BIOKAASU JA BIOMETAANI

LAITOSPROSESSIT

VAARAT JA RISKIENHALLINTA

SÄÄDÖKSET

TOIMINTAOHJEITA

BIOKAASUN TURVALLISUUSOHJE

SISÄLTÖ

1. **Ohjeen tarkoitus ja soveltamisala** ... 3
2. **Yleistä biokaasusta** ... 3
3. **Biokaasun tuotanto jatkokäsittely ja käyttö** ... 4
   - 3.1 Yleistä biokaasun tuotannosta ja jatkokäsittelystä ... 6
   - 3.2 Erityyppisten biokaasulaitosten toimintaperiaatteet ... 6
   - 3.3 Kaasun jatkokäsittely ... 8
   - 3.4 Putkistot laitoksen ulkopuolelle ... 9
   - 3.5 CBG-tankkausasemat ... 10
   - 3.6 CBG-kontit ... 11
   - 3.7 LBG-tankkausasemat ... 12
4. **Kaasuturvallisuuteen vaikuttavia asioita** ... 12
   - 4.1 Biokaasun koostumus ja ominaisuudet ... 12
   - 4.2 Hajustus ... 14
   - 4.3 Kaasun paine ... 14
   - 4.4 Materiaalit ja laitteistovaatimukset ... 15
5. **Kaasuturvallisuus** ... 16
   - 5.1 Vaaraa aiheuttavat aineet ... 16
     - 5.1.1 Metaani (CH4) ... 17
     - 5.1.2 Nestemäinen biometaani (LBG) ... 17
     - 5.1.3 Rikkivety (H_2S) ... 17
     - 5.1.4 Rikkidioksidi (SO_2) ... 18
     - 5.1.5 Hiilidioksidi (CO_2) ... 18
     - 5.1.6 Hiilimonoksidi (CO) ... 18
     - 5.1.7 Ammoniakki (NH_3) ... 18
     - 5.1.8 Biologiset vaarat (bakteerit, virukset, homeet, loiset) ... 19
   - 5.2 Riskiskenaarioiden lähtökohdat ... 20
   - 5.3 Turvallisuusriskien hallinta ... 20
     - 5.3.1 Biokaasulaitoksen sijoittaminen ja kaava-asiat ... 20
     - 5.3.2 Suojaetäisyydet ... 21
     - 5.3.3 Metaanivuotojen hallinta ja räjähdysvaaran arviointi ... 22
     - 5.3.4 Paine ja tiiveyskokeet ... 22
     - 5.3.5 Kaasunilmaisimet ja henkilökohtaiset suojaimet ... 22
     - 5.3.6 Ilmanvaihto ... 23
     - 5.3.7 Biologisten riskien hallinta ... 24
     - 5.3.8 Varautuminen nestemäisen biometaanin (LBG) vaaroihin ... 24
     - 5.3.9 Tilaluokitukset ja sähkölaitteet ... 25
     - 5.3.10 Merkinnät ... 25
6. **Kuvaus säädöksistä** ... 27
7. **Lupa-asiat ja valvonta** ... 30
   - 7.1 Reaktorilaitokset ... 30
   - 7.2 Kaatopaikkalaitokset ... 31
   - 7.3 Biokaasuputkistot laitoksen ulkopuolelle ... 31
   - 7.4 Kiinteästi asennettavat kaasusäiliöt ... 31
   - 7.5 Kiinteästi asennettavat LBG-säiliöt ... 31
   - 7.6 Kuljetettavat pullot ja kontit ... 31
   - 7.7 Tarkastukset ennen käyttöönottoa ... 32
   - 7.8 Käytön aikaiset tarkastukset ... 32
   - 7.9 Dokumentointi ... 33
8. **Asentaminen, käyttö ja kunnossapito** ... 34
   - 8.1 Kaasuputkiston ja laitteiden asentaminen ... 34
   - 8.2 Käyttö, kunnossapito ja henkilökunnan perehdyttäminen ... 34
   - 8.3 Vastuuhenkilö ... 34
   - 8.4 Ulkopuolisten toimijoiden ohjeistaminen ... 35
9. **Lisätietoa** ... 35

1. OHJEEN TARKOITUS JA SOVELTAMISALA

Tässä ohjeessa kuvataan ja käsitellään raakabiokaasun, puhdistetun biokaasun, biometaanin ja nestemäisen biometaanin (LBG) tuotantoon ja jatkokäsittelyyn liittyviä kaasu- ja kaasuturvallisuusasioita. Ohje kattaa sekä reaktori- että kaatopaikkakaasulaitokset.

2. YLEISTÄ BIOKAASUSTA

Biokaasua muodostuu erilaisten mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa. Biokaasua tuotetaan Suomessa jätevesien puhdistamoilla sekä yhdyskuntien ja maatalouden biomassoja käsittelevissä eri tyyppisissä reaktorilaitoksissa. Lisäksi biokaasua kerätään kaatopaikoilta biokaasupumppaamoilla.

Biokaasua voidaan varastoida ja siirtää raakabiokaasuna, paineistettuna (esim. pullokonteissa tai kaasuputkistossa), tai nesteytettynä.

Biokaasua käytetään pääasiassa sähkön ja lämmön tuotantoon sekä liikenteen polttoaineena. Biokaasu soveltuu hyvin myös moniin teollisuuden prosesseihin. Biokaasun käyttö määrittelee tarvittavan puhdistus- ja jalostusasteen.

Biokaasulaitokset poikkeavat toisistaan käytettävien raaka-aineiden, prosessien sekä lopputuotteiden hyödyntämisen osalta. Siksi raaka-aineista ja lopputuotteista käytetään monia termejä.

Tässä ohjeessa puhdistamattomasta biokaasusta käytetään termiä *raakabiokaasu*. Kun raakabiokaasu kuivataan ja siitä poistetaan rikkivetyä ja rikkiyhdisteitä, siloksaaneja ja muita haitta-aineita, puhutaan *puhdistetusta biokaasusta*. Kun puhdistuksen lisäksi kaasu jalostetaan metaaniksi poistamalla siitä pääosin hiilidioksidi ja kosteus, on kyseessä *biometaani*. Jos biometaani halutaan nesteyttää, tulee siitä vielä poistaa hiilidioksidi (<50 ppm) ja kosteus lähes kokonaan (<1 ppm).

Tässä ohjeessa *biokaasu* yleisterminä kattaa edellisessä kappaleessa kuvatut eri jalostusasteiset kaasut.

Kun biometaani paineistetaan esimerkiksi liikennekäyttöön, käytetään lyhennettä *CBG (compressed biogas)*. Vastaavasti paineistetusta maakaasusta käytetään termiä *CNG (compressed natural gas)*.

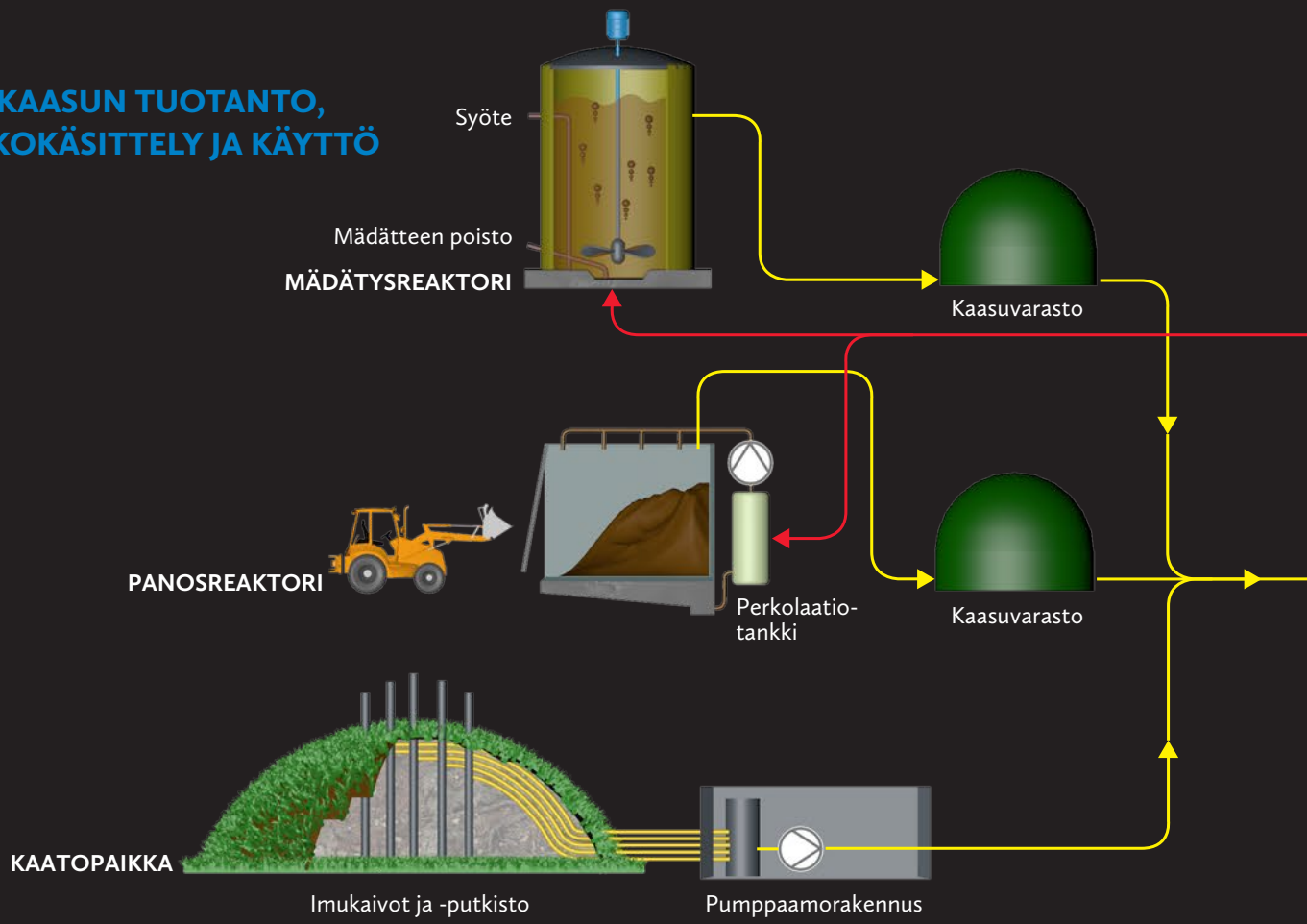
Biometaani voidaan maakaasun tavoin nesteyttää. Normaalissa ilmanpaineessa metaani nesteytyy jäähdyttämällä se alle -160 °C lämpötilaan, jolloin sen tilavuus pienenee noin kuudenteensataan osaan.

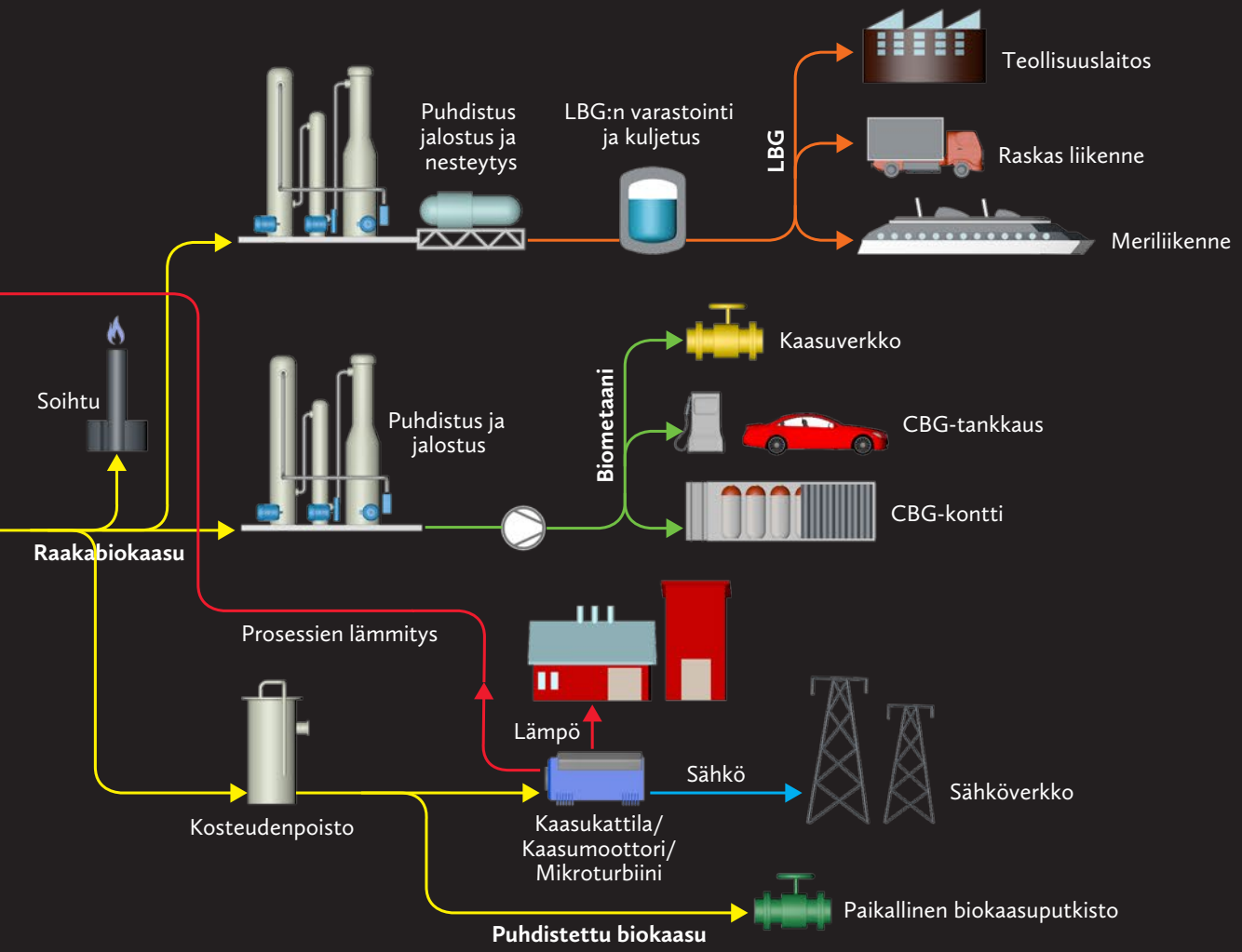
Nesteytetystä biometaanista käytetään lyhennettä *LBG (liquefied biogas)* ja nesteytetystä maakaasusta lyhennettä *LNG (liquefied natural gas)*.

Biokaasulaitoksen raaka-aineista käytetään tässä ohjeessa yleisesti termiä *syöte*, joka on tarvittaessa määritelty tarkemmin (esimerkiksi liete, jäte, maatalousbiomassa).

Biokaasulaitoksen kiinteistä ja nestemäisistä lopputuotteista käytetään tässä ohjeessa yleisesti termiä *mädäte*. Mädätettä on mahdollista jatkojalostaa esimerkiksi kierrätysravinteiksi.

3. BIOKAASUN TUOTANTO, JATKOKÄSITTELY JA KÄYTTÖ




Puhdistus jalostus ja nesteytys
LBG:n varastointi ja kuljetus
LBG
Teollisuuslaitos
Raskas liikenne
Meriliikenne
Soihtu
Puhdistus ja jalostus
Biometaani
Kaasuverkko
CBG-tankkaus
CBG-kontti
Raakabiokaasu
Prosessien lämmitys
Lämpö
Sähkö
Sähköverkko
Kosteudenpoisto
Kaasukattila/ Kaasumoottori/ Mikroturbiini
Paikallinen biokaasuputkisto
Puhdistettu biokaasu

3.1 Yleistä biokaasun tuotannosta ja jatkokäsittelystä

Jätevesien puhdistamoilla ja biojätteiden käsittelylaitoksilla raakabiokaasun tuotanto tapahtuu reaktoreissa. Reaktori- ja esikäsittelylaitoksia on eri tyyppisiä, joiden prosessi riippuu syötteistä ja kaasun sekä mädätteen loppukäytöstä.

Kaatopaikkakaasulaitoksissa raakabiokaasu imetään jätepenkasta kaasunkeräysjärjestelmällä biokaasupumppaamoon.

Raakabiokaasun tuotannon jälkeen se puhdistetaan ja jalostetaan kaasun kuljetuksen ja loppukäytön asettamien vaatimusten mukaan. Jos biometaani syötetään maakaasuverkkoon, asettaa verkonhaltija laatuvaatimukset ja myös liikennekäyttöön tarkoitetulle biometaanille on yhtenäiset laatuvaatimukset. Biometaanin verkkoonsyöttöä määrittelee *standardi SFS-EN 16723-1*, ja liikennekäyttöä *standardi SFS-EN 16723-2*.

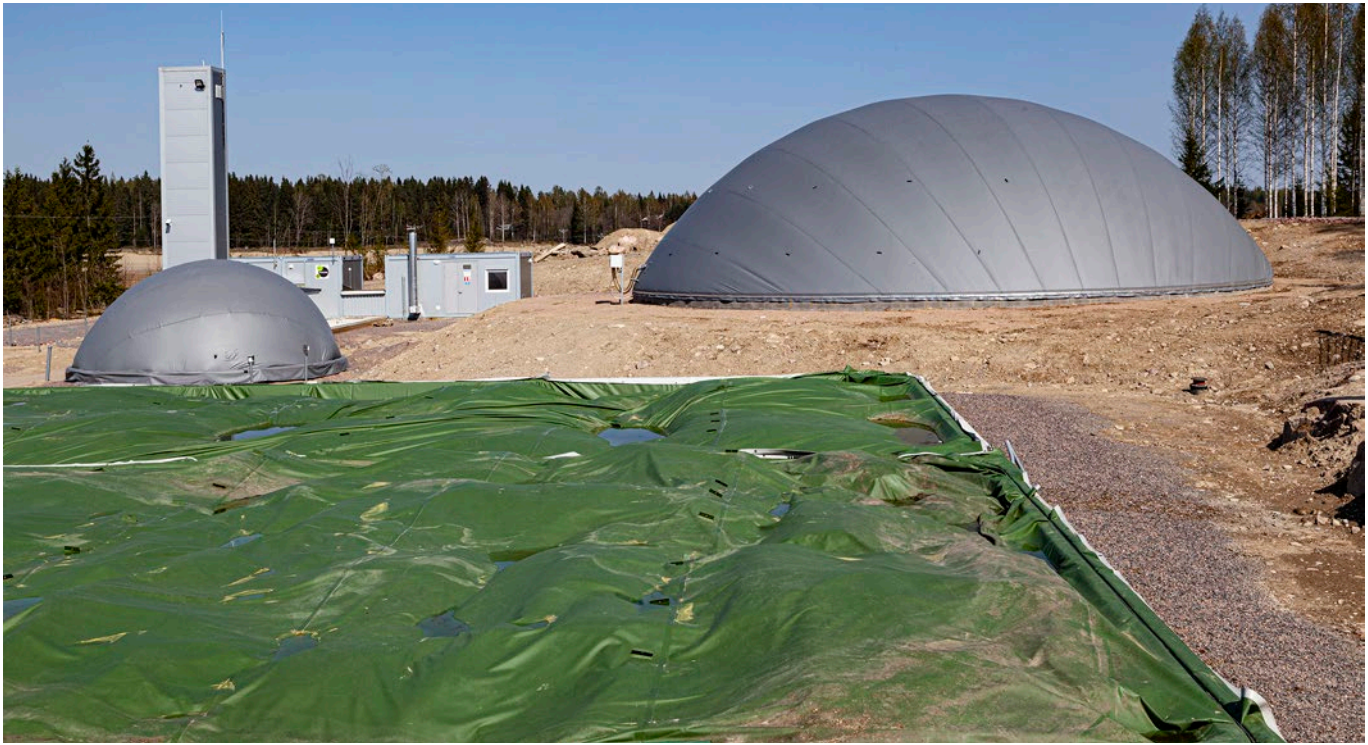
3.2 Erityyppisten biokaasulaitosten toimintaperiaatteet

Biokaasureaktorilaitos on suljettu prosessi, jossa seurataan ja säädetään reaktorin lämpötilaa, sekoitusta ja kosteuspitoisuutta, ja siten varmistetaan optimaalinen kaasun tuotanto. Biokaasureaktorilaitokset voidaan jaotella jatkuvatoimisiin ja panosprosesseihin. Jatkuvatoimisissa prosesseissa kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti alle 15 %, jolloin kyseessä on märkäprosessi, ja tätä korkeammissa pitoisuuksissa puhutaan usein kuivaprosessista. Panosprosessissa kuiva-ainepitoisuus on lähes aina 20 … 40 %.

Jatkuvatoimisessa prosessissa syötteet johdetaan biokaasureaktoriin, jossa on syötteille sopiva mikrobikanta. Yleensä reaktorissa olevaa massaa sekoitetaan ja tarvittaessa lämmitetään. Syötteitä lisätään jatkuvasti tai tasaisin väliajoin. Reaktorista poistuu mädätettä saman verran kuin sinne syötetään. Mahdollisen biomassan oikovirtauksen vuoksi suositellaan useita peräkkäisiä reaktorivaiheita tai riittävän viipymäajan varmistamista. Tyypillinen viipymäaika reaktoriprosessissa on noin 25-30 vuorokautta. Tulppavirtausreaktorissa syötettävä massa etenee hitaasti ja hajoamisen eri vaiheet tapahtuvat reaktorin eri osissa, joka ehkäisee oikovirtausta.

Tietyt syötteet edellyttävät hygienisointia (vähintään yksi tunti 70°C lämpötilassa), joka voi olla ennen reaktoriprosessia tai sen jälkeen.

Kuivaprosessissa reaktori täytetään syötteellä, ja se suljetaan ilmatiiviisti. Syötteen päälle ruiskutetaan mikrobipitoista perkolaationestettä, jolloin anaerobiset prosessit käynnistyvät. Reaktorista saadaan raakabiokaasua prosessin toimiessa. Kun kaasuntuotanto loppuu, reaktori avataan ja tyhjennetään. Jos panostyyppisestä prosessista halutaan jatkuvaa kaasuntuotantoa, panosreaktoreita tarvitaan useita rinnakkain, jolloin yksi reaktori on tuotantotilassa, kun toista tyhjennetään/täytetään.



Kaatopaikkalaitoksilta kerätty raakabiokaasu syntyy sekajätteen mukana kaatopaikan jätepenkkaan tulleesta orgaanisesta jätteestä. Kaasua kerätään käyttäen keräysputkistoa, jossa on reikiä, joista kaasu imetään sisään keräysputkistoon. Kaasu pumpataan keräysputkistosta puhdistusprosessiin, minkä jälkeen se johdetaan loppukäyttöön. Koska nykyään Suomessa on käytössä orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto, tulee biokaasun määrä kaatopaikkalaitoksista vähenemään ajan myötä.

3.3 Kaasun jatkokäsittely

Kosteudesta ja haitta-aineista puhdistettua biokaasua voidaan polttaa sellaisenaan biokaasulle tarkoitetuissa kattiloissa, mikrokaasuturbiineissa tai kaasumoottoreissa paikalliseen energiantuotantoon. Biokaasun jalostaminen biometaaniksi mahdollistaa sen hyödyntämisen laajemmin. Biometaani voidaan myös nesteyttää (LBG), jolloin sen kuljetus- ja käyttömahdollisuudet laajenevat entisestään.

Biokaasu voidaan jalostaa biometaaniksi usealla eri teknologialla.

PSA-teknologialla (pressure swing adsorption) hiilidioksidi adsorboidaan aktiivihiileen korkeassa paineessa.

Vesipesurissa hiilidioksidi erotetaan kaasusta vesisuihkulla. Vesi ja hiilidioksidi erotellaan stripperissä, ja vesi palautetaan pesuriin. Vesipesurissa käytetään tyypillisesti 5 ... 10 bar painetta.

Amiinipesurissa hiilidioksidi reagoi monoetanoliamiinin kanssa. Hiilidioksidi poistetaan amiinista stripperissä, ja

amiini palautetaan pesuriin. Teknologia ei vaadi korkeaa painetta.

Membraanierotuksessa hiilidioksidin poisto perustuu eri kokoisten kaasumolekyylien läpäisyasteeseen. Membraanierotuksessa käytetään tyypillisesti 10 ... 20 bar painetta.

Kryogeenisessa erotuksessa hiilidioksidin poisto perustuu sen nesteytymiseen korkeammassa lämpötilassa.

Kaikilla jalostusteknologioilla päästään yli 95 % metaanipitoisuuteen. Tyypilliset metaanihäviöt ovat 0 ... 3 % luokkaa.

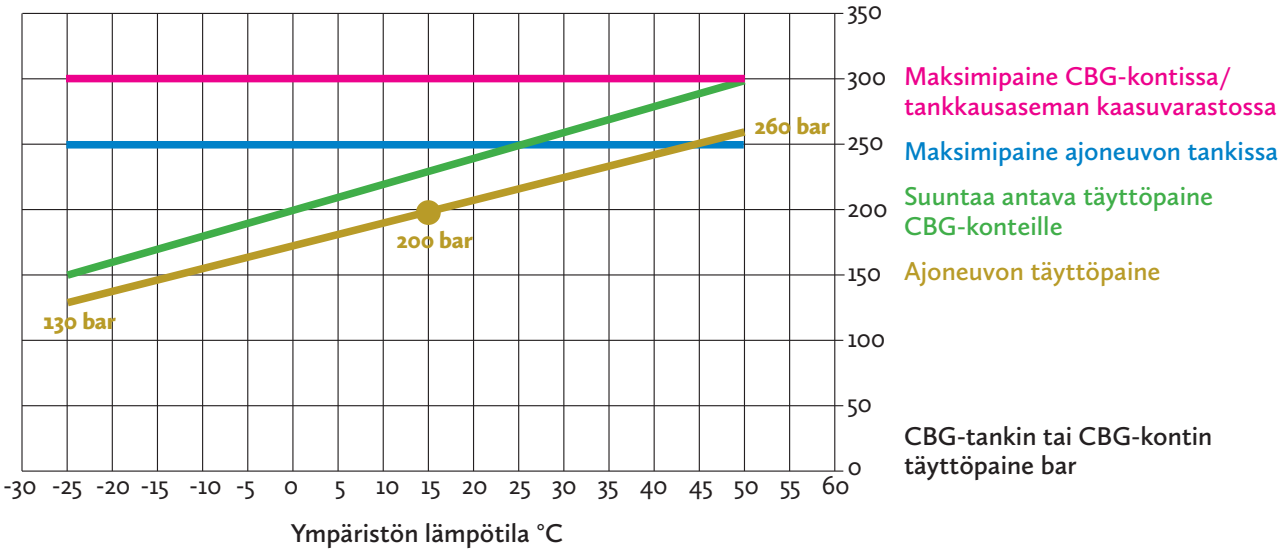
3.4 Putkistot laitoksen ulkopuolelle

Puhdistettu biokaasu tai biometaani voidaan johtaa biokaasulaitoksen ulkopuolelle. Se voidaan toteuttaa joko erillisellä biokaasun jakeluputkistolla (paikallinen biokaasuputkisto), tai biometaanin osalta syöttämällä se maakaasun jakelu- tai siirtoverkkoon. Biokaasulaitoksen yhteydessä tai sen ulkopuolella oleviin käyttökohteisiin biokaasu/biometaani johdetaan käyttöputkiston välityksellä.

3.5 CBG-tankkausasemat

Biokaasulaitoksen yhteyteen voidaan toteuttaa biometaanin tankkausasema. Yleensä biometaanin tankkaus perustuu kaasun paineistukseen, jolloin on kyse CBG-tankkausasemasta.

Kaasu tankataan ajoneuvoon korkeassa paineessa. Käytettävä täyttöpaine valitaan kaasun lämpötilan mukaan siten, että paine +15 °C:n lämpötilassa olisi 200 bar. Lämpötilakompensoinnilla estetään sallitun paineen ylittyminen ajoneuvon kaasusäiliössä.



Tankkausaseman suojarakennusten tulee olla palamatonta materiaalia ja rakenteeltaan sellaisia, ettei kaasua keräänny rakennusten sisälle tai rakenteisiin.

Turvallisuuden varmistamiseksi ja mahdollisten hallitsemattomien lämpösäteily- tai painevaikutusten minimoimiseksi käytetään suojaetäisyyksiä ja tarvittaessa suojarakenteita. Suojaetäisyydet määritellään kohdassa 5.3.2.

CBG-tankkausaseman suunnittelua varten Suomen Kaasuyhdistys ja Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes ovat laatineet erillisen oppaan *Suunnitteluohje maa- ja biokaasun tankkausasemille (tankkausasemaohje)*. Tankkausasemaohjeesta löytyy lisää kaasun tankkaukseen liittyviä turvallisuusnäkökohtia ja -vaatimuksia.

3.6 CBG-kontit

Biometaania voidaan toimittaa kaasukonteilla (CBG-kontti) tankkausasemille, teollisuus- ja muihin kohteisiin.

CBG-kontit toimivat käyttökohteissa myös varastoina. CBG-konttien täyttö tapahtuu biokaasulaitoksella, tai sen yhteydessä olevalla tankkausasemalla (CBG:n täyttölaitos).

CBG-kontit ovat useimmiten pullovarastoja, joissa paine on korkeintaan 300 bar.

CBG-konttien täyttölaitoksella tulee olla lämpötilakompensaatiojärjestelmä, jolla estetään sallitun paineen ylitys, kun CBG-kontti kuljetetaan täyttölaitokselta lämpimämpään ympäristöön. Kohdassa 3.5 olevasta kuvaajasta nähdään paineen lisääntyminen lämpötilan kohotessa.

Kuljetettavien CBG-konttien tulee olla ADR-hyväksyttyjä. Käyttökohteessa CBG-konttien sijoituksessa tulee huomioida suojaetäisyydet (ks. kappale 5.3.2) tai turvallisuus otetaan huomioon palomuureilla.

Käyttökohteessa varastointia ei saa toteuttaa pyörillä varustetun trailerin päällä.

3.7 LBG-tankkausasemat

Paineistetun kaasun (CBG/CNG) lisäksi tankkausasemille voidaan järjestää nesteytetyn biometaanin (LBG) tai nesteytetyn maakaasun (LNG) tankkaus. Tällöin tankkausaseman yhteydessä on nesteytetyn kaasun varastosäiliö, josta LBG siirretään pumpulla tai säiliön paineella jakelumittarille. Suomen Kaasuyhdistys ja Tukes ovat laatineet erillisen oppaan *LNG-asiakassäiliöt* (*LNG-ohje*), josta löytyy teknisiä ohjeita LNG/LBG-tankkausaseman suunnitteluun ja toteuttamiseen.

4. KAASUTURVALLISUUTEEN VAIKUTTAVIA ASIOITA

4.1 Biokaasun koostumus ja ominaisuudet

Biokaasun koostumus vaihtelee riippuen erityisesti käytettävistä syötteistä. Kaasun laadussa voi olla isojakin eroja eri biokaasulaitosten välillä. Kaatopaikoilta kerätyn raakabiokaasun koostumus poikkeaa merkittävästi reaktorilaitoksilla tuotetusta raakabiokaasusta.

Pääkomponentit ovat kuitenkin aina metaani ja hiilidioksidi. Kaatopaikalta peräisin olevan raakabiokaasun metaanipitoisuus jää pienemmäksi ja vastaavasti typpipitoisuus suuremmaksi kuin reaktorilaitoksilla tuotetun raakabiokaasun.

Biometaani vastaa pääpiirteittäin maakaasun (metaanipitoisuus noin 97 %) ominaisuuksia. Maakaasussa on jonkin verran raskaampia hiilivetyjä, minkä vuoksi sen lämpöarvo on hieman biometaania korkeampi. Maakaasuun perusominaisuudet esitellään taulukossa 2.

Puhdistetussa biokaasussa on mukana typpeä ja hiilidioksidia, sekä puhdistamattomassa biokaasussa lisäksi muita komponentteja, jotka muuttavat kaasun ominaisuuksia.

Biokaasun koostumuksesta riippuen, sen komponentit voivat olla ilmaa kevyempiä tai raskaampia. Tämä tulee ottaa huomioon mm. suunniteltaessa kaasunilmaisimien sijoittelua ja ilmanvaihtoa.

Taulukko 1: Reaktorilaitoksen tuottaman raakabiokaasun sekä kaatopaikoilta kerätyn raakabiokaasun tyypillinen koostumus

Yhdiste ja kemiallinen koostumus	Reaktorilaitos [%]	Kaatopaikkalaitos [%]
Metaani (CH_4)	55-75	25-65
Hiilidioksidi (CO_2)	25-45	35-45
Typpi (N_2)	0-3	0-25
Rikkivety (H_2S)	0-0,5	0-5
Muita yhdisteitä	Happi (O_2), vety (H_2), siloksaanit	Happi (O_2), kloorifluorihiilivedyt (CFC) ja fluorihiilivedyt (HFC), rikkiyhdisteet, siloksaanit

Taulukko 2: Maakaasun ominaisuuksia

Alempi lämpöarvo	Noin 36,5 MJ/m^{3}n
Ylempi lämpöarvo	Noin 40,4 MJ/m^{3}n
Syttymisrajat	5-15 tilavuus-% metaania ilmassa (+20 °C)
Itsesyttymislämpötila	537 °C
Itsesyttymisenergia	0,29 mJ
Tiheys	0,73 kg/m^3
Suhteellinen tiheys	0,56
Haju	Heikko hiilivetyjen haju

Taulukko 3: Erilaisten biokaasulaatujen ominaisuuksia

Koostumus	CH_4 100 %	CH_4 70 % CO_2 30 %	CH_4 65 % CO_2 35 %	CH_4 60 % CO_2 40 %	CH_4 55 % CO_2 45 %	CH_4 45 % CO_2 40 % N_2 15 %	CH_4 35 % CO_2 45 % N_2 20 %
Suhteellinen tiheys	0,55	0,84	0,89	0,94	0,99	1,00	1,07
Alempi lämpöarvo [MJ/m³n]	36,0	25,2	23,4	21,6	19,8	16,2	12,6
Ylempi lämpöarvo [MJ/m³n]	39,8	27,9	25,9	23,9	21,9	17,9	13,9

Nesteytetyn biokaasun (LBG) perusominaisuudet ja käyttö vastaavat nesteytettyä maakaasua (LNG).

LNG:n perusominaisuudet:

- *lämpötila -160 °C*
- *tiheys 420 ... 450 kg/m³*

Kaasumainen metaani on ilmaa kevyempää. Juuri höyrystynyt metaani, jonka lämpötila on -110 °C, on kuitenkin ilmaa raskaampaa.

4.2 Hajustus

Raakabiokaasulla on tunnistettava haju. Aktiivihiilisuodatus ja biokaasun jalostus poistavat yleensä hajun. Kaasuvuotojen tunnistamiseksi biometaani hajustetaan. Vain erityistapauksissa ja Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin luvalla kaasun saa toimittaa hajustamattomana. Mikäli kaasu toimitetaan liikennekäyttöön nesteytettynä biometaanina (LBG), hajustusta ei tehdä.

Hajusteena käytetään esimerkiksi tetrahydrotiofeeniä (THT) tai rikittömiä hajusteaineita. Hajusteen tulee olla aistittavissa, kun kaasupitoisuus on 20 % alemmasta syttymisrajasta. Tetrahydrotiofeeniä käytettäessä hajusteaineen määrä on noin 10 mg/Nm³ biokaasua. Hajusteen virtauksen määrää tai hajusteen pitoisuutta kaasussa tulee seurata säännöllisesti.

4.3 Kaasun paine

Kaasujärjestelmät perustuvat paineen käyttöön. Biokaasujärjestelmissä on erilaisia painetasoja eri vaiheissa tuotantoa, varastointia, siirtoa, jakelua ja käyttöä.

Tyypillisiä painetasoja (ylipaine) järjestelmän/ prosessin eri vaiheissa sekä käyttökohteissa:

- *mädätysreaktori 0 – 25 mbarg*
- *kaatopaikkalaitoksen imuputkisto 0 - 100 mbarg (alipaine)*
- *kaasuvarasto 2 - 25 mbarg*
- *kaasusoihtu 50 mbarg*
- *kaasupolttimet 20 - 250 mbarg*
- *kaasumoottori 150 mbarg*
- *kaasumikroturbiini 6 barg*
- *paikalliset biokaasuputkistot 100 mbarg - 4 barg*
- *verkkoon syöttö jakeluputkistoon 4 - 8 barg*
- *verkkoon syöttö siirtoputkistoon 30 - 54 barg*
- *nesteytetyn kaasun (LBG, LNG) höyrystymispaine 4 - 10 barg*
- *kaasukontit (CBG, CNG) < 300 barg*
- *tankkausasemat (CBG, CNG) 250 - 300 barg*

Paineet ovat kuitenkin aina tapauskohtaisia, joten ne voivat poiketa edellä kuvatuista painetasoista.

Laitoskohtaiset painetasot tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja materiaalien valinnoissa. Erityishuomiota täytyy kiinnittää toistuvaan paineen vaihteluun, joka voi aiheuttaa ongelmia huokoisissa materiaaleissa (esimerkiksi tiivisteet).

Reaktorin pinnan tason vaihdellessa, prosessiin voi poikkeustilanteessa syntyä alipainetta. Alipaineeseen liittyy haasteita, jotka on hyvä huomioida prosessia suunniteltaessa. Alipaine voi mahdollistaa ilman pääsyn prosessiin, mikä voi aiheuttaa räjähdysvaarallisen kaasuseoksen muodostumisen.

Joillain biokaasulaitoksilla käytetään alipainetta laitostilassa hajuhaittojen minimoimiseksi.

4.4 Materiaalit ja laitteistovaatimukset

Järjestelmässä käytettävistä materiaaleista säädetään tietyiltä osin kemikaali- ja maakaasulainsäädännössä.

Kaikkien biokaasun kanssa kosketuksissa olevien materiaalien ja laitteistojen tulee soveltua biokaasulle. Soveltuvuudesta tulee saada asianmukainen selvitys toimittajalta.

Suomessa tulee käyttää ulkoasennuksissa ja lämmittämättömissä tiloissa materiaaleja, jotka kestävät talvilämpötilat -40 °C asti.

Materiaalivalinnoissa huomioon otettavia asioita ovat muun muassa raakabiokaasun aggressiivisuus, kosteus, happojen syntyminen/kulkeutuminen, sähköparien syntyminen, kondenssiveden kertyminen ja tyhjennys, happi sekä rikkivety ja muut epäpuhtaudet.

PE-muovi on yleisin ja soveltuvin materiaali maanalaisille biokaasuputkistolle laitokselta käyttökohteeseen. Myös

kaatopaikkakaasun imuputkiston maanalaiset osuudet tehdään pääasiassa PE-muovista.

Maan päälliset ja laitosten sisällä olevat putkistot tehdään pääasiassa haponkestävästä teräksestä. Tyypillisiä teräslaatuja ovat AISI 316L/EN 1.4404. Korroosioherkkyyden vuoksi hiiliteräs on sellaisenaan ongelmallinen materiaali biokaasuprosessiin. Laitteissa voi olla sisäpuolelta pinnoitettua hiiliterästä.

Biokaasureaktorin materiaalivalinnoissa tulee lisäksi ottaa huomioon mekaaniset ja kemialliset rasitukset sekä lämpötila, joka prosessista riippuen voi yltää 70 °C. Reaktorityypistä riippuen käytössä olevia materiaaleja ovat esimerkiksi teräs, betoni ja muovi.

Kaasuvarastoja voi rakentaa tietyistä kemiallisesti kestävistä muoveista (esim. EPDM-kumi, PVC-muovi). Kudosvahvistettu PVC-kangas on yleisin vaihtoehto.

LBG- ja LNG-säiliöt ovat kaksivaippaisia terässäiliöitä. Vaippojen välissä on tyhjiö, joka on tehokas lämmöneriste. Lisänä välitilassa käytetään lämpösäteilyä ja konvektiota vähentävää eristettä. Tyhjiön seuraamiseksi käytetään mittausyhdettä.

5. KAASUTURVALLISUUS

Tässä ohjeessa keskitytään biokaasuprosessissa syntyvien kaasujen aiheuttamiin vaaroihin ja riskeihin, joilla voi olla vakavia vaikutuksia laitokselle, siellä oleville henkilöille ja ulkopuolisille. Biokaasun polttaminen voi synnyttää lisää vaarallisia kaasuja (hiilimonoksidi), tai muuttaa niitä vaarattomampaan muotoon (esim. rikkivety rikkidioksidiksi).

Ohjeessa tarkastellaan myös biologisia vaaroja, sekä biometaanin nesteytykseen liittyviä kryogeenisia vaaroja.

5.1 Vaaraa aiheuttavat aineet

Biokaasulaitoksissa voi esiintyä erilaisia vaaraa aiheuttavia aineita. Seuraavissa kohdissa on kuvattu keskeisimmät vaaralliset kemikaalit ja niiden vaikutukset. Kemikaaliturvallisuutta koskevat tiedot on poimittu Työterveyslaitoksen *Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeista (OVA-ohjeet)*.

5.1.1 Metaani (CH_4)

Metaani on hajuton, väritön ilmaa kevyempi kaasu (suhteellinen tiheys 0,55). Metaani on syttyvää ja palavaa. Palo- ja räjähdysvaaran lisäksi suuri metaanivuoto sisätilaan, jossa ilmanvaihto on huono, saattaa aiheuttaa hapenpuutetta.

Hapenpuute voi ilmetä huimauksena, hengitysvaikeuksina, levottomuutena, pahoinvointina ja päänsärkynä. Pahimmillaan se johtaa tajuttomuuteen tai kuolemaan, jos hapen pitoisuus laskee liian alhaiseksi.

5.1.2 Nestemäinen biometaani (LBG)

Normaalissa ilmanpaineessa nesteytetyn metaanin lämpötila on noin -160 °C. Nestemäisen metaanin kylmien höyryjen hengittäminen voi aiheuttaa paleltumia hengitysteissä. Suora kosketus nestemäiseen metaaniin tai altistuminen kylmälle metaanihöyrylle aiheuttaa paleltumavamman iholla ja silmissä. Silmien paleltumavamma voi johtaa pysyvään vaurioon tai sokeutumiseen. Paljas iho voi jäädä kiinni nestemäisen metaanin jäähdyttämään metalliin ja repeytyä irrotettaessa.

LBG-vuodosta voi paleltumavammojen lisäksi aiheutua tukehtumisvaara tai tulipalo kaasupilven syttyessä. Myös materiaalien haurastuminen voi aiheuttaa vaaratilanteita.

Juuri höyrystynyt LBG, jonka lämpötila on alle -110 °C, on ilmaa raskaampaa, mutta lämmetessään se muuttuu ilmaa kevyemmäksi.

5.1.3 Rikkivety (H_2S)

Rikkivety on vaarallinen soluhengitysmyrkky. Rikkivedyn hajukynnys on 0,008 ppm. Haju varoittaa hyvin terveysvaarasta, mutta rikkivety lamaannuttaa hajuaistin 100 - 150 ppm:n (140 - 210 mg/m³) pitoisuudessa.

Rikkivety ärsyttää jo pienissä pitoisuuksissa limakalvoja ja hengitysteitä. Silmän ärsytysoireet ilmenevät rikkivedyn 10 - 20 ppm:n (15 - 30 mg/m³) pitoisuuksissa ja polttavaa kipua, kyynelvuotoa sekä näön sumenemista ilmenee, kun pitoisuus ylittää 50 - 100 ppm (70 - 140 mg/m³). Samalla esiintyy nenän ja kurkun kuivumista ja ärsytystä; altistumisen jatkuessa ilmenee vetistä vuotoa nenästä, yskää, käheyttä ja hengenahdistuksen tunnetta. Altistuminen 100 - 500 ppm:n (150 - 750 mg/m³) pitoisuuksille aiheuttaa voimakkaan ärsytyksen lisäksi päänsärkyä, huimausta, pahoinvointia, heikkoutta ja sekavuutta.

Altistuminen yli 300 ppm:n (400 mg/m³) pitoisuuksille voi aiheuttaa keuhkopöhön. Altistuminen rikkivedylle 500 ppm:n (750 mg/m³) pitoisuudessa aiheuttaa viidessä minuutissa vakavia hermostollisia oireita ja tajuttomuutta, hengityskeskuksen lamaantumisen ja kuoleman jopa puolessa tunnissa. Yli 1 000 ppm:n (1 400 mg/m³) pitoisuus aiheuttaa välittömästi tajuttomuuden ja kuoleman hengityksen lamaannuttua.

Ilmaa vain hieman raskaampana (suhteellinen tiheys 1,2) rikkivety ei kerrostu eikä tuuletu itsestään.

5.1.4 Rikkidioksidi (SO_2)

Rikkidioksidikaasu ärsyttää silmiä, kosteita ihoalueita ja hengitysteitä aiheuttaen kirvelyä silmissä, kyynelvuotoa, yskää ja suurissa pitoisuuksissa hengitysvaikeuksia. Rikkidioksidin vesiliuokset syövyttävät ihoa ja silmiä.

Rikkidioksidikaasun aiheuttama hapan maku suussa on havaittavissa 0,4 - 1 ppm:n (1 - 2,5 mg/m³) pitoisuudessa. Pitoisuudessa 3 ppm (8 mg/m³) rikkidioksidin haju tuntuu selvästi. Pitoisuus 5 - 11 ppm (13 - 30 mg/m³) aiheuttaa nenän ja nielun välitöntä ärsytystä. Pitoisuus 20 ppm (53 mg/m³) ärsyttää silmiä aiheuttaen kyynelvuotoa. Pitoisuus 50 - 100 ppm (125 - 250 mg/m³) aiheuttaa tukahduttavan yskän. Pitoisuudessa 150 - 200 ppm (400 - 500 mg/m³) oleskelu 30 - 60 minuutin ajan on hengenvaarallista. Pitoisuudessa 400 - 500 ppm (1 000 - 1 300 mg/m³) muutaman minuutin oleskelu on hengenvaarallista. Hengityksen estyminen kurkunpään kouristuksen ja turvotuksen vuoksi sekä keuhkopöhö ovat mahdollisia voimakkaassa altistumisessa.

Rikkidioksidikaasu on ilmaa raskaampaa (suhteellinen tiheys 2,3).

5.1.5 Hiilidioksidi (CO_2)

Hiilidioksidin terveysvaikutukset johtuvat siitä, että se syrjäyttää happea. Terveysvaikutukset riippuvat hiilidioksidin pitoisuudesta tilassa. Yli 2 % hiilidioksidipitoisuudet kiihdyttävät hengitystä ja aiheuttavat päänsärkyä. Yli 7,5 % pitoisuudet huonontavat henkistä suorituskykyä, ja yli 10 % hiilidioksidipitoisuudet aiheuttavat hengenahdistusta, kovaa päänsärkyä, pahoinvointia ja tajuttomuuden noin 15 minuutin kuluessa.

Erittäin suurina pitoisuuksina hiilidioksidi syrjäyttää hapen ja voi aiheuttaa hapenpuutteesta johtuvan välittömän tukehtumisen suljetussa tilassa.

5.1.6 Hiilimonoksidi (CO)

Hiilimonoksidi sitoutuu veren punasolujen hemoglobiiniin noin 200 kertaa hanakammin kuin happi, jolloin kudosten hapensaanti vähenee. Herkimmin hapen puutteesta kärsiviä kudoksia ovat aivot ja sydän. Aivojen palautumaton vaurioituminen on mahdollinen, kun myrkytys on vakava, mutta ei kuolettava.

Lieviä muutoksia sydämen ja hermoston toiminnassa voi ilmetä jo 50 ppm:n (58 mg/m³) häkäpitoisuudessa. Häkäpitoisuus 200 ppm (230 mg/m³) aiheuttaa noin tunnin altistuksen jälkeen voimakasta päänsärkyä ja 500 ppm:n (580 mg/m³) pitoisuus noin 20 minuutin kuluttua. Pitoisuus 1 000 - 10 000 ppm (1 160 - 11 600 mg/m³) aiheuttaa päänsärkyä, huimausta, hengästyneisyyttä ja pahoinvointia noin 10 minuutin jälkeen ja kuoleman, jos altistuminen jatkuu 10 - 45 minuuttia pitoisuudesta riippuen.

Hiilimonoksidi on vain aavistuksen ilmaa kevyempää (suhteellinen tiheys 0,97), joten se ei kerrostu eikä tuuletu itsestään.

5.1.7 Ammoniakki (NH_3)

Ammoniakki aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä, joka on suoraan verrannollinen ammoniakkipitoi-

suuteen ilmassa. Ärsytys ja haittavaikutus alkavat 20 - 25 ppm:n (14 - 18 mg/m³) pitoisuudessa. Yli 100 ppm:n (70 mg/m³) pitoisuus aiheuttaa silmän sarveiskalvon ärsytystä ja kyynelvuotoa. Välittömästi hengitysteitä ja silmiä voimakkaasti ärsyttävä pitoisuus on 400 - 700 ppm (280 - 500 mg/m³). Lyhytaikainen altistuminen yli 5 000 ppm:n (3 600 mg/m³) pitoisuudelle voi aiheuttaa nopean kuoleman kurkunpään turvotuksen tai keuhkopöhön vuoksi.

Toistuvassa ammoniakkihöyrylle altistumisessa työntekijälle voi kehittyä sopeutumista ärsytysvaikutuksille muutamien viikkojen kuluessa. Näin jatkuva altistuminen jopa 70 ppm:n (50 mg/m³) pitoisuudelle ei aina aiheuta selviä oireita. Ammoniakki ei kerry elimistöön.

5.1.8 Biologiset vaarat (bakteerit, virukset, homeet, loiset)

Mikrobit ovat työntekijän turvallisuutta uhkaavia biologisia vaaratekijöitä. Jätevesistä, lietteistä ja muista vastaavista syötteistä mikrobit saattavat levitä sekä ilmaan että pinnoille ja siten kulkeutua hengitysteiden tai kosketustartunnan kautta työntekijään. Osa mikrobeista voi olla eläin- tai ihmisperäisistä jätteistä peräisin olevia taudinaiheuttajamikrobeja.

Taudinaiheuttajat voivat infektoida ihmisen hyvin pienilläkin määrillä. Tavallisin sairaus on mahatauti, tai haavan kautta tarttunut tulehdus. Hengittämällä tapahtuva pitempiaikainen ja toistuva altistuminen biologiselle vaaratekijälle voi aiheuttaa hengityselinsairauksia.

Biologisia vaaroja voivat mikrobien lisäksi aiheuttaa homesienet ja loiset. Hometoksiineista mm. amylosiini aiheuttaa hermostollisia oireita.

Biologiset vaarat ovat yleensä näkymättömiä, joten niiden mahdollinen läsnäolo pitää vain tiedostaa.

5.2 Riskiskenaarioiden lähtökohdat

Riskillä tarkoitetaan vaarojen, kuten palo- ja räjähdysvaaran tai terveysvaaran, todennäköisyyttä ja vakavuutta. Aineen aiheuttama terveysriski riippuu sekä aineen vaaraominaisuuksista että altistumisesta.

Biokaasulaitosten riskejä on kartoitettu Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin teettämässä *Kiertotalouden turvallisuusriskit* -selvityksessä (2018). Selvityksessä tunnistettiin vakavuudeltaan erilaisia riskiskenaarioita, joista voi syntyä henkilövahinkoja, ympäristövahinkoja ja taloudellisia vahinkoja.

Selvityksessä havaitut vakavat riskiskenaariot, jotka voivat aiheuttaa erityisesti henkilövahinkoja:

- *Vuodot ja niistä aiheutuvat tulipalot, räjähdykset tai tukehtuminen (esim. vuoto kompressorikontissa, vuoto kaasuvarastossa, vuoto tankkauksessa tai kontin täyttämisessä).*
- *Biojätteen varastoinnin ja käsittelyn yhteydessä tapahtuva altistuminen myrkyllisille aineille kuten rikkivety ja hiilimonoksidi.*
- *Biojätteen käsittelyn yhteydessä tapahtuva altistuminen homeille ja hometoksiineille (mm. hengitystieinfektiot ja allergiat).*

Selvityksessä havaitut riskiskenaariot, joilla on lähinnä ympäristövaikutuksia:

- *Jätevesien ja muiden rejektien päästöt ympäristöön.*
- *Jätevesien ja lietteen laatu (sisältää esim. raskasmetalleja) estää suunnitellun loppusijoituksen.*
- *Hajut.*

5.3 Turvallisuusriskien hallinta

Turvallisuusriskien arvioinnissa lähtökohtana on, että mahdolliset vaarat tunnistetaan ja arvioidaan etukäteen. Vaarojen syntyminen pyritään estämään laadukkaalla suunnittelulla. Mahdollisia poikkeustilanteita varten mietitään toimintatavat riskien minimoimiseksi. Turvallisuusriskien arviointiin on olemassa erilaisia työkaluja (esim. HAZOP, HAZID). Arviointi on syytä tehdä mahdollisimman käytännönläheiseksi.

5.3.1 Biokaasulaitoksen sijoittaminen ja kaava-asiat

Turvallisuusriskien hallinta alkaa laadukkaalla suunnittelulla ja laitoksen sijaintipaikan valitsemisella. Kaavamerkinnän tulee olla soveltuva biokaasulaitostoimintaan.

Tukesin lupaa vaativissa kohteissa kaavamerkinnän on mahdollistettava biokaasun laajamittainen varastointi. Rakennusvalvonta ottaa kantaa kaavan soveltuvuuteen ja konsultoi asiassa pelastuslaitosta ja tarvittaessa muita viranomaisia. Jos biokaasulaitos vaatii Tukesin luvan, todetaan kaavoituksen hyväksyttävyys myös Tukesin lupakäsittelyssä.

Laitoksen sijaintipaikan valitsemisella on suuri merkitys myös hajuhaittojen ja liikenteestä aiheutuvien haittojen minimoimisessa.

5.3.2 Suojaetäisyydet

Suojaetäisyydet määritellään tapauskohtaisesti paineen, laitoksen tyypin, rakenteen, käyttötarkoituksen ja mittaluokan mukaan. Tarvittaessa arvioidaan räjähdyspaine- ja lämpösäteilyvaikutukset. Asiasta on tehty Tukes-ohje *Tuotantolaitosten sijoittaminen*.

Suositeltavia minimisuojaetäisyyksiä ulkopuolisiin kohteisiin ovat esimerkiksi:

- *Kaasuvaraston etäisyys ulkopuolisiin rakennuksiin 25 m*
- *Etäisyys avonaisiin 20 kV sähköjohtoihin 15 m*
- *Etäisyys avonaisiin 110 ... 400 kV sähköjohtoihin tapauskohtaisesti 30 ... 100 m*
- *Etäisyys suureen palokuormaan (esim. jäteaumat ja -kasat) 50 m*

Biokaasulaitoksen etäisyys maakaasun siirtoputkistoon ja esimerkiksi paineenvähennysasemaan määritellään *valtioneuvoston asetusta maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009 (maakaasuasetus)* liitteen I mukaisesti. Biokaasulaitoksen katsotaan olevan maakaasuasetuksen mukaisen ryhmän A kohde, kun biometaanin varastointi ylittää luparajan (esimerkiksi CBG:n täyttölaitos, LBG-säiliö), ja muussa tapauksessa ryhmän B kohde.

Etäisyydet liikenneväyliin määritellään biokaasulaitoksen laitteistokokoonpanon mukaan. Etäisyyksiä eri tyyppisiin liikenneväyliin määritellään rakennusluvassa, sekä Kaasuyhdistyksen/Tukesin julkaisemissa tankkausasema- ja LNG-ohjeissa. Jos biokaasulaitos vaatii Tukesin luvan, todetaan etäisyyksien riittävyys lupakäsittelyssä.

Laitoksen sisällä palo- ja räjähdysturvallisuus voidaan huomioida palon leviämistä estävillä rakenteilla sekä toimintojen sijoittelulla. Rakennusten suunnittelussa tulee huomioida kevennetty seinä, katto tai aukko, joka purkaa ja ohjaa kaasuvarasto- tai kompressoritilan mahdollisen ylipaineen (esimerkiksi rajoitetun tilan räjähdys) turvalliseen suuntaan.

Suositeltavia minimisuojaetäisyyksiä laitoksen sisällä ovat esimerkiksi:

- *Matalapaineisen kaasuvaraston etäisyys tekniseen tilaan 5 m.*
- *Soihdun lämmönlähteen etäisyys muihin rakennuksiin, laitteistoihin tai rakenteisiin soihtutyypistä, lämpösäteilyn tehosta ja soihdun korkeudesta riippuen 5 ... 10 m.*
- *Kuljetettavien CBG-konttien etäisyys muihin rakenteisiin on kohteesta riippuen 10 ... 20 m, ellei käytetä lämpösäteilyvaikutuksia rajoittavaa palomuuria (paloluokka EI 120), tai maavallia. Palomuureja voi olla lähtökohtaisesti kahdella tai kolmella sivulla.*

5.3.3 Metaanivuotojen hallinta ja räjähdysvaaran arviointi

Toiminnanharjoittajan on tehtävä toiminnan luonne, mittakaava ja olosuhteet huomioiden kohteen/laitteiston räjähdysvaaran arviointi ennen käyttöönottoa.

Kun kohteessa arvioidaan olevan räjähdysvaara, toiminnanharjoittajan on laadittava räjähdyssuojausasiakirja. Sen on oltava valmis viimeistään käyttöönottovaiheessa, mutta alustavan räjähdyssuojausasiakirjan tulee olla mukana rakentamislupahakemuksessa. Asiakirjassa tulee olla arvioinnin tulokset, tekniset ja organisatoriset suojaustoimenpiteet sekä räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu.

Räjähdyssuojausasiakirja toimii lähtökohtana tilaluokitukselle ja laitteiden valinnalle tilaluokitelluille alueille.

5.3.4 Paine ja tiiveyskokeet

Ennen käyttöönottoa kaasuputkistolle ja -laitteistoille tehdään paine- ja tiiveyskoe. Painekoe tehdään vedellä, ilmalla tai typellä. Näistä vesi on turvallisin vaihtoehto, jos laitteisto ja olosuhteet sen sallivat. Koepaine on normaalisti 1,43 kertaa käyttöpaine. Kaasupainekokeessa on kiinnitettävä erityistä huomiota henkilöturvallisuuteen. Tiiveys- ja toimintakoe tehdään biokaasulla käyttöönotossa. Tiiveyskokeessa on oltava mukana kaikki kaasuputkistoon kuuluvat osat ja varusteet.

Toiminnanharjoittaja huolehtii siitä, että maakaasuasetuksen 551/2009 mukaisen rakentamis- ja/tai varastointiluvan vaativa kaasuputkisto ja -laitteet tarkastetaan ennen käyttöönottoa. Käyttöönottotarkastukseen kuuluu putkiston sijoituksen, rakenteen ja käyttövalmiuden tarkastaminen.

Tiiveyttä tulee seurata säännöllisesti käytön aikana.

5.3.5 Kaasunilmaisimet ja henkilökohtaiset suojaimet

Biokaasulaitoksessa syntyy prosessin eri vaiheissa erilaisia kaasuja, joiden riskit tulee hallita. Samassa tilassa voi esiintyä eri kaasuja eri korkeuksissa, kaasujen tiheydestä riippuen.

Kaasujen havaitsemiseen ja vaikutuksiin voidaan varautua teknisillä ratkaisuilla. Käytettävissä on kiinteästi asennettavia ja mukana kannettavia kaasunilmaisimia. Tyypillisesti kaasunilmaisimet mittaavat rikkivetyä, happea, ammoniakkia ja metaania.

Kiinteä kaasunilmaisin välittää hälytyksen myös valvomoon ja/tai varallaolijalle. Kaasunilmaisimet ohjaavat myös tiloissa olevia ja tilojen ulkopuolella olevia varoitusvaloja ja/tai äänihälytyksiä, ja ne voidaan kytkeä ohjaamaan ilmanvaihdon tehostamista ja prosessin pysäyttämistä. On myös olemassa henkilökohtaisia kaasunilmaisimia, jotka tekevät hälytykset valvomoon ja/tai varallaolijalle.

Työntekijöillä on tärkeää olla henkilökohtaiset kaasunilmaisimet prosessitiloissa liikuttaessa. Kaasunilmaisin hälyttää välittömästi havaittuaan terveydelle vaarallisia kaasuja.

Siiloihin ja säiliöihin mentäessä on seurattava hapen määrää. Ilmaa raskaampana hiilidioksidi syrjäyttää hapen. Henkilökohtaisten kaasunilmaisimien lisäksi happi-/hiilidioksidipitoisuutta voidaan seurata analysaattoreilla esimerkiksi huoltotoimien aikana.

Metaanin osalta kaasunilmaisimiin voidaan kytkeä hälytys ja toimenpiteet seuraavasti:

- *Kun metaanipitoisuus saavuttaa 20 % LEL (metaanin alempi syttymisraja), ilmanvaihtoa tehostetaan.*
- *Kun metaanipitoisuus ylittää 40 % LEL, prosessi pysähtyy, mutta ilmanvaihto jatkuu.*

Henkilökohtaiset kaasunilmaisimet hälyttävät myös muista kaasuvaaroista (esim. rikkivety, hiilimonoksidi, hapen puute).

Tietyissä tehtävissä ja kohteissa on syytä käyttää henkilökohtaisen kaasunilmaisimen lisäksi hengityksensuojainta. Suojaimia käytetään kuitenkin melko harvoissa tilanteissa. Normaalissa toiminnassa laitoksen ilmanvaihto huolehtii riittävästä ja puhtaasta hengitysilmasta. Prosessihäiriöiden aikana voidaan joutua menemään tilaan, jossa altistus terveyshaitoille on mahdollinen. Tällöin käytetään hengityksensuojainta, joksi suositellaan Työterveyslaitoksen *Kiertotalouden työperäiset altistumisriskit* -julkaisussa (2017) esitettyjä ABEK-P3-yhdistelmäsuodattimella varustettua puhallinavusteista hengityksensuojainta (suojausluokka TH3 tai TM3).

5.3.6 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtoon tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tehostetulla ilmanvaihdolla pystytään kaasupitoisuuksia laimentamalla vähentämään räjähdysherkkien ja myrkyllisten kaasujen sekä homeiden aiheuttamia riskejä.

Ilmanvaihdon suunnittelua varten tulee huomioida taulukossa 3 määriteltyjen biokaasujen ja taulukossa 4 olevien kaasujen suhteelliset tiheydet.

Taulukko 4: Kaasujen suhteellisia tiheyksiä ilmanvaihdon suunnittelua varten.

Kaasu	Suhteellinen tiheys
Metaani	0,55
Metaani < -110 °C	>1
Raakabiokaasu (CH_4 < 45 %)	>1
Rikkidioksidi	2,3
Rikkivety	1,2
Hiilimonoksidi	0,97
Hiilidioksidi	1,52

5.3.7 Biologisten riskien hallinta

Biokaasulaitoksissa (laitostyypistä riippuen) voidaan jakaa prosessit likaisiin ja puhtaisiin. Esimerkkejä likaisista vaiheista ovat syötteiden vastaanotto, käsittely ja syöttö reaktoriin. Likaisella puolella on omat työvaatteet, työkalut ja työkoneet, joita ei käytetä puhtaalla puolella. Työntekijät on ohjeistettava niin, etteivät likainen ja puhdas puoli sekoitu.

Syötteiden ja mädätteiden käsittely kannattaa toteuttaa suljetusti aina kun mahdollista. Nestemäiset biomassat voidaan syöttää laitosten prosessiin sellaisenaan suljettuja kanavia pitkin.

Biomassan hygienisointiprosessi poistaa tehokkaasti taudinaiheuttajat.

Myös mädätysprosessi poistaa taudinaiheuttajia, paitsi anaerobisissa olosuhteissa eläviä, terveydelle haitallisia *Clostridium*-suvun bakteereita. Niiden määrät saadaan vähenemään jälkikompostoimalla ja samalla ilmastoimalla mädätettä.

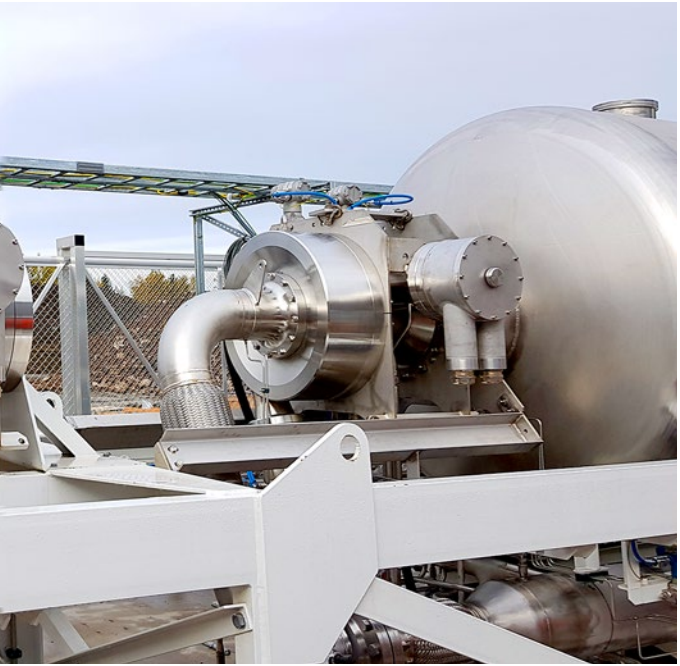
Huoltotöiden aikana voidaan altistua mikrobeille siinä määrin, että on suositeltavaa käyttää hengityksensuojainta (ABEK-P3).

5.3.8 Varautuminen nestemäisen biometaanin (LBG) vaaroihin

Kohteissa, joissa biokaasua nesteytetään tai joissa käsitellään LBG:tä, tulee asentaa tuulipussi, koska höyrystyvä

kaasu kylmänä voi tuulen mukana kulkeutua kauemmaksi kuin normaalilämpötiloissa oleva kaasumainen metaani. Kohteissa tulee olla silmähuuhtelupullo ja hätäsuihku.

LNG-ohjeessa on kuvattu laajemmin nesteytetyn maakaasun riskit sekä turvallisuustoimenpiteet niiden hallintaan. Ohjeessa kuvatut asiat soveltuvat sellaisenaan nesteytettyyn biometaaniin (LBG).



5.3.9 Tilaluokitukset ja sähkölaitteet

Biokaasulaitoksen tilaluokitusta määriteltäessä tulee arvioida metaanin ja muiden räjähdysvaarallisten kaasujen mahdolliset vuototilanteet ja niiden todennäköisyys. Instrumentoinnin ja sähköasennusten tulee olla *ATEX-direktiivin 2014/34/EU*, standardien ja määritellyn tilaluokituksen mukainen. Tilaluokiteltuihin tiloihin sijoitettavista laitteista tulee laatia EX-laiteluettelo.

Suunnittelussa ja tilaluokittelussa voidaan hyödyntää:

- *Tukesin Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus -opasta*
- *Valtioneuvoston asetusta räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta 756/2003*
- *Standardia SFS-EN 60079-10-1 Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 10-1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdysvaaralliset tilat*
- *Standardia SFS-EN 60079-14 Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen*
- *SFS-käsikirjaa 59 Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu: Palavat nesteet ja kaasut*

Maakaasuasetuksessa 551/2009 on säädetty eräiden kohteiden, kuten kaasun tankkausasemien, tilaluokituksesta.

5.3.10 Merkinnät

Biokaasulaitoksen ja sitä operoivan toiminnanharjoittajan yhteystiedot pitää olla selkeästi esillä ja nähtävissä myös ulkopuolisille. Erityisesti laitoksen sijaintitieto pelastuslaitosta varten on oltava esillä, esimerkiksi laitosalueen portin läheisyydessä.

Biokaasulaitoksen osaprosessit merkitään sanallisilla kylteillä. Erityisesti syötteiden vastaanotto on syytä merkitä selkeästi eri tyyppisille syötteille, varsinkin jos laitoksella liikkuu useita ulkopuolisia toimijoita.

Kaikki turvallisuuden kannalta oleelliset laitteet ja venttiilit on merkittävä. Putkistot ja virtaussuunta tulee merkitä niin, ettei sekaantumisvaaraa ole. Biokaasuputkiston merkintänä käytetään keltaista tunnusteippiä, jossa teksti ja virtaussuunnan osoittava nuoli ovat mustalla. Keltainen ja musta ovat myös venttiilien tunnuskilpien värit. Hätätilanteiden toimintaohje tulee olla näkyvällä paikalla, samoin kuin ohjeistus biokaasulaitoksella käytettävistä suojavarusteista. Lisäksi näkyvälle paikalle asennetaan yleinen prosessikaavio turvallisuuteen liittyvien päälaitteiden ja venttiilien sijoituksesta.

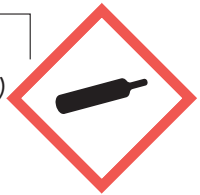
Kielto-, varoitus- ja opastuskylttejä tulee sijoittaa asiaan kuuluviin paikkoihin kohteesta riippuen. Kylttien koon tulee olla riittävä.

Kieltomerkkejä:

- *tupakointi ja avotulen teko kielletty*
- *asiattomilta pääsy kielletty*
- *matkapuhelinten käyttö kielletty*

Varoitusmerkkejä:

- *syttyvä kaasu*
- *paineen alainen kaasu*
- *räjähdysvaara*
- *räjähdysvaarallinen tila (Ex-merkki)*
- *välitön myrkyllisyys (rikkivety)*
- *hengenvaara (sähköpääkeskus)*
- *varo kuumaa/kylmää*
- *varoitus melutasosta*
- *varo putoavaa jäätä*
- *varo roiskeita*



Opastuskyltteja:

- *kokoontumispaikka*
- *palosammutinmerkki*
- *hätä-seis*
- *tankkausohje*
- *kameravalvonta*

Biokaasulaitoksen tilat, laitteet ja putkistot tulee merkitä *valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012* pykälien 58-60 mukaisesti.

6. KUVAUS SÄÄDÖKSISTÄ

Biokaasulaitostoimintaa on säädelty usean lainsäädännön kautta ja siihen liittyy useita valvovia viranomaisia.

Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon on koottu keskeinen lainsäädäntö ja asiaan kuuluvat viranomaiset, koskien biokaasulaitosta tämän ohjeen soveltamisalaan liittyen. Taulukko ei ole kattava, kohteesta riippuen laitokseen voi liittyä muuta lainsäädäntöä ja viranomaisia.

Taulukko 5: Keskeiset biokaasuun liittyvät säädökset ja viranomaiset/tarkastuslaitokset

	Laitoskokonaisuus ja rakennukset	Biokaasun valmistus	Jalostusyksikkö
Maankäyttö- ja rakennuslaki (kaavoitus ja rakennusluvitus)			
Ympäristölainsäädäntö (jäte-, vesi-, ympäristönsuojelulainsäädäntö)			
Kemikaalilainsäädäntö	Pelastuslaitos, Tukes	Pelastuslaitos, Tukes	Pelastuslaitos, Tukes, hyväksytyt tarkastuslaitokset
Maakaasulainsäädäntö			Tukes, hyväksytyt tarkastuslaitokset
VAK-lainsäädäntö			
Sähköturvallisuuslainsäädäntö			
Painelaitelainsäädäntö			Tukes, hyväksytyt tarkastuslaitokset, ilmoitetut laitokset (NoBo)
Mittalaitelainsäädäntö			
Pelastuslaki			

	Kaasuputkisto	Kuljetettavat CBG-kontit	Tankkausasema	Sähkölaitteet	Painelaitteet
Kunta					
ELY-keskus, kunta					
		Tukes			
	Tukes, hyväksytyt tarkastuslaitokset	Tukes, pelastuslaitos, hyväksytyt tarkastuslaitokset	Tukes, hyväksytyt tarkastuslaitokset, ilmoitetut laitokset (NoBo)		
		Traficom, kuljetettavien painelaitteiden tarkastuksiin hyväksytyt tarkastuslaitokset			
				Tukes, pelastuslaitos, valtuutetut tarkastajat ja tarkastuslaitokset	
	Ilmoitetut laitokset (NoBo)	Tukes, hyväksytyt tarkastuslaitokset	Ilmoitetut laitokset (NoBo)		Tukes, hyväksytyt tarkastuslaitokset, ilmoitetut laitokset (NoBo)
			Tukes, mittauslaitelain tarkastuslaitokset		
Pelastuslaitos					

7. LUPA-ASIAT JA VALVONTA

7.1 Reaktorilaitokset

Biokaasun tuotantoa reaktorilaitoksissa koskee *vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta annettu valtioneuvoston asetus 685/2015*. Valmistusta, ja siihen välittömästi liittyvää teknistä käyttöä ja varastoja koskeva lupa kattaa laitoksen omalla alueella olevan reaktorin, kaasuvaraston, puhdistus- ja jalostusyksikön, nesteytysyksikön, paineistusyksikön, pullokonttien täyttämisen ja kattilalaitoksella tapahtuvan kaasun polton. Viranomainen on joko pelastuslaitos tai Tukes vaarallisten kemikaalien määrän perusteella (ks. taulukko 6 eri biokaasulaatujen osalta, muista tapauksista löytyy lisätietoa Tukesin ohjeesta *Säädösten soveltaminen biokaasuun*).

Mukaan lasketaan kaikki laitoksen vaaralliset kemikaalit, ei vain biokaasu. Biometaanin osalta huomioidaan vain metaanin määrä, ja raakabiokaasun sekä puhdistetun biokaasun osalta myös muut kaasun sisältämät komponentit (kuten CO_2).

Jalostusyksikön jälkeen sovelletaan *valtioneuvoston asetusta maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009 (maakaasuasetus)* ja lupaviranomaisena toimii Tukes.

Valtioneuvoston asetusta vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012 sovelletaan muun muassa biokaasun valmistukseen ja siihen välittömästi liittyvään tekniseen käyttöön ja varastointiin.

Taulukko 6: Biokaasulaitosten ilmoitus- ja luparajat

Kemikaali	Ilmoitus Tukesille (t)	Lupa Tukesilta (t)	Toimintaperiaate-asiakirja (t)	Turvallisuusselvitys (t)
Biometaani ($CH_4 \geq 80$ %)	0,2	5	50	200

Kemikaali	Ilmoitus pelastuslaitokselle (t)	Lupa Tukesilta (t)	Toimintaperiaate-asiakirja (t)	Turvallisuusselvitys (t)
Raakabiokaasu ja puhdistettu biokaasu ($CH_4 < 80$ %)	1	5	10	50

7.2 Kaatopaikkalaitokset

Biokaasun talteenottoon kaatopaikalla sovelletaan maakaasuasetusta 551/2009. Asetusta sovelletaan talteenottoputkiston jälkeiseen keräilytukkiin ja siitä lähtevään putkistoon. Lisäksi maakaasuasetusta sovelletaan kaatopaikalla biokaasua polttavaan soihtuun tai kattilaan. Tukes toimii lupa- ja valvontaviranomaisena. Näille putkistoille ja niihin liittyville laitteille sekä käyttökohteille tehdään määräaikaistarkastukset maakaasuasetuksen mukaisesti kahdeksan vuoden välein.

7.3 Biokaasuputkistot laitoksen ulkopuolelle

Biokaasun siirtoa putkistossa laitoksen ulkopuolelle koskee maakaasuasetus. Kyse on tavallisesti jakeluputkiston ja käyttöputkiston yhdistelmästä. Asetusta sovelletaan raakabiokaasuun, puhdistettuun biokaasuun ja biometaaniin. Lupaviranomaisena toimii Tukes.

Biokaasuputkistolle tehdään määräaikaistarkastuksia kahdeksan vuoden välein maakaasuasetuksen mukaisesti.

7.4 Kiinteästi asennettavat kaasusäiliöt

Kiinteästi asennettavat CBG-kaasusäiliöt (esimerkiksi tankkausasemien yhteydessä) tulee valmistaa *painelaitedirektiivin 2014/68/EU* mukaisesti CE-merkittynä. Kiinteästi asennettuja kaasusäiliöitä ei rekisteröidä Tukesin painelaiterekisteriin. Määräaikaistarkastukset tehdään maakaasuasetuksen mukaisesti kahdeksan vuoden välein.

7.5 Kiinteästi asennettavat LBG-säiliöt

Kiinteästi asennettavia LBG-säiliöitä koskee painelaitedirektiivi 2014/68/EU. Niiden määräaikaistarkastukset tehdään *painelaitelain 1144/2016* mukaan. LBG-säiliöille tulee tehdä neljän vuoden välein käyttötarkastukset ja tarvittaessa muutostarkastukset. Toiminnanharjoittaja on ilmoitettava Tukesille LBG:n asiakassäiliön seurannasta. Ilmoitukseen sisältyy seurantaa koskeva sopimus ja seurantasuunnitelma, jotka tehdään toiminnanharjoittajan ja hyväksytyn tarkastuslaitoksen välille.

7.6 Kuljetettavat pullot ja kontit

Biokaasun kuljettamiseen tarkoitettujen pullojen ja konttien osalta noudatetaan vaarallisten aineiden kuljetuksiin sovellettavaa *ADR-sopimusta* (*European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by Road*). Pullot ja kontit tarkastetaan ADR-sopimuksen mukaisin määräajoin. Jos pullokonttiin sisältyy vesitilavuudeltaan yli 450 litran säiliöitä, tulee pullokontti rekisteröidä Tukesin rekisteriin.

ADR-hyväksyttyjä kuljetettavia pullokontteja ei saa käyttää esimerkiksi tankkausaseman kiinteinä pullovarastoina.

7.7 Tarkastukset ennen käyttöönottoa

Biokaasulaitokselle on tehtävä useita tarkastuksia ennen sen käyttöönottoa.

Tyypillisiä tarkastuksia ovat:

- *Rakennusvalvonnan tarkastukset (kunta)*
- *Palotarkastus (pelastuslaitos)*
- *Ympäristövalvonnan tarkastukset (ELY-keskus/kunta)*
- *Ensimmäinen määräaikaistarkastus rekisteröitäville painelaitteille (hyväksytty tarkastuslaitos)*

Laitoksen käyttöönottotarkastuksen tekee kohteesta riippuen pelastuslaitos tai hyväksytty tarkastuslaitos, ja lupalaitoskohteissa Tukes.

Ennen käyttöönottotarkastusta tulee tehdä seuraavat tarkastukset:

- *Painelaitetarkastukset (hyväksytty tarkastuslaitos, ja tarvittaessa ilmoitettu laitos)*
- *Laitekokonaisuudet (ilmoitettu laitos)*
- *Putkiston sijoitus, rakenne ja käyttövalmius (hyväksytty tarkastuslaitos)*
- *Sähkölaitteiden varmennustarkastus (valtuutetut tarkastajat ja tarkastuslaitokset)*

7.8 Käytön aikaiset tarkastukset

Muistilista määräaikaistarkastuksista ja niiden suorittajista:

- *Lupalaitokset 5 vuoden välein (Tukes)*
- *Toimintaperiaateasiakirjalaitokset 3 vuoden välein (Tukes)*
- *Rekisteröitävät painelaitteet (ml. LBG) 4 vuoden välein. Seurantasopimus ja -suunnitelma LBG-laitteille (hyväksytty tarkastuslaitos)*
- *Maakaasuasetuksen mukaiset putkistot ja kohteet 8 vuoden välein (hyväksytty tarkastuslaitos)*
- *Sähkölaitteiston varmennustarkastus 10 vuoden välein (valtuutettu tarkastaja/tarkastuslaitos)*
- *VAK/ADR -määräaikaistarkastukset kuljetettaville kaasupullokonteille; komposiittipulloille 5 vuoden välein, teräspulloille 10 vuoden välein (kuljetettavien painelaitteiden tarkastuksiin hyväksytty tarkastuslaitos)*
- *Mittauslaitteiden määräaikaisvarmennukset kohteesta riippuen 2 ... 3 vuoden välein (mittauslaitelain tarkastuslaitokset)*
- *Ympäristötarkastukset ympäristöluvan mukaisesti (ELY-keskus/kunta)*

Viranomaisilla, kuten paikallisilla pelastuslaitoksella tai kunnilla, voi olla omia käytäntöjä, jotka toimijoiden tulee ottaa huomioon. Samoin syötteisiin ja mädätteen jatkokäsittelyyn liittyvä sääntely ja viranomaisvalvonta tulee ottaa huomioon (ei käsitellä tässä ohjeessa).

7.9 Dokumentointi

Biokaasulaitoksen suunnitteluun, rakentamiseen, käyttöönottoon ja käyttöön liittyy lukuisa määrä erilaisia dokumentteja, joista toiminnanharjoittajan tulee huolehtia. Dokumentoinnin laajuus riippuu toiminnan laajuudesta ja käytettävistä tekniikoista.

Tyypillisiä dokumentteja turvallisuuteen liittyen:

- *Testaus- ja käyttöönottosuunnitelma*
- *Laitoksen- ja osaprosessien turvallisuus- ja toiminta-ohjeet*
- *Toimintaohjeet eri tehtäville ja prosesseille*
- *Käyttö-, kunnossapito- ja huolto-ohjeet*
- *Sisäinen pelastussuunnitelma*
- *Hätätilanteen toimintaohje*
- *Suojainohjeistus*
- *Käyttöturvallisuustiedotteet*
- *Räjähdyssuojausasiakirja*
- *Vaaranarvionti ja poikkeamatarkastelu (esim. HAZID, HAZOP)*
- *Seurausvaikutusten arviointi*
- *Valvontakirja (maakaasuasetuksen alaiset prosessit)*

8. ASENTAMINEN, KÄYTTÖ JA KUNNOSSAPITO

8.1 Kaasuputkiston ja laitteiden asentaminen

Biokaasulaitokseen sisältyy sen kokoonpanosta riippuen erilaisia ja eri lainsäädäntöön sisältyviä kaasuputkistoja ja kaasulaitteistoja. Pääsääntönä on, että asennus tulee tehdä asiantuntevasti, huolellisesti ja ammattitaitoisesti.

Maakaasulainsäädännön piiriin kuuluvan kaasuputkiston ja siihen liitettyjen kaasulaitteiden asentamista saa suorittaa Tukesin hyväksymä asennus- ja huoltoliike (hyväksytty liike). Kohteesta riippuen hyväksytyn liikkeen vastuuhenkilölle tarvitaan joko A_{kaasu}, C_{kaasu} tai P_{kaasu} -pätevyysluokka. Hyväksytystä liikkeestä säädetään *valtioneuvoston asetuksessa maakaasu-, nestekaasu- ja öljylämmityslaitteistojen asennus- ja huoltotoimintaa sekä maanalaisten öljysäiliöiden tarkastusta harjoittavien hyväksymisestä 558/2012.* Muovisia kaasuputkistoja saa asentaa vain Tukesin hyväksymä muovisten kaasuputkistojen asennusliike.

Vaarallisten kemikaalien lainsäädännön piiriin kuuluva putkisto asennetaan painelaitelainsäädännön mukaisesti. Putkistoihin sovelletaan vähintään painelaitesäädösten tarkoittaman luokan I vaatimuksia, vaikka putkistot eivät painelaitesäädösten mukaan kuuluisikaan luokan I vaatimusten piiriin.

8.2 Käyttö, kunnossapito ja henkilökunnan perehdyttäminen

Biokaasulaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta vastaa siihen tarkoitukseen nimetty ja koulutettu henkilökunta. Toiminnanharjoittajan tulee huolehtia henkilökunnan riittävyydestä. Biokaasulaitokselle tehdään kirjallinen huolto- ja kunnossapito-ohjelma.

Biokaasulaitoksella tulee olla täydelliset, ajan tasalla olevat käyttö- ja huolto-ohjeet eri toimintoja varten. Ennakkohuoltosuunnittelu tehdään laitevalmistajien ohjeiden mukaan.

Huolto- ja kunnossapito ohjelmassa määritellään:

- *huolto-, tarkastus- ja kunnossapitotoimet*
- *em. toimien suorittajat*
- *em. toimien suoritusajankohdat (määrävälit) eri laitteille ja komponenteille.*

Toiminnanharjoittaja vastaa laitoksen turvallisuudesta, käytöstä ja määräaikaistarkastusten teettämisestä. Henkilökunta (oma tai huoltosopimuksella ulkoistettu) tulee kouluttaa laitoksen käyttöön, sekä perehdyttää laitoksen käyttö-, huolto- ja turvallisuusohjeisiin. Biokaasulaitokset ovat osan aikaa miehittämättömiä, joten etävalvonta tulee järjestää ja ohjeistaa.

8.3 Vastuuhenkilö

Tietyt kohteet edellyttävät vastuuhenkilön nimeämistä, kuten maakaasun käytön valvoja, painelaitteiden käytön

valvoja ja kemikaalien käytön valvoja, ja sähkölaitteiston käytön johtaja.

8.4 Ulkopuolisten toimijoiden ohjeistaminen

Biokaasulaitoksella toimii ulkopuolisia toimijoita, jotka vastaavat esimerkiksi syötteen tuomisesta, lopputuotteiden poisviennistä, kaasukonttien kuljetuksesta ja kemikaalitäydennyksistä. Ulkopuolisille toimijoille tulee olla logistiset ja muut toimintaohjeet ja heidät tulee perehdyttää heidän tehtäviään koskeviin toimintaohjeisiin. Toimintaa tulee seurata ja järjestää uudelleenkoulutusta tarvittaessa.

9. LISÄTIETOA

Suomen Kaasuyhdistys/Tukes

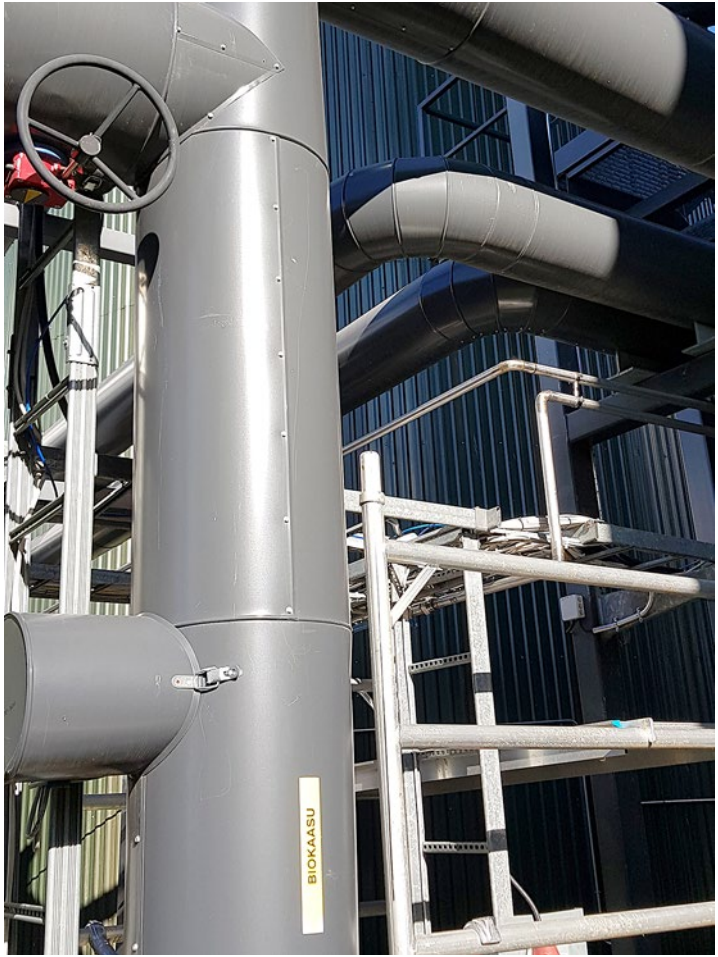
- *Suunnitteluohje maa- ja biokaasun tankkausasemille*
- *LNG-asiakassäiliöt*

Tukes

- *Säädösten soveltaminen biokaasuun*
- *Tuotantolaitosten sijoittaminen*
- *Kiertotalouden turvallisuusriskit*

Työterveyslaitos

- *Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet)*
- *Kiertotalouden työperäiset altistumisriskit*



Suomen Kaasuyhdistys
Finnish Gas Association

www.kaasuyhdistys.fi

tukes
Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

www.tukes.fi