKU AMK



Biojätteitä voidaan määrän lisäksi tarkastella myös laadullisten parametrien avulla (*Schumüller ym. 2021*). Alla olevassa taulukossa on esitetty kolme syöteainetta – ruokajäte, viemäriveden käsittelyliete ja mustasta jätevedestä mekaanisesti erotettu kiintoaine – kukin omassa sarakkeessaan. Korkea haihtuvan kiintoaineen määrä ennakoi runsasta biokaasun tuottoa. Taulukosta voidaan päätellä, että kiintoainetta (biokaasupotentiaalia) on eniten ruokajätteessä. Mustassa jäteveden seulontaerotuksessa on korkein kiintoainepitoisuus suhteessa jätteen määrään.

Parametri	Yksikkö	Ruokajäte	Viemäriveden käsittelyliete	Mustan jäteveden seulontaerotus	Yhteensä
Jätteen määrä	kg/(vuorokausi*henkilö)	1,365	7,342	0,122	8,829
Kiintoaine	kg/(vuorokausi*henkilö)	0,322	0,097	0,049	0,467
Haihtuva kiintoaine	kg/(vuorokausi*henkilö)	0,281	0,082	0,047	0,411
Kiintoainepitoisuus	Painoprosenttia	23,6	1,32	40,0	5,3
Haihtuva-/kokonais-kiintoaine	Prosenttia	87,3	85,1	97,3	87,9

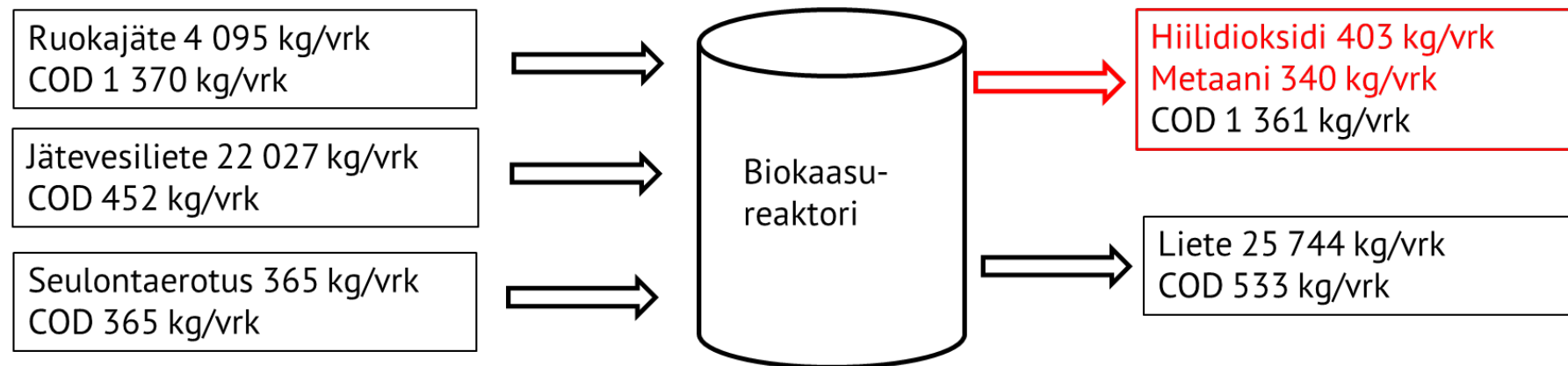
- Lietten vesipitoisuus on korkea ja biokaasupotentiaali pieni
- Lietten määrää säätämällä voidaan käsittelyjäännöksen viskositeetti pitää pumppausrajan alapuolella (pumppaus onnistuu)



2.3 JÄTTEIDEN BIOKAASUPOTENTIAALI

Alla olevassa kuvassa on esitetty biokaasutuotannon massatasapaino anaerobisessa mesofiilisessa prosessissa (*Schumüller ym. 2021*). Laskelma on tehty laivalle, jossa on 3000 hengen matkustajamäärä.

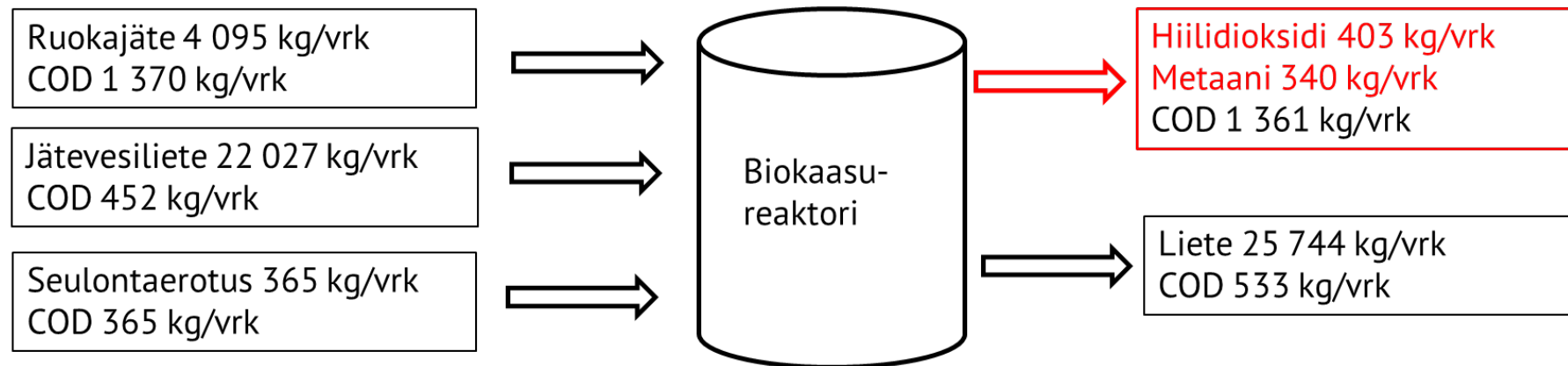
Biokaasureaktoriin tuleva kokonaissyöte vuorokaudessa on **26 487 kg** ja kokonaispoistumasta on raakakaasua **743 kg**, joten sisään tulevien syöteaineiden massasta 2,8 % muuttuu biokaasuksi. Kaasusta **340 kg** on metaania (46 %) ja tämä tarkoittaa 1,3 %:n osuutta syötteestä.



2.2 BIOKAASUN ENERGIASISÄLTÖ

Biokaasureaktorista ulos tulevan lietteen kemiallinen hapenkulutus (COD) 533 kg vuorokaudessa ja syöteaineiden vastaava arvo **2 187 kg**. Tämä tarkoittaa sitä, että biokaasulaitos vähentää noin 76 % kokonaishapenkulutuksesta, josta biokaasuun sitoutuu **1 361 kg** (62 %). Prosessissa hapen kulutus on 13 %, joten biokaasulaitos toimii jäteveden (lietteen) puhdistuslaitteena.

Tuotetun kaasumäärän lämpöteho on 197 kW (66 W henkeä kohti) ja metaanin kokonaistuotto 474 Nm³/vrk (158 litraa/henk.vrk.).



2.3 JÄTTEIDEN BIOKAASUPOTENTIAALI

Doranova Oy on tehnyt tarkemman analyysin biokaasun tuotannosta aiemmin esitetyillä lähtöarvoilla. Laivan ihmismääräksi on tässä tapauksessa oletettu 6 500 henkilöä. Laskelmien perusteella muodostuva kaasu sisältää 60 % metaania ja 40 % hiilidioksidia (edellisessä laskelmassa 46 % ja 54 %). Syöteaineiden viipymääjaksi reaktorissa on laskettu 35 vuorokautta ja prosessia on optimoitu siten, että matalatuottoista ja vesipitoista lietettä käytetään säätämään syötteen kiintoainepitoisuutta. Lietteiden määrästä ohjataan reaktoriin vain 17 %.

Alla on lueteltu laskennan tuloksia ja myös edellisen laskelman vertailulukuja suluissa. Doranova Oy:n laskelmassa kaasun tuotto on hieman pienempi, samoin kuin energiateho. Tämä johtunee siitä, että osa lietteiden kaasupotentiaalista jätetään käyttämättä, jolloin voidaan rajoittaa reaktorin kokoa.

➤ Metaanimäärä	0,091 kg/henk.vrk.	(0,113 kg/vrk)
➤ Energiateho	52 W/henkilö	(66 W/henkilö)

2.3 BIOKAASUREAKTORIN KAPASITEETTI TURKU AMK



Tämä biokaasulaitoksen laiva-asennuksen tarkastelu perustuu Doranova Oy:n laskelmaan. Lähtöoletuksena on, että referenssialus käyttää polttoaineena nesteytettyä maakaasua. Tällöin alus täyttää jo entuudestaan ne säännöt ja määräykset, jotka kaasumaista matalan leimahduspisteen polttoainetta käyttävälle matkustaja-alukselle on asetettu. Aluksen henkilömääräksi oletetaan 6 500 henkilöä:

BIOKAASULAITOKSEN TUOTTOPOTENTIALILASKELMA - RISTEILYALUS

Raaka-aine	Määrä, t/a	Määrä, t/vrk	TS-pitoisuus, %	TS, t	CH ⁴	Nm ³ /t (BK)	Nm ³ /t (CH ₄)	Yhteensä, m ³ (BK)	Yhteensä, m ³ (CH ₄)
Food waste	3 238	8,87	23,0 %	745	60 %	138,0	82,8	446 908	268 145
Screenin solids	289	0,79	23,0 %	66	60 %	138,0	82,8	39 834	23 901
Sewage sludge	3 000	8,22	1,3 %	39	60 %	4,8	2,9	14 333	8 600
Water	0		0,0 %	0	0 %	0,0	0,0	0	0
Reject circulation	0		1,0 %	0	60 %	2,0	1,2	0	0
Summa	6 527	17,88	13,0 %	850				501 075	300 645

Prosessin mitoitus	
Laskennallinen biokaasusaanto	57,2 m ³ /h
Laskennallinen metaanisaanto	34,3 m ³ /h
Metaanipitoisuus	60,0 %
Energiäteho	339,8 kW
Energian tuotanto vuodessa	2 976,4 MWh
Laskennallinen viipymä	35 vrk
Reaktoritilavuuden tarve, netto	626 m ³
VS/TS, arvio	89,6 %
Orgaaninen kuormitus	3,34 kg oTS/m ³ /d
Syötteen kiintoainepitoisuus, ka	13,0 %
Arvioitu reaktorin kiintoainepitoisuus	6,62 % TS

Prosessin mitoitu:

Food waste
Screenin solids
Sewage sludge

*Biogas potential of organic waste onboard cruise ships — a yet untapped energy source

6500 matkustajaa

t/a

3 238
289
17 420

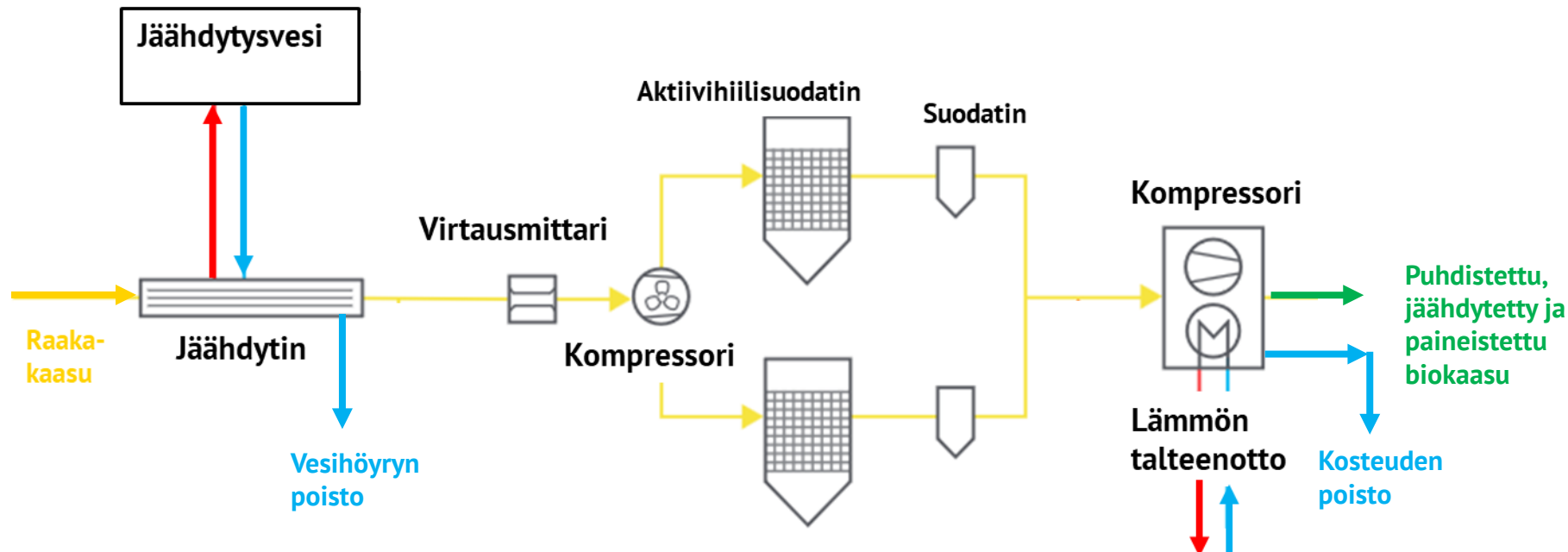
2.3 LAIVAKOHTAISIA TIETOJA BIOKAASUSTA

• Ilman tiheys:	1,29	kg/Nm ³	• Biokaasun polttoaineteho:	567	kW
Reaktorilämpötilassa 40°C	1,09	kg/Nm ³	(ylempi lämpöarvo)		
• Biokaasun tuotto:	15,9	l/s	• Biokaasun suhteellinen tiheys:	0,94	
	16,3	g/s	• Metaanin tuotto:	9,53	l/s
• Biokaasun alempi lämpöarvo:	20,9	MJ/Nm ³	• Metaanipitoisuus:	60	%,vol
	20,4	MJ/kg	• Viipymä reaktorissa:	35	vrk
• Biokaasun ylempi lämpöarvo:	23,1	MJ/Nm ³	• Reaktoritilavuus, netto:	626	m ³
	22,5	MJ/kg			
• Biokaasun energiateho:	340	kW			

2.3 BIOKAASUN PUHDISTUS

Raakakaasu puhdistetaan aina vesihöyrystä ja rikkivedystä, koska ne muodostavat yhdessä rikkihappoa (*Lampinen 2015*). Tämä tapahtuu esimerkiksi seuraavasti (Agripure® biogas upgrading):

1. Aluksi biokaasua jäähdytetään, jolloin kaasussa oleva ylimääräinen kosteus kondensoituu ja kaasu muuttuu kuivemmaksi
2. Seuraavaksi kaasu esipaineistetaan matalapainekompressorissa ja johdetaan aktiivihiilisuodattimille. Kuivaus pidentää kompressorien ja suodattimien elinikää
3. Aktiivihiilisuodattimet poistavat kaasusta rikkivedyn
4. Korkeapainekompressorissa (25 MPa, 250 bar) on öljyn erotus, kaasun kuivaus ja lämmön talteenotto



2.3 KÄSITTELYJÄÄNNÖS

Käsittelyjäännös sisältää ravinteita, joita voidaan hyödyntää lannoitteina. Anaerobinen käsittely tuhoaa taudinaiheuttajat ja ei-toivotut siemenet. Jäännöstä tulee ulos biokaasureaktorista seuraavasti:

- Syötteen määrä: 754 kg/h
- Biokaasun määrä: 69 kg/h (57.2 m³/h, 1.21 kg/m³)
- Käsittelyjäännöksen määrä: 685 kg/h

Kiintoainepitoisuus poistuvassa lietteessä on 13 % ja jos seoksen tiheydeksi oletetaan 1000 kg/m³, kiintoaineen määräksi saadaan 89 kg/h. Käsittelyjäännös pumpataan satamassa maihin ja sitä kertyy viikon kestoisen risteilyn aikana noin 115 m³. Käsittelyjäännös tuottaa jonkin verran biokaasua vielä reaktorista poiston jälkeen.

Ennen kierrätyslannoitekäyttöä käsittelyjäännös vaatii maalaitoksessa hygienisoinnin, jotta se saa Ruokaviraston hyväksynnän. Tämä tarkoittaa lämpötilan nostamista yhden tunnin ajaksi yli 70 asteeseen ja alle 12mm:n palakokoa.

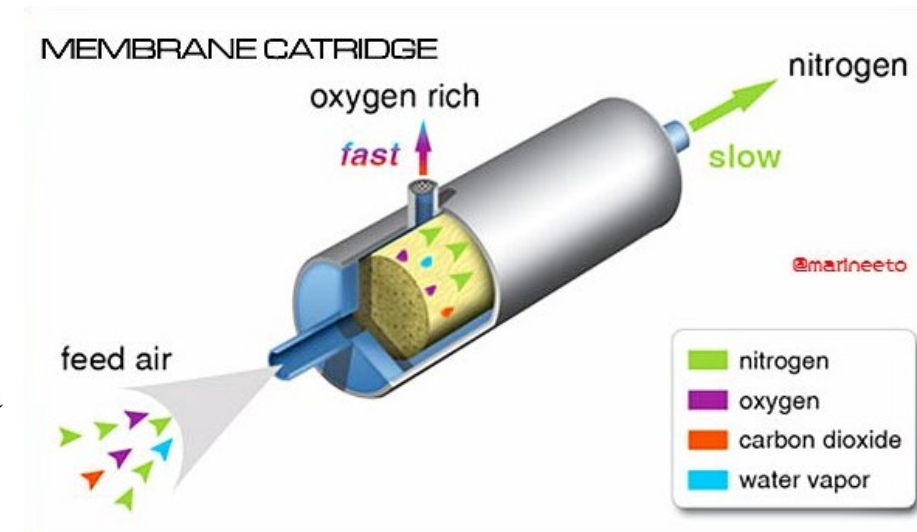


3.1 BIOKAASUTUOTANNON APUJÄRJESTELMÄT LAIVASSA

Suurissa matkustajalaivoissa on jätevedenkäsittelylaitteistot ja mahdollisuus pumpata ruokajäte mereen, joten laivat pystyvät toimimaan normaalisti myös jätteisiin perustuvan biokaasutuotannon mahdollisissa häiriötilanteissa. Tässä esityksessä kuvattu tapa tuottaa biokaasua edellyttää kytkeytymistä laivassa jo olemassa oleviin järjestelmiin sekä niiden laajentamista seuraavasti:

- Sähkövirta
- Paineilma
- Räjähdyksivaarallisten kaasujen tuuletusjärjestelmä (LNG-aluksissa asennettuina mutta laajennus biokaasulaitokseen on tehtävä)
- Suojakaasujärjestelmä, jossa kaasuna käytetään tyypillisesti ilmasta erotettua typpeä (LNG-aluksissa asennettuna)
- Automaatio-, kommunikaatio- ja hälytysjärjestelmät
- Palonsammutusjärjestelmät
- Vesi- ja viemärijärjestelmät

Järjestelmät tulee suunnitella vastaamaan biokaasulaitoksen tarpeita.



Typen erotus ilmasta hitaasti läpäisevän kalvon avulla

<https://www.marineeto.we.bs/2020/06/14/n2-generator-complete-guide>

3.1 BIOKAASUTUOTANNON APUJÄRJESTELMÄT LAIVASSA

Biokaasutuotannossa tarvitaan lisäksi uusia järjestelmiä:

- Hajukaasujen valvonta- ja hallintajärjestelmä
- Käsittelyjäännöksen poistojärjestelmä
- Orgaanisen jätteen puskurisäilö

Hajukaasujen hallinta on kriittistä matkustaja-aluksessa. Yksinkertaisinta on toimia hajujen kanssa vastaavasti kuin palovaarallisen biokaasun kanssa, mikä tarkoittaa tuuletusilman sisäkkäistä kaksoiskanavointia. Tuuletuksen poistoaukkojen sijoittelun tulee mahdollistaa haisevien kaasujen irtautuminen laivan rungosta mahdollisimman tehokkaasti; vastaavalla tavalla kuin pakokaasujen osalta toimitaan.



<https://www.heute.at/i/neue-furz-app-analysiert-jetzt-deine-blaehungen-120075028/doc-1idkdm67i4>



3.2 BIOKAASUN MOOTTORIKÄYTTÖ

Biokaasureaktorin tuottama ”raakakaasu” täytyy puhdistaa ja mahdollisesti jalostaa ennen käyttöä. Puhdistuksessa raakakaasusta poistetaan vesihöyryä ja rikkiyhdisteitä, jottei rikkihappoa pääse muodostumaan järjestelmään (*Lampinen 2015*). Myös muita haitallisia yhdisteitä voidaan tarvittaessa poistaa. Jos puhdistettua biokaasua jalostetaan, siitä poistetaan ainakin palamattomia kaasuja – hiilidioksidia ja typpeä – jolloin kaasun energiatiheys paranee ja siitä tulee maakaasuun rinnastettavaa polttoainetta.

Viereisessä taulukossa on esitetty Wärtsilä 34DF-moottorin kaasupolttoaineen kriteerit (*Wärtsilä 2024*), jotka voivat olla haasteellisia puhdistetulle biokaasulle. Moottorivalmistaja toteaa, että esimerkiksi silikaatteja sisältävän käsittelemättömän biokaasun käyttö ei ole sallittua. Biokaasun jalostaminen on teknisesti vaativaa ja se ei ole laivaympäristössä järkevää.

Laatukriteeri	Yksikkö	Raja-arvo
Alempi lämpöarvo, min	MJ/m ³ N	26
Metaani, min	% v/v	70
Rikkivety, max	% v/v	0,05
Vety, max	% v/v	3
Öljy	mg/m ³ N	2
Ammoniakki, max	mg/m ³ N	25
Kloori + fluori, max	mg/m ³ N	50
Partikkelit, max	mg/m ³ N	50

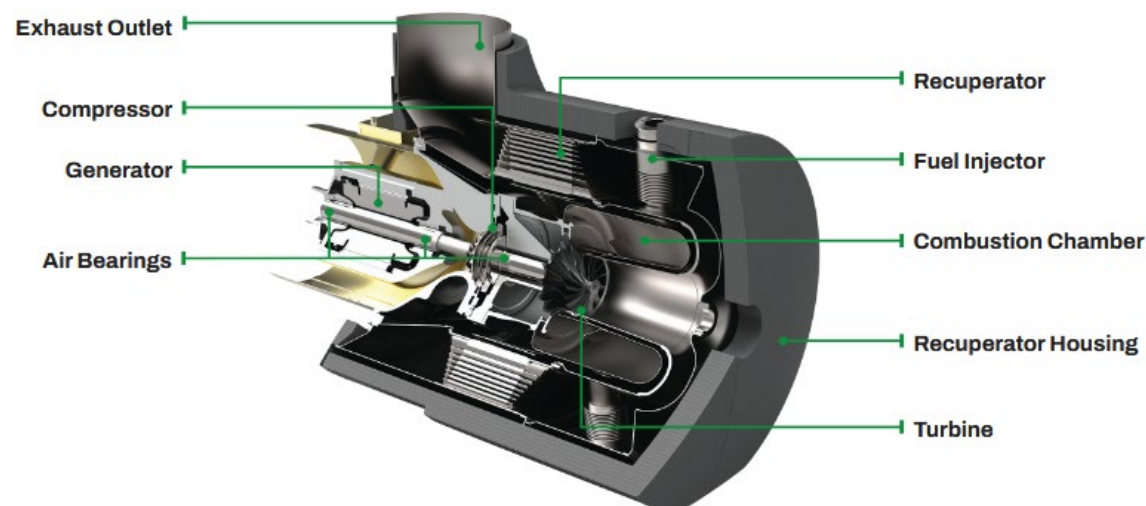
3.2 BIOKAASUN TURBIINIKÄYTTÖ

Biokaasua voidaan käyttää myös mikroturbiinien (pienikokoisten kaasuturbiinien) polttoaineena. Tällöin pienitehoinen kaasuturbiini on kytketty generaattoriin, joka tuottaa sähköä laivan tarpeisiin. laivassa tuotetulle biokaasulle.

Mikroturbiinin käyttö voisi olla rinnakkaiskäytössä poltinkattilan kanssa.

Viereisessä taulukossa on Capstone C65 –mikroturbiinigeneraattorin teknisiä tietoja.

C65 Engine Components



Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Antoteho	kW	65
Jännite	V (vaihtovirta)	400/480 kolmivaihe
Taajuus	Hz	50/60
Kokonaishyötysuhde	%	28
Biokaasun sisääntulopaine	kPa	517-551
Polttoaineen ylempi lämpöarvo HHV	MJ/m ³	20,5-32,6
Rikkivety	%,vol	<0,5
Polttoaineteho	kW (HHV)	255
Polttoaineen lämpövirta kilovattituntia kohti	MJ/kWh (LHV)	12,9
Polttoaineen kulutus	kJ/s	900
Pakokaasun massavirta	kg/s	0,49
Pakokaasun lämpötila	°C	329
Pituus, leveys, korkeus	m	0,76 x 1,95 x 2,08
Paino	tonnia	1,1

3.2 LAIVAOLOSUHTEISSA VALMISTETUN BIOKAASUN KÄYTTÖ

Biokaasuprosessi on tarkoituksenmukaista pitää laivassa mahdollisimman yksinkertaisena. Tämä tarkoittaa sitä, että kaasun jalostusvaihe jätetään pois. Jalostamaton biokaasu ei sovellu matkustaja-aluksissa yleisesti käytettyjen kaksipolttoainemoottorien (dual-fuel engines) polttoaineeksi mutta sitä voidaan käyttää laivan poltinkattiloissa ja mikroturbiineissa. Näistä kahdesta vaihtoehdosta valitaan poltinkattilakäyttö. Jos biokaasua sekoitetaan vähäisessä määrin höyrystyneeseen nesteytettyyn maakaasuun (LNG), ainoastaan kaasupoltinta syövyttävät yhdisteet ja epäpuhtaudet tulee poistaa (*Kurikka 2024*).

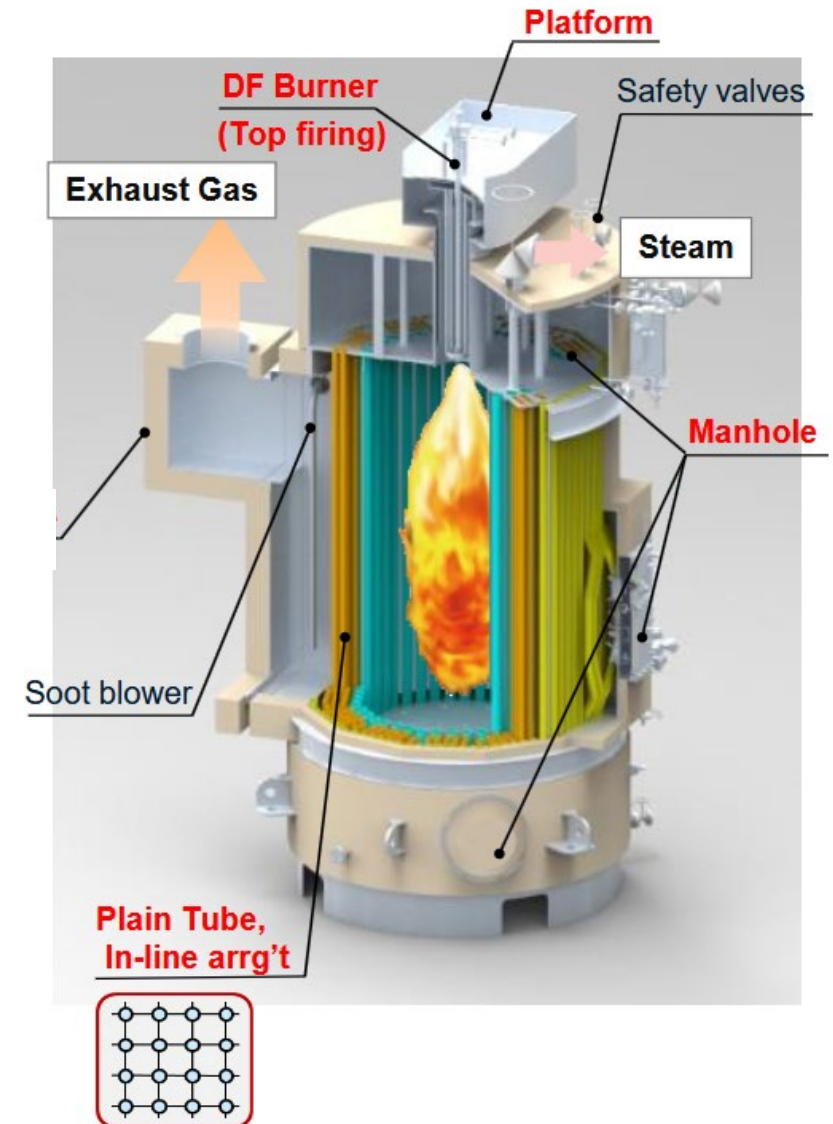
Matkustajalaivassa Euroopan unionin alueella polttoaineen rikkipitoisuus voi olla korkeintaan 0,1 massaprosenttia pakokaasujen rikkipäästöjen välttämiseksi tai vaihtoehtoisesti rikki on poistettava pakokaasusta. Raaka reaktorikaasu sisältää rikkiä alle 8 grammaa normaalikuutiometriä kohti (*Lampinen, 2015*), mutta usein rikkipitoisuus on tätä alhaisempi (*Saalasti 2025*). Jos kaasun tiheydeksi on 1,22 kg/Nm³ (*Leikas 2015*), rikkipitoisuudeksi saadaan noin 0,7 massaprosenttia. Suurin osa kokonaisrikkimäärästä on rikkivetyä. Tämän perusteella rikkiä pitää puhdistaa laivakaasusta, mutta varsinaista biokaasun jalostusta ei tarvita. Jos biokaasussa on maksimäärä rikkiä (0,7 %-m), rikistä pitää poistaa 86 % jotta sääntöjen määräämä raja-arvo saavutetaan. Aktiivihiilisuodattimilla voidaan poistaa 90-95 % rikkivedystä mutta suodattimien teho laskee käytön aikana. Tämän jälkeen suodattimet pitää regeneroida tai vaihtaa.

Mahdollinen rikkipäästöongelma ratkeaa myös sekoittamalla biokaasua ja moottoripolttoaineena käytettävää jalostettua LNG-kaasua suhteessa (1:9) ennen käyttöä.

3.2 BIOKAASUN POLTINKATTILAKÄYTTÖ

Laivan poltinkattilat tuottavat joko höyryä tai kuumaöljyä. Kuumaöljyä käytetään periaatteessa kuten asuinrakennusten lämmitysjärjestelmien kiertovettä. Poltinkattilat ovat käytössä silloin, kun laivan moottorien pakokaasukattiloista ei saada riittävästi lämpöenergiaa talteen. Laivoissa kattiloiden pääkäyttö on asuin- ja teknisten tilojen, sekä teknisten järjestelmien lämmitys. Höyryn ja kuumaöljyn lämpötila on korkea, mikä lisää niiden monikäyttöisyyttä. Laivoissa syntyy myös runsaasti vesijärjestelmiin sitoutunutta matalan lämpötilan hukkalämpöä, jota voidaan käyttää esimerkiksi biokaasureaktorin lämmitykseen ja sen syöteaineiden esilämmitykseen.

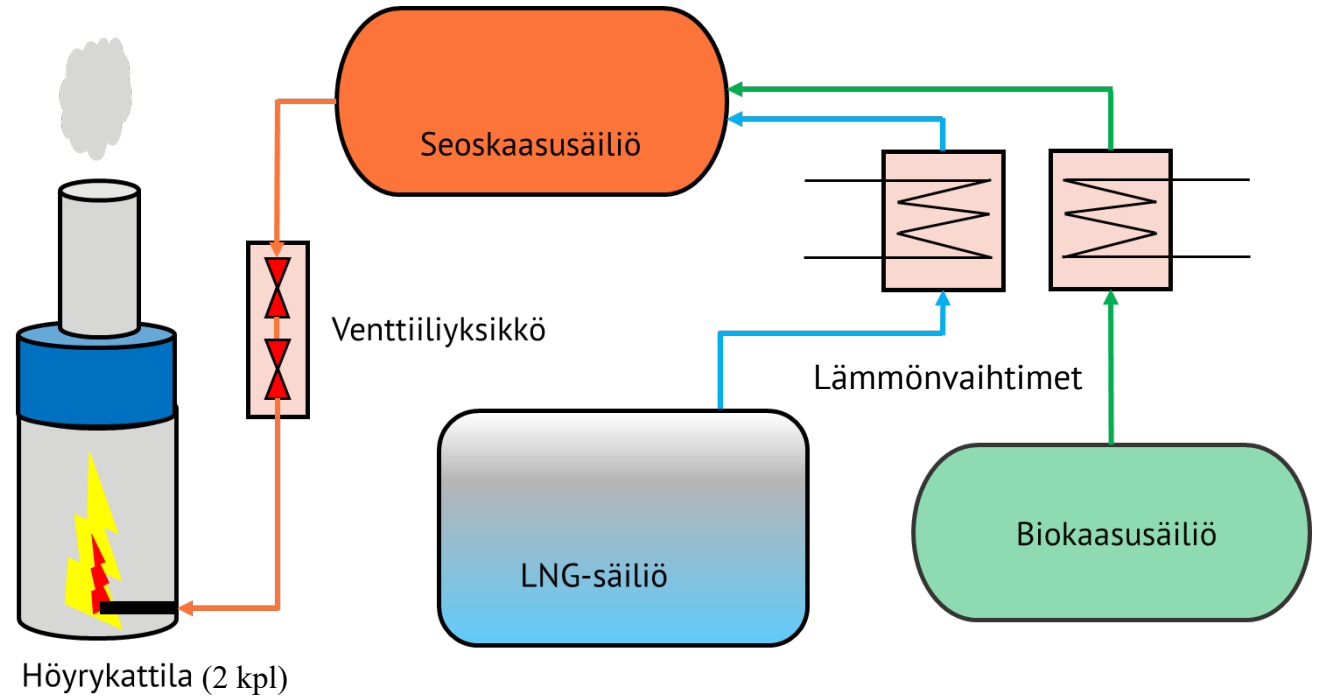
Anaerobisessa prosessissa pyritään sitomaan energiaa metaaniin, jolloin prosessin lämpötilaksi halutaan 35-43 °C (Kymäläinen 2015). Laivadieselmoottorin matalan lämpötilan jäähdytysvesipiirin lämpötila on tyypillisesti 50-60 °C, joten se sopii hyvin lämmönvaihtimen välityksellä tähän tarkoitukseen. Kuumassa ilmastossa laivan konetilojen sisälämpötila voi olla ilman lämmitystäkin optimaalinen, koska konetiloissa ei ole jäähdyttävää ilmastointia.



3.2 BIOKAASUN SYÖTTÖ HÖYRYKATTILAAN

Viereisessä yksinkertaistetussa kuvassa on esitetty biokaasujärjestelmän toimintaperiaate:

1. Puhdistettu biokaasu varastoidaan kaasumaisessa muodossa biokaasusäiliöön
2. Laivan pääpolttoaine, nestemäinen maakaasu (LNG), on kylmää ja se varastoidaan omassa lämpöeristetyssä säiliössään. Kaasua höyrystyy säiliön yläosaan säiliön lämpöhäviöiden tai sinne tuotavan lämmön vaikutuksesta
3. Lämmönvaihtimilla on mahdollista säätää molempien kaasujen lämpötilaa ja myös tarvittaessa höyrystää nestemäistä maakaasua höyryksi
4. Seoskaasusäiliöön johdetaan molempia kaasutyyppejä halutussa seossuhteessa. Seoskaasusäiliö toimii puskurisäiliönä silloin, kun biokaasun tuotannossa tai kaasun kulutuksessa on vaihtelua
5. Venttiiliyksikön kautta seoskaasu johdetaan höyrykattilan polttimelle. Kattilapoltossa biokaasun hyötysuhde on tyypillisesti 75-85 % (Allardyce ym. 2025).



3.3 BIOKAASULAITTEISTOJEN TILANTARVE

Laivoissa halutaan maksimoida tuottava tila. Matkustajalaivoissa vähäarvoisin tila on alhaalla, mieluiten vesiviivan alapuolella ja tämä on luontaisin sijoituspaikka biokaasulaitokselle. Koska biokaasuun liittyy hajuhaitta- ja tulipaloriski, kaasuvaaralliset tilat pitää osastoida kaasutiiviisti ja suojata kaksoisseinämillä (kuivatankeilla) erilleen laivan muista tiloista. Biokaasulaitos voidaan jaotella seuraavasti:

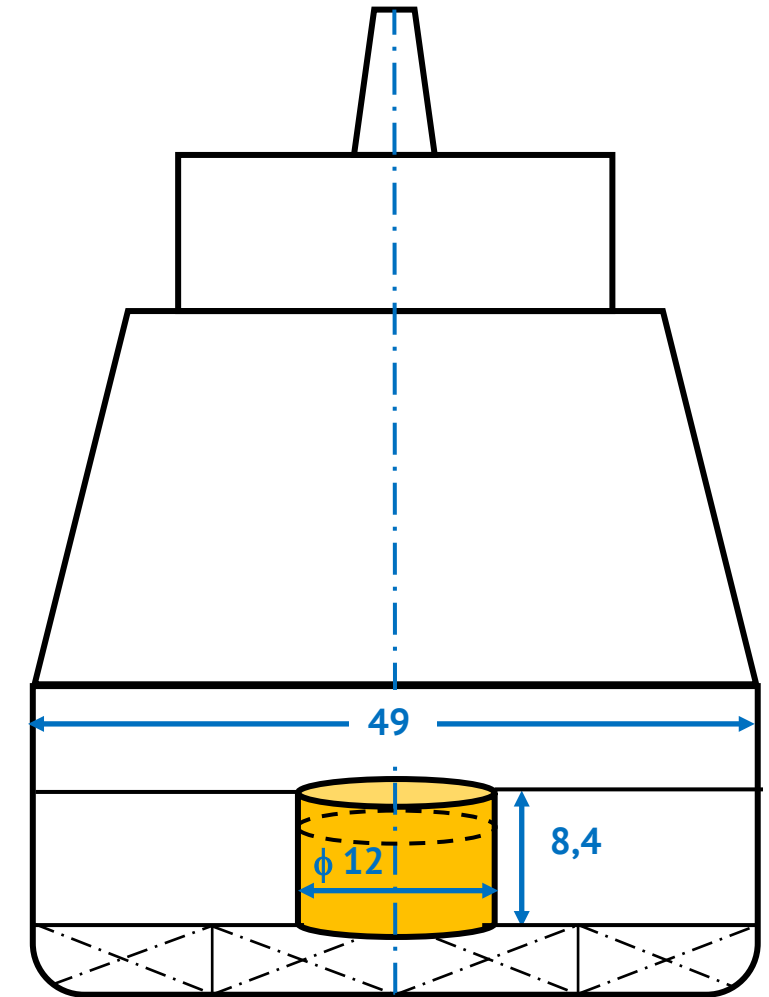
- Prosessitilat: biokaasun tuotanto, kaasun puhdistus ja varastointi, kaasun syöttö kuluttajille sekä käsittelyjäännöksen poisto
- Apujärjestelmät: biojätteen syöttö reaktoriin ja, tuuletus, automaatio, palonsammutus, turvallisuusjärjestelmät, ym.
- Säiliöt: orgaanisen jätteen säiliö, biokaasureaktori, biokaasusäiliöt, seoskaasusäiliö ja biojättesäiliö



3.3 PROSESSITILAT - BIOKAASUREAKTORI

Biokaasureaktorin koko (nettotilavuus) määräytyy syöteaineiden virtaaman ja kaasun muodostumiseen tarvittavan viipymääjan perusteella. Viipymäaika voidaan laskea jakamalla säiliötilavuus jaettuna sisääntulovirtaamalla. Aiemmin esitettyjen biokaasureaktorin mitoituslaskelmien perusteella aluksessa tarvitaan noin 630 kuutiometrin reaktiutilavuus. Tähän tilavuuteen tulee lisätä reaktorin yläosan kaasutilavuus, jonka on laskettu olevan 30 % kokonaistilavuudesta eli 270 m³. Tällöin biokaasureaktorin kokonaistilavuudeksi saadaan 900 m³.

Maan päällä olevat biokaasureaktorit ovat yleensä lieriömäisiä. Matkustajalaivan kansiväli on noin 2,8 metriä, jolloin kolmen kansivälin korkuisen (8,4 m) reaktorin halkaisija olisi 11,7 metriä. Esimerkiksi Icon of the Seas -aluksen leveys on noin 49 metriä, joten biokaasureaktori olisi mahdollista sijoittaa aluksen sisäosiin.



3.3 PROSESSITILAT – BIOMASSAN SEKOITUS



Biomassaa sekoitetaan reaktorissa, jotta biomassa muodostaa tasaisen seoksen. Tällöin kaasua muodostavien mikrobien ravinnon saanti tehostuu ja vaahdon sekä tukkeutumien muodostuminen vähenee. Laivan liikkeet voivat osaltaan tehostaa biomassan sekoittumista, tosin suurien matkustajalaivojen keinunta on yleensä vähäistä.

Alusten säiliöiden sisällä on yleensä loiskelaipioita tai muita jäykisterakenteita vaimentamassa nesteen liikkeen aiheuttamia rasituksia säiliörakenteisiin. Maihin rakennetuissa bioreaktoreissa ei ole loiskintavaaraa. Maa-asennuksissa biomassan sekoitin sijoitetaan säiliön sisäpuolelle ja myös käyttömoottori voi olla säiliössä (*Agrikomp 2015a*). Biomassaa voidaan sekoittaa myös pumppaamalla sitä säilön sisällä paikasta toiseen. Laivareaktoriin pitää suunnitella huolellisesti toimiva yhdistelmä sekoittumista ja biomassan liikkeen aiheuttamien voimien hallintaa.

TECHNICAL DATA

Drive	Spur gear motor
Drive power	15 kW
Agitator blade rotations	340 rpm
Electrical connection	400/690 V/50 Hz
Blade diameter	810 mm
Total length (incl. console + wings)	approx. 1,380 mm
Width	810 mm
Height	810 mm
Total weight (incl. console)	300 kg

https://agrikomp.com/wp-content/uploads/Components_AK_INTL.pdf#page=4



3.3 PROSESSITILAT – BIOKAASUN PUHDISTUS

TURKU AMK

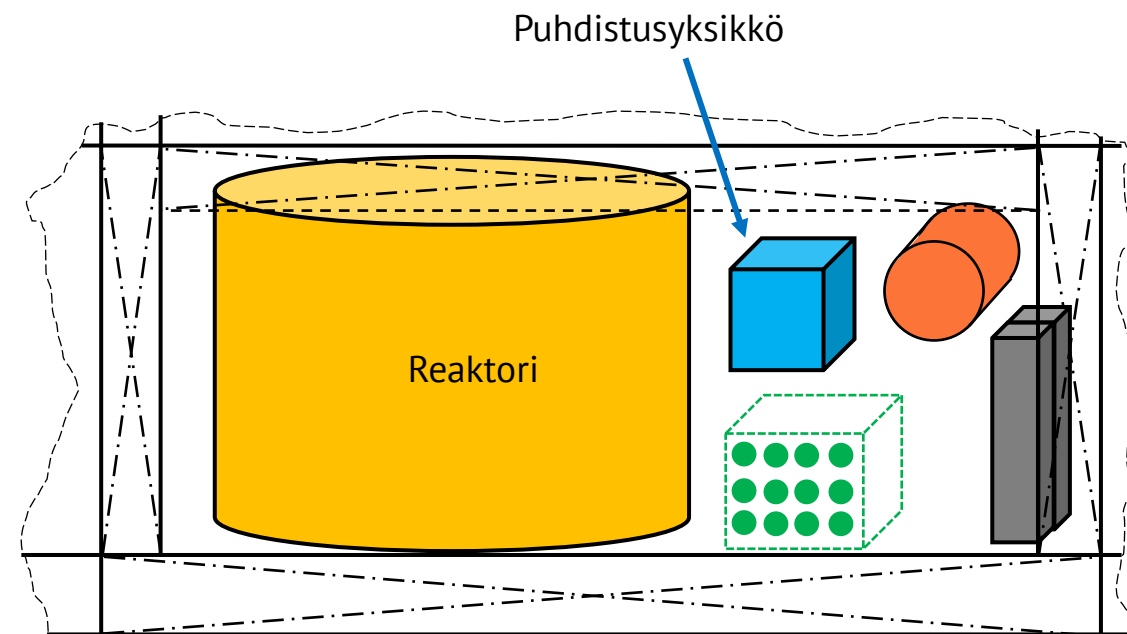


Biokaasun puhdistuslaitteiston (Agrikomp, 2015b) koko on arvioitu

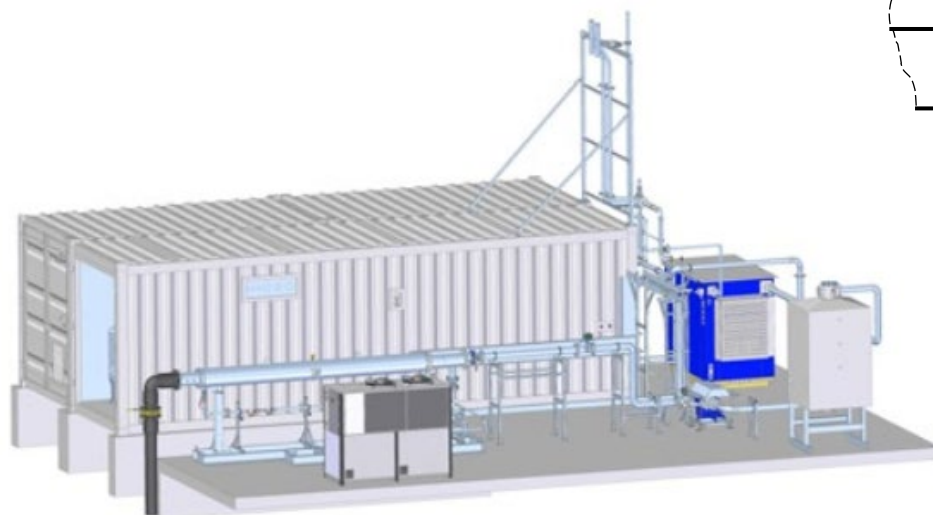
AgriPure® laitteiston perusteella. Tällöin on huomioitu että:

- Kaasua ei jalosteta, ainoastaan puhdistetaan
- Laivassa kaasun tuotto on 42% referenssilaitteiston maksimituotosta

Näillä oletuksilla biokaasun puhdistusmoduuli vastaa 20 jalan konttia, jonka mitat ovat (pituus, leveys, korkeus): 12.192m, 2.44m, 2.59m



MODEL CUBE		135
Biogas	Nm³/h	135
Biomethane	Nm³/h	73
Compressor	kW	55
Active carbon filter	m²	1 x 1

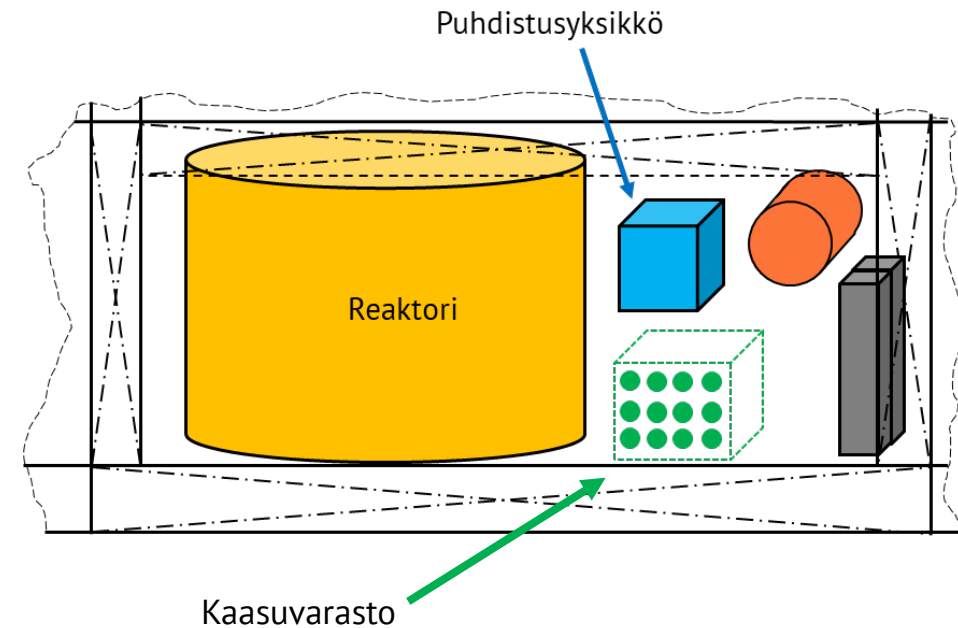


3.4 SÄILIÖT - BIOKAASUVARASTO

Biokaasusäiliöiden tilavuus määräytyy halutun toiminta-ajan, säiliön paineen ja kaasun tuotannon perusteella. Raakakaasun tuotantokapasiteetti on $57,2 \text{ Nm}^3$ tunnissa ja vesihöyryn osuus kaasusta on noin 5 til-% lämpötilassa 35°C . Optimaalinen kaasussa oleva vesimäärä on riittävän alhainen silloin, kun kastepistettä ei saavuteta siinä paineessa ja lämpötilassa, jossa kaasua säilytetään ja käytetään. Näin pyritään välttämään veden muodostuminen putkistoon ja kaasusäiliöön.

Tässä laskelmassa kaasusäiliöiden mitoitus tehdään käyttäen raakakaasun nimellistä tuottoa ja olettamalla kaasu fysikaalisesti ideaalikaasuksi. Jos säiliöiden käyttöpaineeksi valitaan 20 MPa (200 bar) ja varastointikapasiteetiksi yksi vuorokausi, päädytään $6,9 \text{ m}^3$:n vetoiseen kaasuvarastoon. Jos säiliön kapasiteetti ei riitä, ylituotanto pitää polttaa tai varastokapasiteettia on kasvatettava. Biokaasun päästämistä ulkoilmaan tulee välttää.

Korkeapaineisissa säiliöissä on usein pieni halkaisija, jolloin vältytään kohtuuttoman järeistä yksikköpainoista. Kuvassa näkyy vihreällä värillä kuvattuna 12 poikittain asennettua säiliötä, joilla tämä kapasiteetti saavutetaan. Kunkin säiliön halkaisija 0,4 m ja pituus 4,6 metriä.

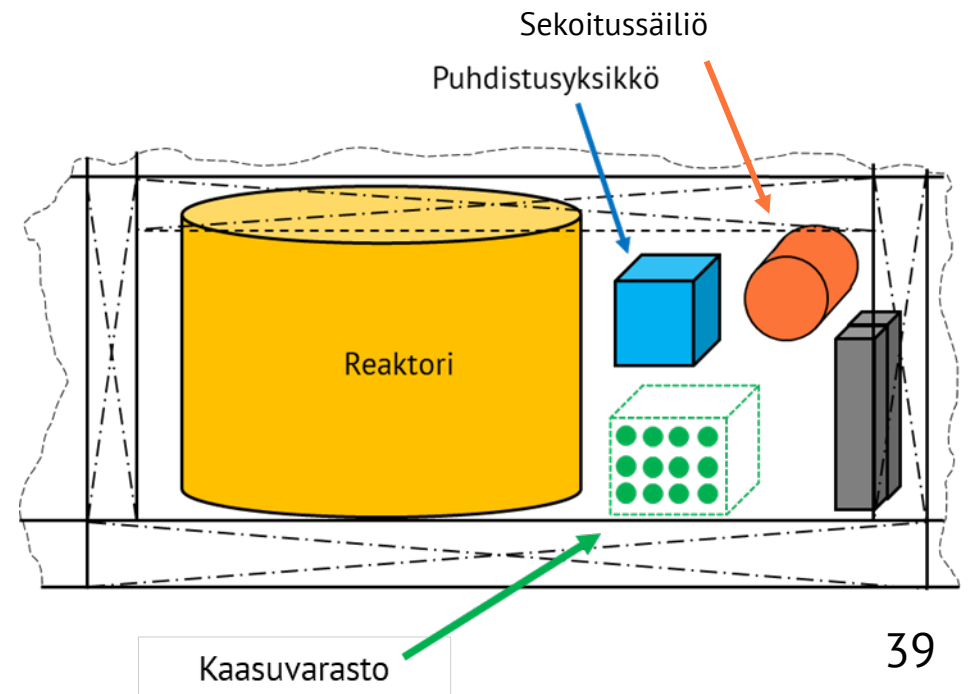


3.4 KAASUSÄILIÖT - SEKOITUSSÄILIÖ

Sekoitussäiliö tekee mahdolliseksi poltinkattilan käytön päämoottorien nesteytetyllä maakaasulla silloin, kun biokaasureaktori ei ole käytössä. Jos biokaasun tuotto ei riitä, poltinkattilaa voidaan käyttää halutulla maakaasun ja biokaasun sekoitussuhteella.

Sekoitussäiliön kapasiteetiksi valitaan 20 m^3 ja mitoituspaineeaksi 0,8 MPa (8 bar) perustuen LNG-säiliön paineeseen. Viereisessä kuvassa näkyy vastaavankokoinen säiliö oranssilla värillä merkittynä. Säiliön halkaisija on noin kaksi metriä ja pituus seitsemän metriä.

Merenkäynnissä vajaatäyttöisessä nestesäiliössä voi tapahtua loiskuntaa, joka aiheuttaa säiliöön ylimääräistä kuormitusta. Kaasusäiliössä ei vastaavaa liikettä tapahdu ja kaasusäiliön asento voidaan valita vapaasti.

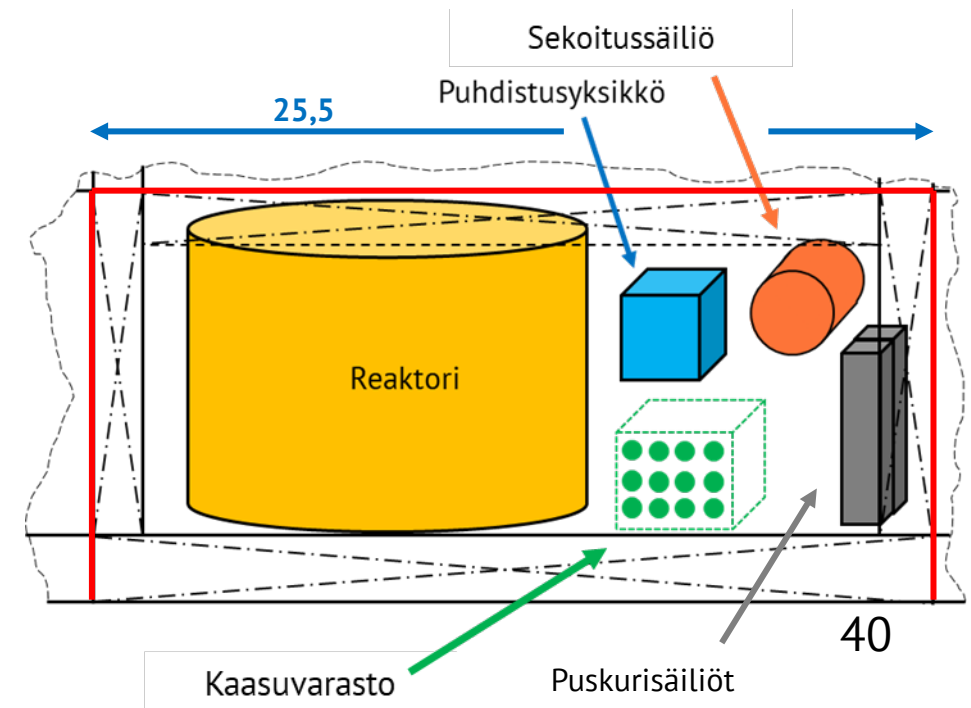
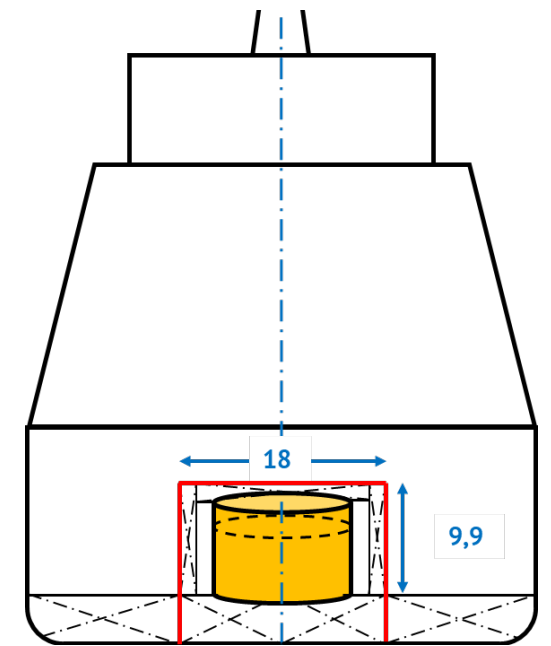


3.4 SÄILIÖT – BIOJÄTTEEN PUSKURISÄILIÖ

Bioreaktoriin syötetään raaka-ainejätettä enimmillään 18 kuutiometriä vuorokaudessa. Kuormituksen tasaamiseksi laivaan asennetaan kaksi kahdenkymmenen kuutiometrin vetoista säiliötä. Säiliöitä on kaksi, jotta toista säiliötä voidaan huoltaa ilman kaasuntuotannon keskeytystä.

Paineettomat säiliöt toteutetaan osana laivan runkorakennetta (runkosäiliöinä), jolloin niiden korkeus on kahden kansivälin suuruinen (5,6 m), leveys kolme metriä ja pituus 1,2 metriä. Kummankin säiliön tilavuus on noin 20 kuutiometriä ja ne näkyvät kuvassa harmaana värisinä.

Loppupäätelmänä voidaan todeta, että biokaasujärjestelmä on mahdollista rakentaa suureen risteilyalukseen, jos tilaa halutaan kyseiseen käyttöön varata. Tässä tarkastelussa ei arvioitu tuuletusjärjestelmien (poistoilma) vaatimaa tilaa laivan sisätiloissa ja konekuilussa. Turvallisuuden ja mahdollisten hajuhaittojen vuoksi biokaasujärjestelmä säiliöineen tulee rakentaa laivassa omaan kaasutiiviiseen osastoon. Osaston rajaukset on merkitty viereiseen kuvaan punaisilla viivoilla.



3.5 PAINOTARKASTELU

Biokaasulaitoksen painotarkastelu on esitetty seuraavalla sivulla. Jos laivan runkoon ei tehdä muutoksia ja paino lisääntyy alkuperäiseen rakenteeseen verrattuna, alus ui syvemmillä ja painopiste siirtyy biokaasulaitoksen asennuksessa todennäköisesti alaspäin. Alhaalla sijaitseva painopiste parantaa aluksen vakavuutta. Biokaasureaktorin vapaa nestepinta on melko laaja, mikä puolestaan heikentää aluksen vakavuutta.

Biokaasulaitoksen toimintapaino – jolloin järjestelmässä on huomattava määrä nestettä – on korkea, 944 tonnia. Tästä massasta on biokaasureaktorin prosessissa olevaa nestettä 626 tonnia.

Biokaasulaitoksen painoa voidaan verrata laivan käytönaikaiseen kokonaisuppoumaan, joka oletetaan 95 000 tonnin suuruiseksi. Kun biokaasulaitos on käynnissä, se lisää ***kokonaisuppoumaa 0,93 prosenttia.***

https://wehco.media.clients.ellingtoncms.com/timesfreepress/img/photos/2016/01/29/cd3fa69e04e144a99dc800b05b0b43d6_t1200.jpg?



3.5 PAINOTARKASTELU

Biokaasulaitoksen painoarvio			19.5.2025			944 tonnia										
Runkorakenteet ja säiliöt								Apujärjestelmät								
No	Nimitys	Kpl	Yksikkö	Määrä	Yksikköpaino (kg/yks)	Paino (t)	Huom.	No	Nimitys	Kpl	Yksikkö	Määrä	Yksikköpaino (kg/yks)	Paino (t)	Huom.	
1	Kaasureaktori lieriö	1	m²	317	96	30,4		1	Tuuletuskanavisto	1	m	200	10	2,0	imu ja poisto	
2	Poikittaislaipio	2	m²	356	96	68,4		2	Ilmaputket	1	m	400	10	4,0		
3	Pitkittäislaipio	2	m²	252	88	44,4		3	Puhaltimet	4	kpl		100	0,4		
4	Katto	1	m³	405	120	48,6		4	Palonsammutusjärj.	2	kpl		500	1,0	liitetty laivan järj.	
5	Puskurisäiliö	2	m²	15	72	2,2		5	Sähkötaulut, käynnistimet	1	kpl		400	0,4		
6	Paloeristys+vuoraus	1	m²	968	2,00	1,9		6	Kaapelointi, valaisimet	1	kpl		300	0,3		
7	Biokaasusäiliöt	12	kpl	1	523	6,3		7	Irtain varustelu	1	kpl		200	0,2		
8	Sekoitusäiliö	1	kpl	1	5 800	5,8		Yht.						8,3		
9	Biojätessäiliö (käsittelyjäännös)	1	kpl		Laivan kaksoispohja											
Yht.						208,0										
Koneistot ja putkistot								Nesteet								
No	Nimitys	Kpl	Yksikkö	Määrä	Yksikköpaino (kg/yks)	Paino (t)	Huom.	No	Nimitys	Kpl	Yksikkö	Määrä	Yksikköpaino (kg/yks)	Paino (t)	Huom.	
1	Jätteen syöttöputkisto	2	m	80	50	8,0		1	Orgaaninen jäte	1	m³	20	1000	20,0	toinen säiliö käytössä	
2	Jätteen syöttöpumput	4	kpl		100	0,4		2	Kaasurektori	1	m³	626	1000	626,0		
3	Kaasun puhdistusmoduli	1	kpl		3 000	3,0		3	Käsittelyjäännös	7	vrk	18	1 000	63,0	säilytetään laivassa	
4	Biomassan sekoitin	2	kpl		1 000	2,0		Yht.						709,0		
5	Kaasuputkisto	1	kpl		3 000	3,0										
6	Käsittelyjäännöksen putkisto	1	kpl	1	2 500	2,5			Käsittelyjäännöksen painosta puolet on merivedestä tehtyä makeaa vettä, joka lisää laivan painoa (oletus)							
Yht.						18,9										

3.6 BIOKAASULAITOKSEN VAIKUTUS LAIVAN PROPULSIOTEHON TARPEESEEN

Laivan liikkumiseen tarvitaan moottoritehoa ja tehontarve on muiden tekijöiden lisäksi sidoksissa myös laivan uppoumaan eli painoon. Biokaasulaitoksen aiheuttamaa lisätehontarvetta voidaan arvioida niin sanotun ”Amiraaliteettiyhtälön” avulla:

$$C = \frac{D^{\frac{2}{3}} V^3}{P}$$

missä C on vakio, D laivan uppouma, V nopeus ja P moottoriteho. Jos nopeuden ei haluta muuttuvan, biokaasulaitoksen painon vaikutus kasvattaa energiankulutusta seuraavasti:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{2/3}$$

Alaindeksi yksi viittaa alkuperäiseen alukseen ja alaindeksi kaksi biokaasulaitoksella varustettuun alukseen. Referenssialuksen uppoumaksi oletetaan 95 000 tonnia, jolloin biokaasulaitoksen paino lisää uppoumaa 0,93 % ja **tehontarvetta 0,61 %**. Tällöin biojätessäiliö (käsittelyjäännös) on tyhjänä satamasta lähdettäessä. Säiliön täyttyminen lisää uppoumaa 9 tonnia vuorokaudessa.

3.6 BIOKAASULAITOKSEN ENERGIATASE

TURKU AMK



Biokaasulaitos tuottaa energiaa (kaasua) mutta samanaikaisesti se myös kuluttaa energiaa ja tuottaa lämpöä. Energiaa tarvitaan kahdessa muodossa; biokaasureaktorin lämmitysenergiana ja sähkövirtana, jolla pidetään kaasuntuotanto käynnissä. Myös kaasuntuotannon apujärjestelmien energiantarve on syytä ottaa huomioon - kuten pumppausenergia, tuuletus ja valaistus.

Tässä tarkastelussa oletetaan, että itse prosessista ja tarvittaessa laivan koneistojen jäähdytysveden hukkalämmöstä saadaan riittävästi energiaa prosessin pitämiseen 35-43 °C:n lämpötilassa. Biokaasureaktori sijaitsee laivan rungon sisällä ja siellä ilman lämpötila ei talvellaakaan tyypillisesti laske alle 20 °C:n. Samoin voidaan todeta reaktoriin syötettävistä jäteaineista; ne eivät ole kylmiä.

3.6 BIOKAASULAITOKSEN ENERGIAASE TURKU AMK



Viereisessä taulukossa on arvioitu laivassa olevan biokaasulaitoksen sähköntarvetta, joksi muodostuu 63 kW. Merkittävimmät kuluttajat ovat tuuletus, kaasun puhdistus (sisältäen paineistuksen) ja biomassan sekoitus reaktorissa. Tuuletuksen osuus on korkea, koska hajuhaittojen ehkäisy matkustajalaivassa on äärimmäisen tärkeää.

Aiemmin todettiin tuotetun kaasun energiatehoksi 340 kW. Jos tämä kaasumäärä poltetaan höyrykattilassa 80 %:n hyötysuhteella (*Strathclyde 2025*), saadaan biokaasun tuottamaksi lämpötehoksi 270 kW. Näin laskien laitos *tuottaa energiaa 207 kW*.

<i>Biokaasulaitoksen energiankulutus</i>				23.1.2025	63 kW
<i>Apujärjestelmät</i>					
No	Nimitys	Kpl	Kulutus (kW)	Yhteensä (kW)	Huom.
1	Tuuletus, puhaltimet	4	10,0	20,0	Kaksi käytössä
2	Palonsammutusjärj.	2	0,0	0,0	Ei kulutusta
3	Sähkötaulut, automaatio	1	1,0	1,0	
4	Valaistus	1	1,0	1,0	
Yht.				22	
<i>Prosessi</i>					
No	Nimitys	Kpl	Kulutus (kW)	Yhteensä (kW)	Huom.
1	Orgaanisen jätteen syöttöpumput	2	1,0	1,0	Toinen varalla
2	Lietteen syöttöpumput	2	1,0	1,0	Toinen varalla
3	Käsittelyjäännöksen pumppaus	2	1,0	1,0	Toinen varalla
4	Kaasun puhdistusmoduli	1	25,0	25,0	
5	Biomassan sekoitin	1	13,0	13,0	
Yht.				41	

4.1 BIOKAASUTEKNOLOGIA JÄTEVESIEN KÄSITTELYSSÄ

Biokaasulaitoksessa käytetään yhtenä syöteaineena käymäläjätevesiä. Itämerellä matkustaja-alukset eivät kuitenkaan saa laskea käymäläjätevesiä ulos aluksesta ja tämän vuoksi biokaasulaitoksen vedenpuhdistuskyvyllä ei ole Itämerellä käytännön merkitystä. Itämeren ulkopuolisilla erityisalueilla matkustaja-aluksille on voimassa MEPC.227(64) mukaiset päästörajat, jotka näkyvät alla olevassa taulukossa (*Nellesen ym. 2019*). MEPC on lyhenne sanoista International Maritime Organisation Marine Environment Protection Committee.

Parametri	Yksikkö	Raja-arvo
BOD5: Biologinen hapen kulutus viidessä vuorokaudessa	mg/l	25 Q_i/Q_e
COD: Kemiallinen hapenkulutus	mg/l	125 Q_i/Q_e
TSS: Kiintoaineen kokonaismäärä	mg/l	35 Q_i/Q_e
Fecal coliforms: Ulosteperäiset bakteerit	cfu/100ml	100
Residual chlorine: Jäännöskloori	mg/l	0,5
pH: Happamuusarvo	-	6.0 – 8.5
N_{tot} : Kokonaistyyppi (Q_i : Sisäänvirtaama, Q_e : Ulosvirtaama)	mg/l	20 Q_i/Q_e tai 70%:n alenema
N_{tot} : Kokonaisfosfori (Q_i : Sisäänvirtaama, Q_e : Ulosvirtaama)	mg/l	1 Q_i/Q_e tai 80%:n alenema

4.1 BIOKAASUTEKNOLOGIA JÄTEVESIEN KÄSITTELYSSÄ

Anaerobisessa jätevesien käsittelyssä on hyötyjä ja haittoja perinteiseen aerobiseen prosessiin verrattuna. Hyödyiksi voidaan lukea: metaanin tuotto, ei ilmastustarvetta, vähäinen lietteen tuotto, korkea kuormitettavuus, vähäinen ravinteiden tarve, hyvä varastoitavuus ja mahdollisuus rikin talteenottoon. Anaerobisen käsittelyn haittoja ovat: heikko ravinteiden poistokyky, herkkyys prosessia hidastaville yhdisteille, hidas käynnistyminen ja tarve käsittelijätteen jatkokäsittelylle (*Kinnunen & Rintala 2015*).

Laivojen jätevedet käsitellään perinteisesti aerobisessa prosessissa.



https://www.google.com/search?q=sewage+water&sca_esv=58e4cc442e33908f&udm=2&tbs=isz:l,sur:cl&source=ln&sa=X&ved=2ahUKEwjL_rT65bGNAXW-EhAIHdN7MHEQpwV6BAgDECA&biw=1680&bih=937&dpr=1#vhid=xAvAOrxo0DFpaM&vssid=mosaic

4.2 BIOKAASUN TERVEYSHAITAT

Kaasujen aiheuttamat terveyshaitat ovat sidoksissa kaasupitoisuuksiin ja altistumisaikoihin. Raaka biokaasu:

- On yleensä ilmaa kevyempää, mutta runsastyypinen kaasu voi olla myös ilmaa raskaampaa
- On aggressiivista, kosteata, epäpuhdasta, ja siinä voi syntyä happoja
- Sisältää tyypillisesti 45-75 tilavuusprosenttia metaania (CH_4); se on kevyttä, syttyvää, palavaa ja voi aiheuttaa sisätiloissa hapenpuutetta, josta voi seurata tajuttomuus tai kuolema
- Sisältää alle 0,8 tilavuusprosenttia rikkivetyä (H_2S), joka on voimakkaasti haiseva soluhengitysmyrkky. Rikkivety ärsyttää limakalvoja, hengitysteitä ja silmiä sekä aiheuttaa silmissä polttavaa kipua, kyynelvuotoa, näön sumenemista, nenän ja kurkun kuivumista, vetistä vuotoa, yskää, käheyttä, hengenahdistusta, päänsärkyä, huimausta, pahoinvointia, heikkoutta ja sekavuutta. Jos rikkivetyä on runsaasti se aiheuttaa keuhkopöhön, vakavia hermostollisia oireita, tajuttomuutta, hengityksen lamaantumisen ja kuoleman. Rikkivedyn tiheys on lähellä ilman tiheyttä, joten se ei kerrostu eikä tuuletu itsestään.
- Biokaasu voi sisältää myös rikkidioksidia, joka aiheuttaa vastaavia oireita.

4.2 BIOKAASUN TERVEYSHAITAT

- Raakakaasussa oleva hiilidioksidi (CO_2), jonka pitoisuus on 20-55 tilavuusprosenttia, syrjäyttää happea. Hiilidioksidi kiihdyttää hengitystä, aiheuttaa päänsärkyä, heikentää henkistä suorituskkyä, aiheuttaa hengenahdistusta, pahoinvointia ja tajuttomuutta sekä suljetussa tuulettamattomassa tilassa hapenpuutteesta johtuvan tukehtumisen.
- Hiilimonoksidia (CO) eli häkää on kaasussa (0-0,2) tilavuusprosenttia. Häkä vähentää kudosten hapensaantia ja voi aiheuttaa aivojen vaurioitumisen, muutoksia sydämen ja hermoston toiminnassa, päänsärkyä, huimausta, hengästyneisyyttä, pahoinvointia ja lopulta kuoleman. Hiilimonoksidin tiheys on lähellä ilman tiheyttä, joten se ei kerrostu eikä tuuletu itsestään. Häkä ei myöskään haise, joten sitä on vaikeata huomata.
- Ammoniakkia (NH_3) on tyypillisesti (0-3) mg/Nm^3 . Ammoniakin oireita ovat: hengitysteiden ja silmien ärsyntyminen, kyynelvuoto, sarveiskalvon ärsytys, kurkunpään turvotus, keuhkopöhö ja kuolema. Ammoniakki ei kerry elimistöön.
- Jätevesien mikrobit voivat aiheuttaa tauteja
- Homeet ja loiset voivat aiheuttaa hermostollisia oireita

(Kaasuyhdistys & Tukes 2025)

4.3 TURVALLISUUSJÄRJESTELMÄT JA - SUUNNITELMAT

- Kaasun ilmaisimien (kannettavien tai kiinteiden) käyttö on tärkeää; useimmiten mitataan ilmassa olevaa rikkivetyä, happea, ammoniakkia ja metaania
- Kiinteät ilmaisimet on liitettään hälytysjärjestelmään, ne ohjaavat lisäksi valo- ja äänihälytyksiä sekä ilmanvaihtoa. Tarvittaessa prosessi pysäytetään.
- Metaanin alempi syttymisraja (pienin pitoisuus) on 20% ja se edellyttää ilmanvaihdon tehostamista. Jos pitoisuus ylittää 40%, prosessi pysäytetään.
- Turvallisuuteen liittyviä dokumentteja ovat: testaus- ja käyttöönottosuunnitelma, biokaasulaitoksen turvallisuus- ja toimintaohjeet, käyttö-, kunnossapito- ja huolto-ohjeet, pelastussuunnitelma ja toimintaohje, suojainohjeistus, vaaran- ja seurausvaikutusten arviointi, valvontakirja ja muut tarvittavat dokumentit.
- Biokaasulaitoksen turvallisuussuunnitelmat tulee integroida osaksi kokonaisturvallisuuden hallintaa.

(Kaasuyhdistys & Tukes 2025)

4.3 KAASUJÄRJESTELMÄN SIJAINTI LAIVASSA

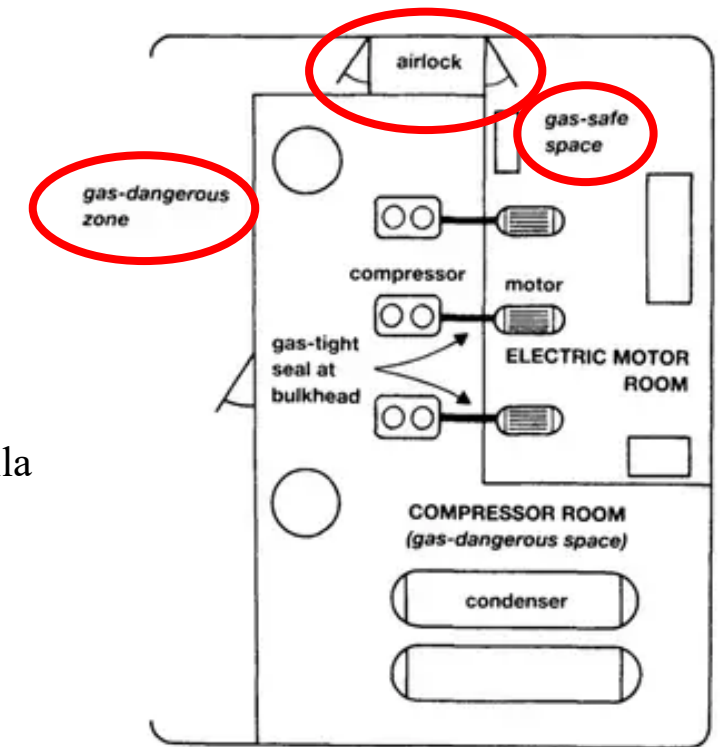
- Kaasusäiliöiden tulee sijoittua laivaan niin, että:
 - Vaurioriski on minimaalinen karilleajo- ja yhteentörmäystilanteissa
 - Järjestelmistä vuotava kaasu kulkeutuu turvalliseen paikkaan ulkoilmassa
 - Polttoainetilojen aukoista ja kulkuteistä ei saa päästä kaasua kaasuvapaisiin tiloihin
 - Kaasuputket ja säiliöt tulee suojata mekaanisilta vaurioilta
 - Kaasuräjähdyksen todennäköisyys pitää minimoida
- Oletettavasti biokaasureaktori luetaan kaasusäiliöksi, jonka tulee sijaita vähintään:
 - (laivan leveys)/5 etäisyydellä laivan laidasta (etäisyys 9,8 metriä referenssialuksessa)
 - (laivan leveys)/15 tai vähintään 2 metriä etäisyydellä laivan pohjasta (etäisyys 3,3 metriä referenssialuksessa)
 - laivassa tulee olla kaksoispohja ja myös pitkittäislaipiot

(IGF Code 2015)



4.3 KAASUJÄRJESTELMÄN SIJAINTI

- Kaasuputkistot eivät saa sijaita 800 mm lähempänä laivan laitaa ja ne eivät saa kulkea esim. asuintiloissa
- Biokaasureaktori apulaitteineen ja putkistoineen rinnastetaan säiliöliitostilaan ja sijoitetaan omaan kaasutiiviiseen osastoonsa
- Biokaasureaktoritilan vedentyhjennysjärjestelmä erotetaan ns. ”normaalista” pilssivesijärjestelmästä
- Kulku turvallisesta tilasta bioreaktoritilaan tapahtuu ilmalukkojen kautta, ilmalukoissa tulee olla kaksi kaasutiivistä ovea ja niiden välitila. Ilmalukon rakenne on esitetty viereisessä kuvassa.
- Välitilassa tulee olla suurempi paine kuin bioreaktoritilassa ja ilmalukon läpi ei saa päästä kaasua turvalliseen tilaan
- Kaasusäiliöiden paine on voitava poistaa tulipalon uhatessa (räjähdysten välttämiseksi)



4.3 KAASUN VARASTOINTI

- Kaasua voidaan varastoida suljetussa tilassa jos:
 - Paineen poisto ja suojakaasutäyttö voidaan tehdä tulipalon uhatessa
 - Kaikki tilan pinnat on suojaeristetty korkeapaineisen kaasuvuodon aiheuttaman lämpötilan laskun varalle (vaihtoehtona kylmänkestävä materiaali)
 - Kiinteä palonsammutusjärjestelmä on asennettu kyseiseen tilaan
- Kaikissa varastosäiliöissä tulee olla varoventtiili
- Kaikissa tiloissa, joissa paine voi nousta yli suunnittelupaineen, tulee olla sovelias paineenpudotusjärjestelmä
- Paineenhallintajärjestelmä tulee erottaa varoventtiileistä
- Konetilojen ulkopuolisen kaasun jakelun tulee tapahtua tuuletetussa kaksoisputkessa
- Biokaasujärjestelmän tiloissa tulee olla suojakaasujärjestelmä eli suojaus hapettomalla kaasulla (esim. tyypellä) tai niin vähähappisella kaasulla, ettei syttymistä tapahdu. Maakaasun syttymisraja edellyttää 5-15 tilavuusprosentin metaanipitoisuutta 20° C ilmassa.

4.3 TURVALLISUUS, PUTKISTOT

- Jos biokaasuputkistoon kondensoituu raskaampia kaasujakeita, kondensoitunut neste on voitava poistaa järjestelmästä
- Turvallisen käytön ja huollon varmistamiseksi kaasuputkistot tulee merkitä värikoodein
- Tiivisteelliset putket tulee kytkeä toisiinsa sähköä johtavalla liitoksella
- Kaasuturvallisessa tilassa putkien tulee olla pääsääntöisesti kaksoisputkia, joiden välitilassa on ylipaineinen suojakaasu tai alipainetuuletus
- Putkistojen ja niiden komponenttien suunnittelun tavoitteet, toiminnalliset vaatimukset, suunnittelusäännöt ja materiaalivaatimukset on esitetty IGF-koodin luvussa 7

(IGF Code 7, 2015)



© Markus Rantala, [CC-BY-SA-3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/), [Wikimedia Commons](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Biogas_plant.jpg)

4.3 BIOKAASUN SYÖTTÖ KULUTTAJILLE

- Vuotojen vaikutukset tulee minimoida
- Mahdollisuus turvalliseen käyttöön ja huoltoon tulee järjestää
- Yhden suojarakenteen vuotaminen ei saa johtaa rajoittamattomaan vuotoon, joka aiheuttaa vaaraa ihmisille, ympäristölle tai laivalle
- Konetilojen ulkopuoliset putkistot suojattava ja estettävä ihmisten sekä laivan vahingoittuminen
- Kaasun syötön kuluttajalle tulee olla redundanttisen (esim. kahdennettu syöttö)
- Kaasun pääsyöttöventtiilejä tulee voida käyttää turvallisista paikoista kuten kaasuosaston poistumistieltä, konevalvomosta ja ohjaamosta

(IGF Code 9, 2015)

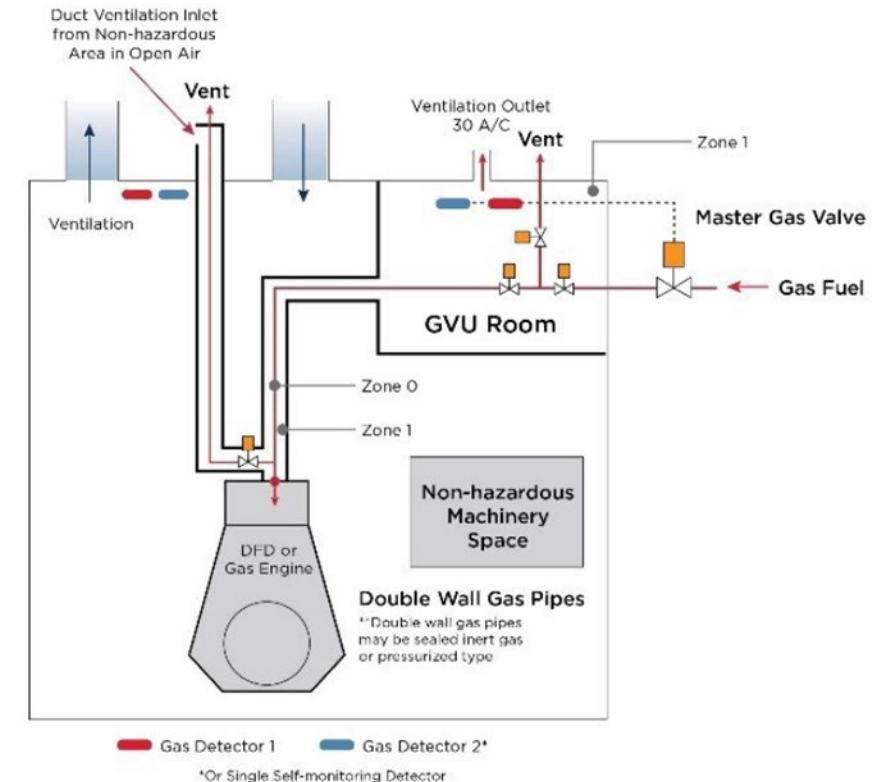


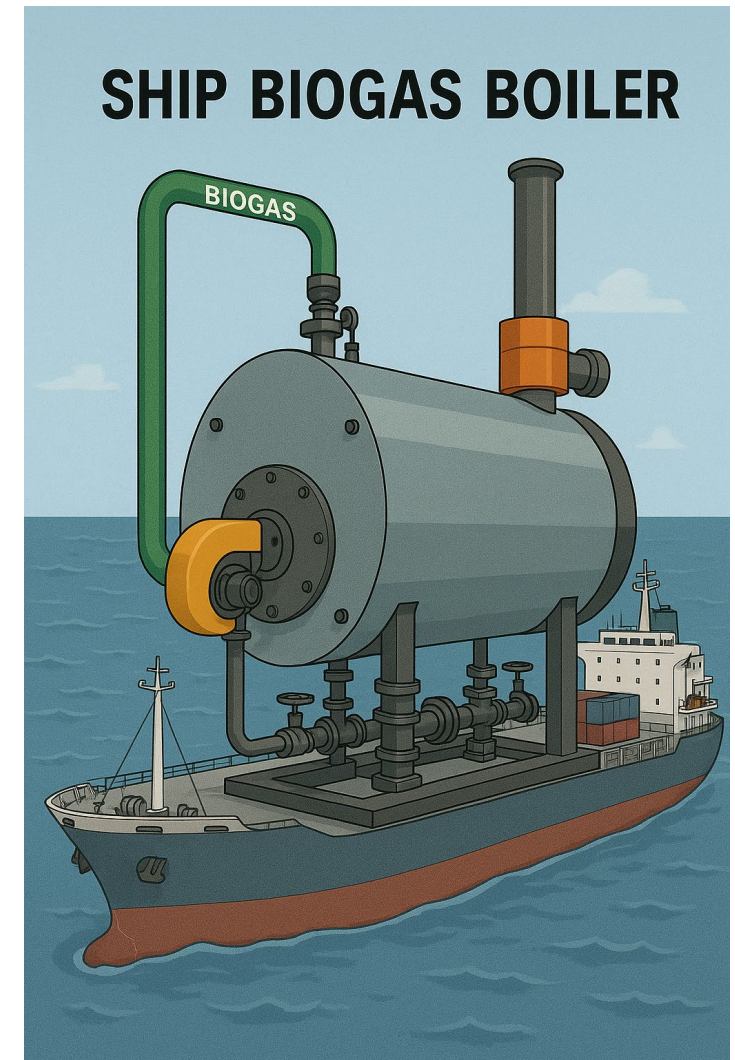
Figure 2: IGF Non-Hazardous Machinery Space Concept

(ABS, 2022)

4.3 TURVALLISUUS - KAASUKATTILAT

- Kattiloilla tulee olla oma pakoputkisto, tulipesään tai pakoputkistoon ei saa kerääntyä palamatonta biokaasua
- Kaasupolttimien tulee ylläpitää vakaa palaminen kaikissa olosuhteissa
- Kaasuliekin sytytyksen tulee tapahtua pääsääntöisesti öljyllä
- Jos kaasuliekin sytytys tai ylläpito ei onnistu, automaation tulee katkaista kaasun syöttö ja syöttöputkisto pitää täyttää suojakaasulla
- Ennen uudelleenkäynnistystä kattilan tulipesä pitää tuulettaa

(IGF Code 10, 2015)



4.3 PALOTURVALLISUUS JA RÄJÄHDYSTEN ESTÄMINEN

- Kaikki kaasutilat ovat paloluokituksestaan A-luokan tiloja
- Kaasuosasto tulee erottaa koneisto- ja korkean riskin tiloista kuivatankeilla ja eristyksellä
- Kaasuosastossa tulee olla vedenruiskutusjärjestelmä, veden määrä vaakasuorille pinnoille 10 l/min/m² ja pystysuorille 4 l/min/m²
- Räjähdyksen todennäköisyyttä voidaan vähentää pienentämällä sytytyslähteiden määrää ja rajoittamalla mahdollisuutta syttyvän seoksen muodostumiseen
- Sähköistys ei pidä asentaa vaarallisille alueille, ellei se ole välttämätöntä
- Vaaralliset alueet luokitellaan kategorioihin 0, 1 ja 2; joista kakkoskategoria on vaarattomin
- Tuuletuskanavat kuuluvat samaan kategoriaan tuuletettavan tilan kanssa



https://media.freemalaysiatoday.com/wp-content/uploads/2024/10/607b7ec0-afp_20090120_arp2091983_v4_highres_iraniraqtankerwar.webp

(IGF Code 11 & 12, 2015)

4.3 TURVALLISUUS - TUULETUS

- Vaarallisten ja vaarattomien tilojen tuuletus on pidettävä erillään toisistaan ja tuuletuksen on oltava aina päällä
- Vaarallisten tilojen tuulettimien moottorit eivät saa sijaita kanavissa, ellei niitä ole sertifioitu tuuletettavan tilan mukaisesti
- Puhallin ei saa synnyttää kipinöitä
- Korvausilma vaarallisille alueille tulee ottaa vaarattomalta alueelta ja poistoilma tulee saattaa avoimeen tilaan, joka on vähintään yhtä vaaratonta kuin tuuletettava tila.

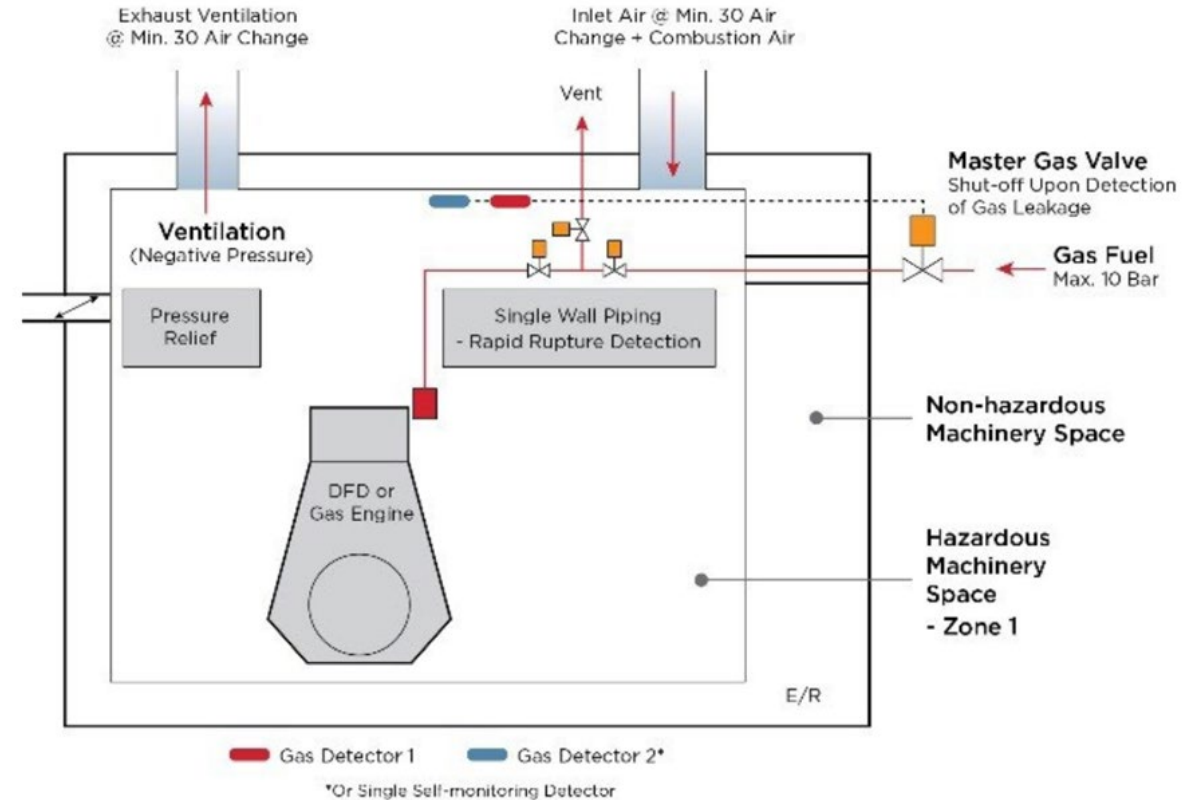


Figure 3: IGF ESD Machinery Space Concept

(ABS, 2022)

(IGF Code 13, 2015)

4.3 TURVALLISUUS - TUULETUS

- Vaarallisten suljettujen tilojen tuuletuksen poistoilma tulee johtaa korkeintaan yhtä vaaralliseen avoimeen tilaan.
- Vaarattomissa tiloissa tulee olla ylipaine vaarallisiin nähden ja tilojen kulkuteissä tulee olla ilmalukot
- Biokaasureaktoriosastossa poistoilmanvaihdon tulee tapahtua 30 kertaa tunnissa
- Ilmakanaviin tulee asentaa automaattiset sulkuventtiilit
- Poltinkattilatilassa tulee olla oma itsenäinen ilmanvaihto
- Konetiloissa tuuletuskapasiteetti ei saa tippua yli 50 %:a, vaikka yksi puhallin ei ole käytössä
- Kaksoisputkissa ilman tulee vaihtua 30 kertaa tunnissa ja miniminopeuden tulee olla 3 m/s

(IGF Code 13, 2015)

4.3 TURVALLISUUS - SÄHKÖASENNUKSET JA AUTOMAATIO

- Sähköasennusten tavoitteena on estää kipinäointi leimahdusvaarallisessa ympäristössä
- Sähköasennuksia ei tule tehdä vaarallisilla alueilla muutoin kuin toiminnan ja turvallisuuden kannalta pakottavissa tilanteissa
- Vaarallisen alueen valaistuksen tulee olla kahdennettu eli rakennettu kahtena erillisenä järjestelmänä
- Pumpuissa tulee olla kuivakäyntisuojaus ja siihen liittyvät hälytykset
- Konetiloissa automaation tulee sulkea kaasun syöttö vuototilanteissa ja pysäyttää kaikki ei-turvalliset sähkölaitteet
- Yhteisten vikojen välttämiseksi, turvatoiminnot tulee eriyttää muusta kaasujärjestelmän automaatiosta
- Turvajärjestelmä tulee toteuttaa siten, etteivät vialliset kaasuanturit tai kaapelit aiheuta virheellisiä järjestelmän pysäytyksiä
- Jos kaasujärjestelmässä on kaksi erillistä kaasun syöttöä, molemmissa tulee olla oma ohjaus- ja turvajärjestelmä

4.3 TURVALLISUUS - AUTOMAATIO

- Tarpeellisissa instrumenteissa tulee olla paikallis- ja etälukumahdollisuus
- Kiinteästi asennetut kaasuilmaisimet tulee asentaa biokaasureaktoritilaan, kaasuputkien ympärillä oleviin kanaviin ja poltinkattilatilaan (konehuone)
- Lisäksi kaasuilmaisimet asennetaan niihin suljettuihin tai puoliavoimiin tiloihin, joihin voi kertyä kaasua, sekä ilmalukoilla varustettuihin kulkutiloihin
- Äänihälytys ja hälytysvalo tulee aktivoida, jos kaasupitoisuus saavuttaa 20 % alemmasta räjähdysrajasta. Jos antureita on kaksi, raja on 40 %
- Jos tuuletus ei toimi, siitä pitää tulla hälytys jatkuvasti miehitettyyn paikkaan
- Jos automaatio katkaisee polttoaineen syötön, syy pitää selvittää ennen syötön avaamista. Sama koskee myös polttoainevuotoa
- Kompessoreille, pumpuille ja polttoaineen syötölle tulee olla hätäpysäytys valvomoissa ja ohjaamossa. Kaasukompressoreille on lisäksi oltava paikallinen hätäpysäytys.

4.4 LAIVATEKNINEN TURVALLISUUS

- Yleisesti ottaen laivatekninen turvallisuus käsittää useita osa-alueita, joista seuraavien Kansainvälisen Merenkulkujärjestön (IMO) säädösten voidaan katsoa liittyvän biokaasuun (*SOLAS - International Convention for the Safety of Life at Sea*):
 - Laivan rakenne - runko, osastointi, vakavuus sekä koneisto- ja sähköasennukset (*Chapter II-1 - Construction - Structure, subdivision and stability, machinery and electrical installations*)
 - Palosuojaus, tulipalon havaitseminen ja palonsammutus (*Chapter II-2 - Construction - Fire protection, fire detection and fire extinction*)
 - Hengenpelastuslaitteet ja järjestelyt (*Chapter III - Life-saving appliances and arrangements*)
- Koska nesteytetty maakaasu referenssialuksessa on jo käytössä, jalostetun biokaasun käytön ja valmistuksen ei oleteta aiheuttavan lisävaatimuksia hengenpelastukseen
- Jalostamattoman biokaasun aiheuttamia terveyshaittoja on käsitelty kohdassa 4.2.
- Rakenteellisia turvallisuusnäkökohtia käydään läpi seuraavilla sivuilla

4.4 LAIVATEKNINEN TURVALLISUUS – BIOKAASULAITOKSEN LISÄMASSA

- Biokaasulaitoksen massalla ja erityisesti järjestelmän nestemassalla on useita vaikutuksia, jotka täytyy ottaa huomioon:
 - Lisämassa kuormittaa laivan runkorakennetta erityisesti merenkäynnissä; säilöalusten rakentamisesta on runsaasti aiempaa kokemusta, joten mitoitusääntöjen ja lujuuslaskentamenetelmien avulla lisäpaino voidaan hallita
 - Bioreaktorissa muodostuu suuri vapaa nestepinta, joka loiskuessaan voi aiheuttaa resonanssi-ilmiön laivan keinuntataajuuden kanssa. Tästä ilmiöstä voi olla sekä hyötyä että haittaa. Biokaasun syöteaineet sekoittuvat merenkäynnissä tehokkaasti, mutta loiskunta aiheuttaa rakenteellista lisäkuormaa ja voi lisätä laivan keinunta-amplitudia.
 - Lisäpaino kasvattaa laivan kulkusyväyttä noin 70-80 mm ja voi hyvin vähäisesti vaikeuttaa aluksen pääsyä joihinkin satamiin
 - Massan korkeussuuntaisella sijainnilla on merkitystä; se joko nostaa tai laskee laivan painopisteen paikkaa. Korkea painopiste heikentää alkuvakavuutta ja toisaalta alhainen painopiste kasvattaa laivan kiihtyvyyksiä merenkäynnissä.
- Monella tapaa olisi hyödyllistä, jos *biokaasuprosessia voitaisiin nopeuttaa ja siten pienentää laitoksen kokoa ja painoa*

4.5 HAJUKAASUJEN HALLINTA

Maalla sijaitsevilla biokaasulaitoksissa hajukaasuja syntyy erityisesti raaka-aineiden vastaanotossa. Hajua syntyy esimerkiksi ammoniakista ja seuraavista voimakkaasti haisevista rikkiyhdisteistä (*Paavola 2015*):

- Rikkivety H_2S (*haisee kuin mätä kananmuna*)
- Metyylimerkaptaani $MeSH$ (*kaalilaatikko*)
- Dimetyylisulfidi DMS (*mädäntyvät kasvikset*)
- Dimetyylidisulfidi $DMDS$ (*mädäntyvä kala*)

Hajukaasujen hallinta risteilyaluksessa tarkoittaa sitä, että hajukaasuja ei saa päästä pois prosessista laivan muihin tiloihin. Eri raaka-aineista mustan jäteveden keräily on hallittua toimintaa matkustaja-aluksissa. Samoin ruokajätteen keräily ja puhdistamolietesäiliön operointi ovat rutiinitoimenpiteitä nykyaluksissa.

Hajukaasujen esiintyminen biokaasulaitoksessa ennakoi kaasuvuotoa ja tulipaloriskiä

4.5 HAJUKAASUJEN HALLINTA

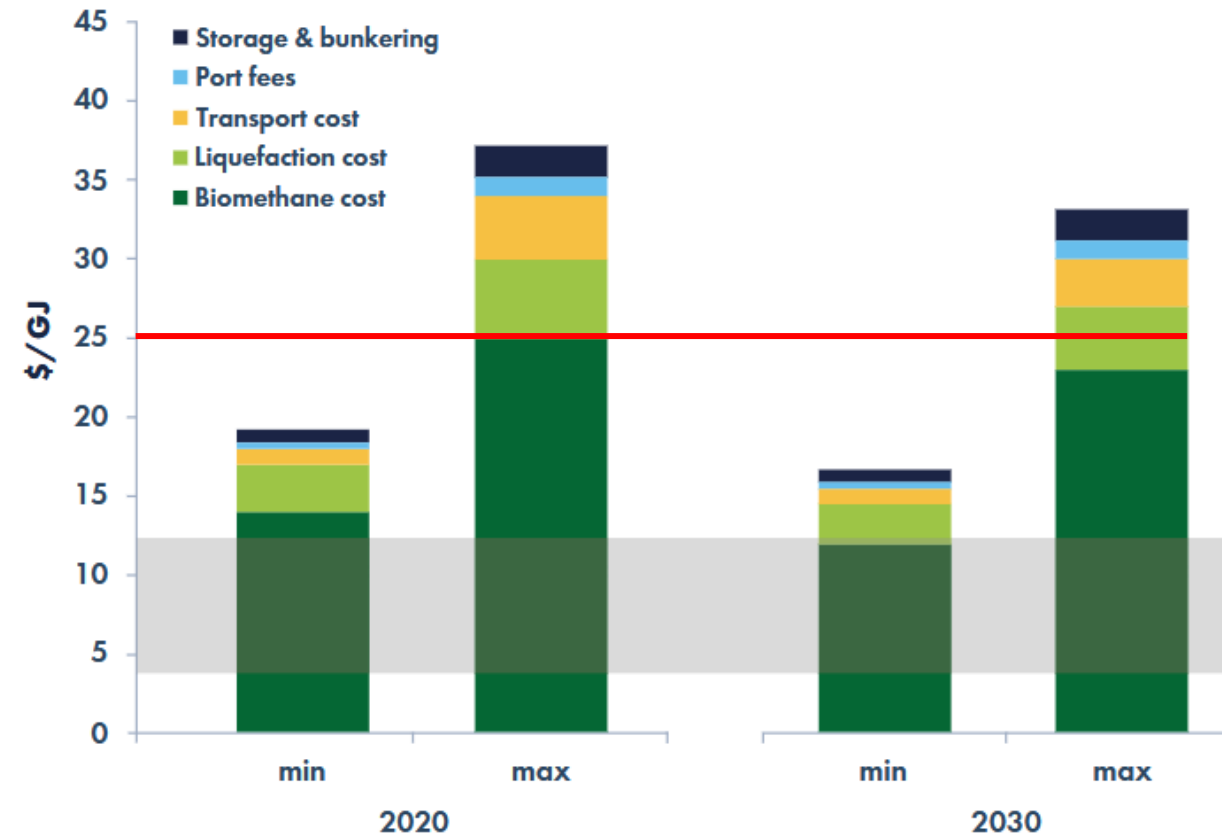
Yleisesti hajukaasujen leviämistä voidaan välttää siten, että biokaasuosastossa on laivan muihin tiloihin nähden alipaine ja poistoilma johdetaan omassa kanavassaan savupiippuun. Virtauksen nousua laivan yläpuolelle voidaan tehostaa ulospuhallusnopeutta lisäämällä. Poistoilman tulisi myös olla mahdollisimman lämmintä, jolloin sen tiheys pienenee ja luontainen kohoaminen laivan yläpuolelle tehostuu.

Biokaasureaktori on umpinainen ja hajuhaittojen välttämiseksi käsittelyjäännös pidetään nestemäisessä muodossa putkiston sisällä. Käsittelyjäännöstä ei siis kuivata, sen sijaan se johdetaan käsittelyjäännössäiliöön. Koska myös käsittelyjäännöksessä muodostuu jonkin verran biokaasua, jäännös tulee määräysten mukaisesti eristää laivan turvallisista tiloista. Samalla vältetään hajuhaitoilta.

Tarvittaessa hajujen eliminointiin voidaan käyttää aktiivihiilisuodattimia sekä otsonointia. Näiden komponenttien asentaminen kuitenkin lisää järjestelmän monimutkaisuutta sekä huollon tarvetta.

5.1 BIOKAASUN KULUTUS JA HINTA

- Referenssibiokaasulaitoksen laskettu metaanikaasun tuotto on 34,3 m³/h eli 24,6 kg/h
- Doranova Oy:n laskelman mukainen biokaasun energiatuotanto on 2,980 GWh (10 700 GJ) vuodessa, joka vastaa 340 kW:n tehoa
- Voidaan olettaa, että tämä teho voidaan kuluttaa laivan poltinkattilassa ja että näin muodostuvalle höyrylle on tarvetta laivan eri lämmitysjärjestelmissä.
- Jos viereisen kuvan perusteella nesteytetyn biokaasun kokonaishinnaksi laivassa oletetaan 25 \$/GJ ja dollarin kurssiksi 0,9 euroa, saadaan biokaasulaitoksen tuotannon avulla säästyvän LNG:n arvoksi 240 000 € vuodessa.



MARITIME ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, CENTRE OF EXCELLENCE (MESD COE), NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, SINGAPORE



5.2 BIOKAASUN TUOTANTOTILOJEN VAIHTOEHTOINEN KÄYTTÖ

- Biokaasua ei tule tehdä laivassa, jos laivan operaattorille on kannattavampaa varata kyseinen tila muuhun käyttöön
- Yleensä laivan alakansilla ja keskilaivassa sijaitsevat tilat ovat vähäarvoisia, koska niissä ei ole ikkunoita
- Matkustajalaivassa näihin tiloihin sijoitetaan tyypillisesti:
 - Teknisiä tiloja
 - Säiliöitä
 - Ikkunattomia hyttejä
 - Roro-kansia (autokannet, joissa kuljetetaan pyörillä oleva lastia)
- Edellä mainituista hytit ja roro-kannet ovat tiloja, joilla saavutetaan parempi kannattavuus kuin biokaasutuotannolla

5.3 EPÄSUORA KANNATTAVUUS

Jos alus käyttää biokaasua, epäsuora tuottavuus ja kannattavuus voi olla merkittävää.

- **Ympäristöystävällisyys:**

- Biokaasun käyttö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja muita haitallisia päästöjä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin
- Parantaa aluksen ympäristöystävällisyyttä ja auttaa täyttämään tiukentuvat päästövaatimukset
- Markkinointi ja imago: Ympäristöystävällinen teknologia voi parantaa laivayhtiön mainetta ja houkutella ympäristötietoisia matkustajia. Tämä voi myös avata uusia markkinointimahdollisuuksia ja parantaa asiakastyytyväisyyttä.

- **Jätehuollon parantuminen:** Biokaasulaitos voi käsitellä aluksen orgaanista jätettä, kuten ruokajätettä ja jätevesiä, mikä vähentää jätteen käsittely- ja hävityskustannuksia.

- **Energiantuotannon monipuolistuminen ja energiavarmuus:**

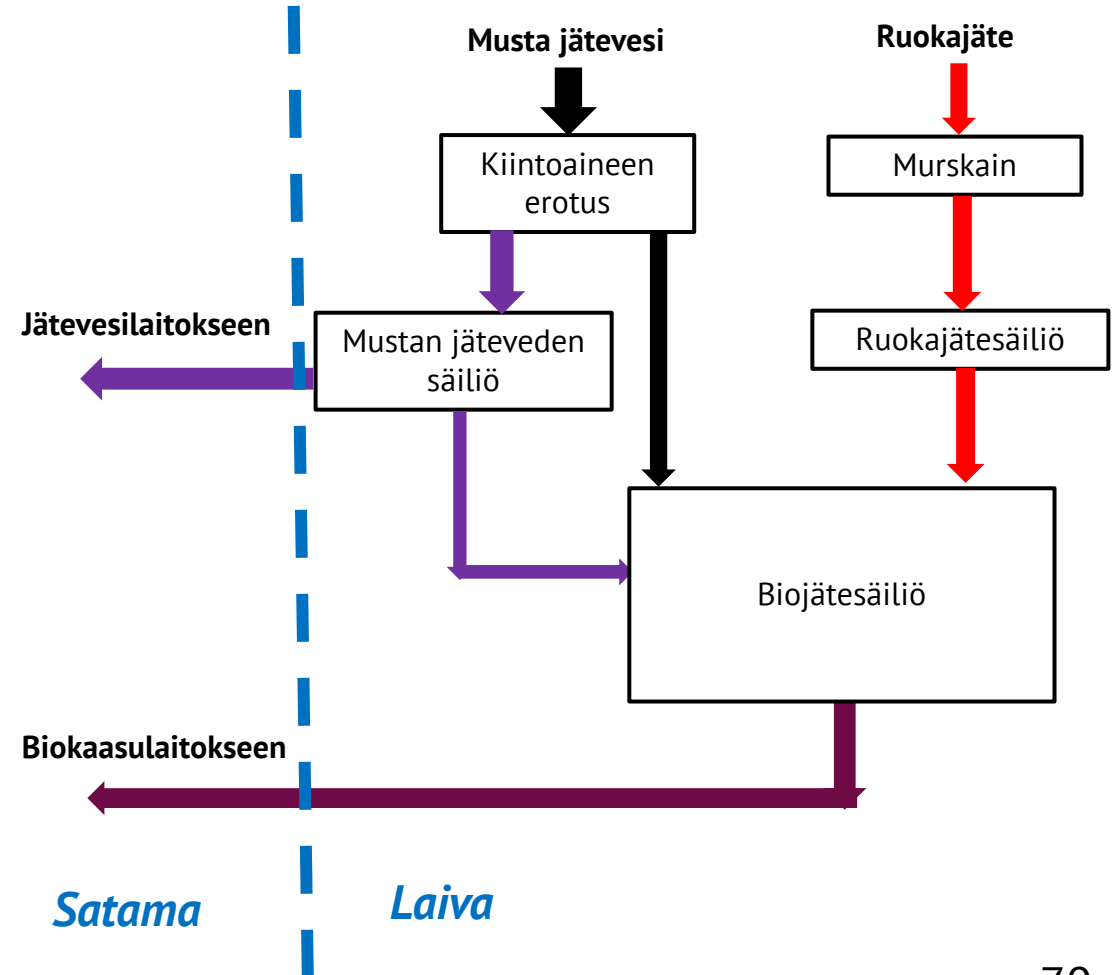
- Biokaasua voidaan käyttää sekä sähkön- että lämmöntuotantoon, mikä voi parantaa aluksen energiatehokkuutta ja vähentää energiakustannuksia
- Omavaraisuus biokaasun suhteen voi parantaa aluksen energiavarmuutta, erityisesti pitkillä matkoilla tai alueilla, joilla polttoaineen saatavuus voi olla rajallista.

5.3 EPÄSUORA KANNATTAVUUS

- **Vähentyneet polttoainekustannukset:** Omavaraisuus biokaasun suhteen vähentää riippuvuutta ulkopuolisista polttoainetoimittajista, mikä voi johtaa säästöihin polttoainekustannuksissa.
- **Tukien ja kannustimien hyödyntäminen:** Monet hallitukset ja organisaatiot tarjoavat tukia ja kannustimia ympäristöystävällisten teknologioiden käyttöönottoon. Biokaasulaitoksen rakentaminen ja käyttö voi oikeuttaa aluksen saamaan näitä tukia.
- **Yhteistyö & innovaatiot:**
 - Biokaasulaitoksen kehittäminen ja käyttö voi luoda uusia yhteistyömahdollisuuksia tutkimuslaitosten, teknologiayritysten ja muiden sidosryhmien kanssa.
 - Biokaasulaitoksen käyttöönotto voi edistää innovaatioita ja teknologista kehitystä laivayhtiöissä, mikä voi johtaa uusiin liiketoimintamahdollisuuksiin ja parantaa kilpailukykyä.

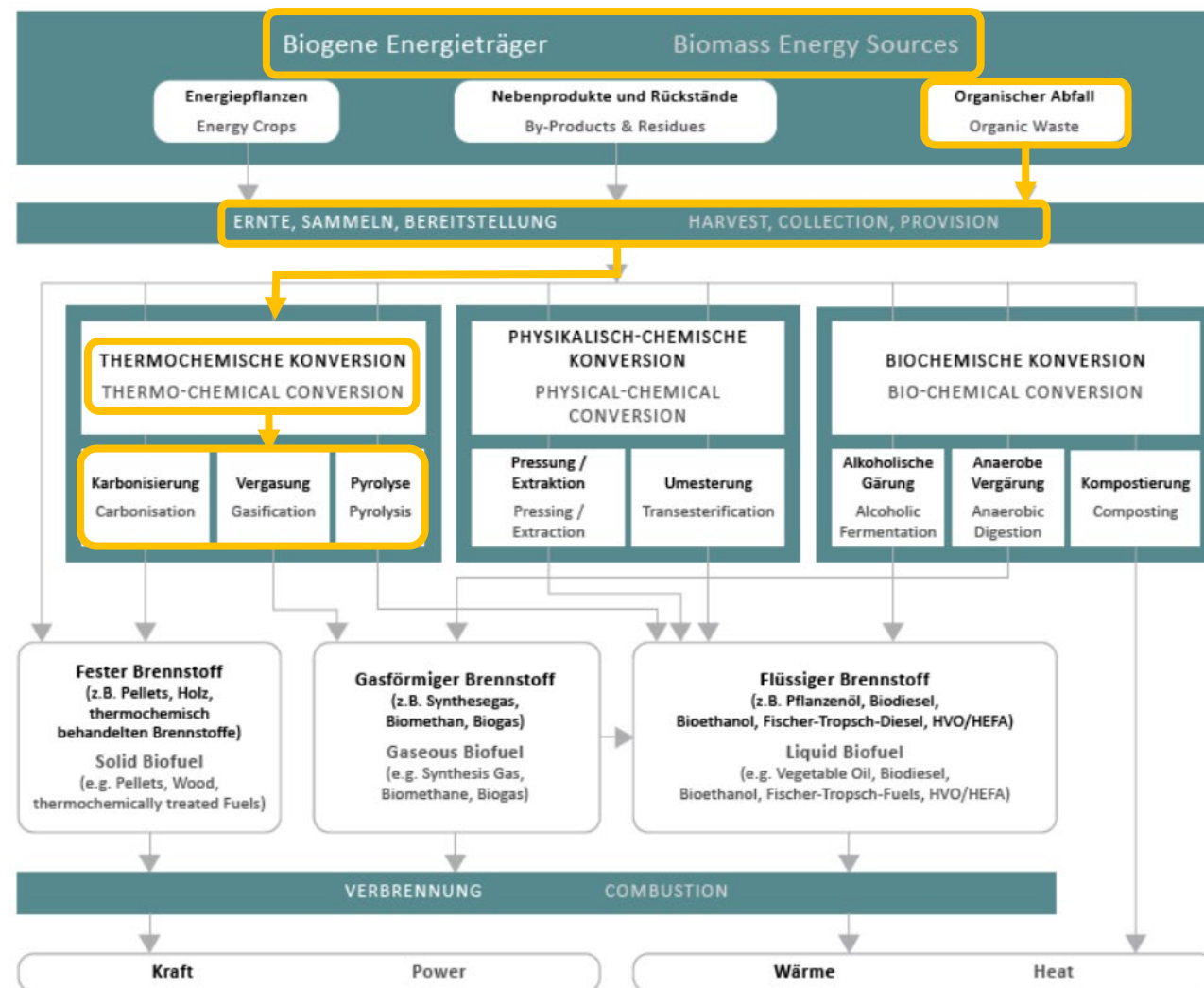
6 YHTEENVETO

- Biokaasulaitoksesta saatava energiamäärä on vähäinen
- Laivaan asennettava biokaasulaitos on suuri ja painava, biokaasulaitosta tulee kehittää siten, että prosessin viipymäaika pienenee ja paino sekä koko pienenevät
- Anaerobisen prosessin integrointia laivan muihin jätevedenkäsittelylaitoksiin on syytä harkita
- Biokaasulaitoksen toimintaan liittyy hajuriski, joka täytyy hallita osana kaasuturvallisuuden hallintaa



6 YHTEENVETO

- Biokemiallisen konversion sijaan biojätteen termokemiallisilla käsittelymenetelmillä voidaan päästä pienempään ja kevyempään laitoskokoon, näitä menetelmiä on jo käytössä aluksilla
- Laivan orgaaniset jätteet kannattaa laivaproessin sijaan kuljettaa säiliöautolla maissa sijaitsevaan biokaasulaitokseen
- EU:n ruokajättemääräyksiä pitäisi lieventää siten, että myös kansainvälisen liikenteen ruokajäte olisi kelvollista biokaasun raaka-aineeksi



Aarnio, 2022	Aarnio, M. Cruise Ship Handbook. Springer International Publishing AG. eBook ISBN 9783031116285. 2022-09-11.
ABS, 2022	Sustainability whitepaper LNG as marine fuel. American Bureau of Shipping. July 2022.
Agrikomp, 2025a	Agrikomp components. https://agrikomp.com/wp-content/uploads/Components_AK_INTL.pdf#page=4 . Viitattu 2025-03-12.
Agrikomp, 2025b	Agripure – The system for biogas upgrading. https://agrikomp.com/wp-content/uploads/agripure_AK_INTL.pdf . Viitattu 2025-03-12.
Allardyce ym. 2025	Allardyce, S. Baster, E. Callum, K. Lamond, W. Biogas boiler. https://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/10-11/Whisky/biogas_boiler.html . Viitattu 2025.05.22.
Bilgili, 2021	Bilgili, L. Comparative assessment of alternative marine fuels in life cycle perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews 144 (2021) 110985. http://www.elsevier.com/locate/rser
DNV, 2025	Biofuels in shipping, current market and guidance on use and reporting. White Paper. Det Norske Veritas.
Evac, 2015	Evac Piping Guide. Guideline, 000013-Special edition, Revision date 04 Jun 2019, Evac Vacuum Piping Guide for Marine Industry
Henriksson, 2024	Sähköposti Henriksson, T (Wärtsilä Oy) – Lahtinen J. 2024-12-04

IGF code, 2015	Resolution msc.391(95), adoption of the international code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels. The Maritime Safety Committee. International Maritime Organisation. 2015
Kaasuyhdistys & Tukes, 2015	Biokaasun turvallisuusohje. https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/biokaasun-turvallisuusohje . Viitattu 2025-02-02.
Kinnunen & Rintala, 2015	Kinnunen, V & Rintala, J. Luku 1, Biokaasualan monet mahdollisuudet. Teoksessa Biokaasuteknologia, raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry. ISBN 978-951-784-771-1 (PDF). HAMKin e-julkaisuja 36/2015
Kurikka, 2024	Sähköposti Kurikka, J (Oilon Oy) - Lahtinen J. 2024-12-04
Kymäläinen, 2015	Kymäläinen, M. Luku 4, Anaerobinen hajoaminen ja sen hallinta biokaasureaktorissa. Biokaasuteknologia, raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry. ISBN 978-951-784-771-1 (PDF). HAMKin e-julkaisuja 36/2015
Lampinen, 2015	Lampinen, A. Luku 7, Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa Biokaasuteknologia, raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry. ISBN 978-951-784-771-1 (PDF). HAMKin e-julkaisuja 36/2015
Nellesen ym. 2019	Thomas Nellesen, Katja Broeg, Elmar Dorgeloh, Markus Joswig, Susanne Heitmüller. Technical Guidance for the Handling of Wastewater in Ports of the Baltic Sea Special Area under MARPOL Annex IV. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2020/01/Technical-guidance-for-the-handling-of-wastewater-in-ports.pdf Baltic Marine Environment Protection Commission. 2019.

Paavola, 2015	Paavola, T. Luku 8, Biokaasulaitokseen liittyviä näkökohtia. Teoksessa Biokaasuteknologia, raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry. ISBN 978-951-784-771-1 (PDF). HAMKin e-julkaisuja 36/2015
Saalisti, 2025	Sähköposti Saalisti M. / Lahtinen J. 2025-06-08.
Schumüller ym., 2021	Biogas potential of organic waste onboard cruise ships — a yet untapped energy source. Kai Schumüller & Dirk Weichgrebe & Stephan Köster. Biomass Conversion and Biorefinery (2022) 12:5647–5662. https://doi.org/10.1007/s13399-020-01249-0 . 2021.
Thrän ym. 2015	Thrän, D. Ponitka, J. Arendt, O. Bioenergy-Technologies. Fokusheft Energetische Biomassenutzung. DBFZ. Leipzig. 2015.
Euroopan komissio, 2023	Euroopan vihreän kehityksen ohjelma: Yhteisymmärrys meriliikenteen päästöjen vähentämisestä. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/fi/ip_23_1813/IP_23_1813_FI.pdf . 2023-03-23.