



HABA

Katsaus hajautetusti tuotetun biometaanin nesteytykseen

Kirsikka Kiviranta (VTT), Saija Rasi (Luke) &
Juha Toukola (VTT)

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Sisällysluettelo

1. Johdanto
2. Biometaanin nesteytyksen puhtausvaatimukset
3. Laitteistokatsaus biokaasun jalostuslaitteistoista biometaanin nesteytystä varten
4. Biometaanin nesteytys pienessä mittakaavassa
5. Tutkimus- ja kehityshankkeet pienen mittakaavan biometaanin nesteytykselle
6. Yhteenveto

Kestävä kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

1. Johdanto

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Johdanto (1/2)

- Nesteytetyn biometaanin markkinat ovat lupaavat, sillä kysyntä uusiutuville polttoaineille on kasvussa
- Nesteytetyn biometaanin suurin etu liittyy sen kuljettamiseen ja varastointiin erityisesti alueilla, joilla ei ole maakaasuputkistoja
 - Nesteytettynä siirretty ja varastoitu biometaani voidaan käyttää joustavasti joko nestemäisenä tai kaasuna riippuen loppukäyttökohteesta
- Nesteytettynä biometaanin varastointi ja kuljetus tarvitsee energiamäärään suhteutettuna huomattavasti pienemmän tilavuuden kaasumaisessa olomuodossa olevaan biometaanin verrattuna
 - Korkeampi energiatiheys mahdollistaa biometaanin jakelun laajemmalle alueelle, mikä puolestaan laajentaa biometaanin markkinoita
- Biometaanin nesteytyksen avulla biometaanin markkinat laajentuvat raskaaseen maantieliikenteeseen, laivaliikenteeseen ja teollisuuteen
 - Maatiloilla nesteytettyä biometaania voi tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi traktoreiden polttoaineena tai kuivauksessa polttoöljyn sijaan

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Johdanto (2/2)

- Tämän selvityksen tarkoituksena on
 - a) Tarkastella biometaanin nesteytykseen vaadittavia puhtausvaatimuksia
 - b) Kartoittaa, millaisilla kaupallisilla laitteilla on mahdollista päästä metaanin nesteytykseen vaadittaviin puhtausvaatimukseen
 - c) Pohtia biometaanin pienen mittakaavan nesteytyksen teknistaloudellisia näkökulmia
 - d) Selvittää T&K-hankkeita liittyen biometaanin pienen mittakaavan nesteytykseen

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

2. Biometaanin nesteytyksen puhtausvaatimukset

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biometaanin nesteytyksen puhtausvaatimukset (1/3)

- Biokaasun loppukäyttökohde määrää biokaasun puhdistus- ja jalostusvaatimukset
- Biokaasun **puhdistusprosessissa** raakakaasusta poistetaan haitallisia epäpuhtauksia, jotka voivat vaurioittaa ja häiritä jalostuslaitteiden toimintaa tai aiheuttaa päästöhaittoja ympäristölle [1]
 - Puhdistettavia epäpuhtauksia voivat olla syötteestä riippuen mm. vesihöyry, rikkiyhdisteet kuten rikkivety, ammoniakki, siloksaanit, halogenoidut hiilivedyt ja hiukkaset
- Biokaasun **jalostuksessa** kasvatetaan biokaasun energiasisältöä ja vähennetään biokaasun varastoinnin ja kuljetuksen tilantarvetta poistamalla biokaasusta inerttejä kaasuja (hiilidioksidi ja typpikaasu) [1]
 - Hiilidioksidin poisto on myös tärkeää ennen biometaanin nesteytystä, koska hiilidioksidi ja metaani nesteytyvät eri olosuhteissa
- Liikennekäyttöä varten jalostetun biometaanin metaanipitoisuuden tulee olla vähintään **95%** [2]
- Biometaanin puhdistuksen ja jalostuksen jälkeen biokaasu voidaan nesteyttää



Kuva 1. Reitti raakabiokaasusta nestemäiseen biokaasuun.

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Biometaanin nesteytyksen puhtausvaatimukset (2/3)

- Tyypillisin tapa nesteytetyn biometaanin tuotantoon on puhdistaa ja jalostaa biometaanin loppukäyttökohteeseen, kuten liikennekäyttöön, soveltuvaksi perinteisin teknologioin ennen biometaanin nesteytystä
 - Nesteytettävän biometaanin on kuitenkin oltava ultrakuivaa ja hapetonta, ja täten hapen lisäykseen perustuvat rikkidioksidin poistomenetelmät eivät ole suositeltavia, mikäli tuotettu biometaanin halutaan nesteyttää
- Biometaanille on olemassa laatuvaatimuksia, jotka sen tulee täyttää ennen nesteytystä
- Kartoitimme nesteytettävän biometaanin puhtausvaatimuksia kaupallisilta toimittajilta
 - Erään toimittajan laatuvaatimukset nesteytettävälle biometaanille on esitetty Kuvassa 1 [3]
- Mikäli biometaanin jalostusyksikön puhdistuskyky ei ole riittävä biometaanin nesteytysyksikön laatuvaatimuksia varten, nesteytysyksikkö voi sisältää ns. ”polishing” yksikön, jolla biometaanista poistetaan loput epäpuhtaudet ennen nesteytystä

Aine	Pitoisuus
CH ₄	≈ 98%
CO ₂	< 50 ppm
H ₂ O kastepiste	-70C
N ₂ /O ₂	< 1.5%
H ₂ S	< 3.3ppm

Kuva 1. Erään kaupallisen toimittajan ilmoittama puhtausvaatimus biometaanille sen nesteytystä varten [3].

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biometaanin nesteytyksen puhtausvaatimukset (3/3)

- Hiilidioksidin poistamiseen biokaasusta on useita menetelmiä (Kuva 4)
- Yhteistä lähes kaikille menetelmille on, että rikkivety (H_2S) tulee poistaa kaasusta ennen jalostusprosessia
 - Osa biokaasun jalostusmenetelmistä kestää pieniä pitoisuuksia rikkivetyä
- Yleisimmät rikkivedyn poistoon soveltuvat menetelmät ovat adsorptioon tai absorptioon perustuvia menetelmiä
 - Rikkivedyn pitoisuutta voidaan alentaa myös syöttämällä ilmaa (happea) reaktoriin
 - Biokaasua voidaan johtaa myös rautaoksidia tai -hydroksidia sisältävän rakenteen läpi, jolloin rikkivedystä muodostuu rautasulfidia
 - Rautaa voidaan syöttää myös suoraan reaktoriin, mutta silloin mädätejäännöksen lannoitepotentiaali voi heikentyä fosforin sitoutuessa myös rautaan
- Seuraavissa osiossa on käyty läpi biokaasun jalostusteknologioiden mahdollisuuksia tuottaa tarpeeksi puhdasta biometaania nesteytyksen näkökulmasta

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

3. Laitteistokatsaus biokaasun jalostuslaitteistoista biometaanin nesteytystä varten

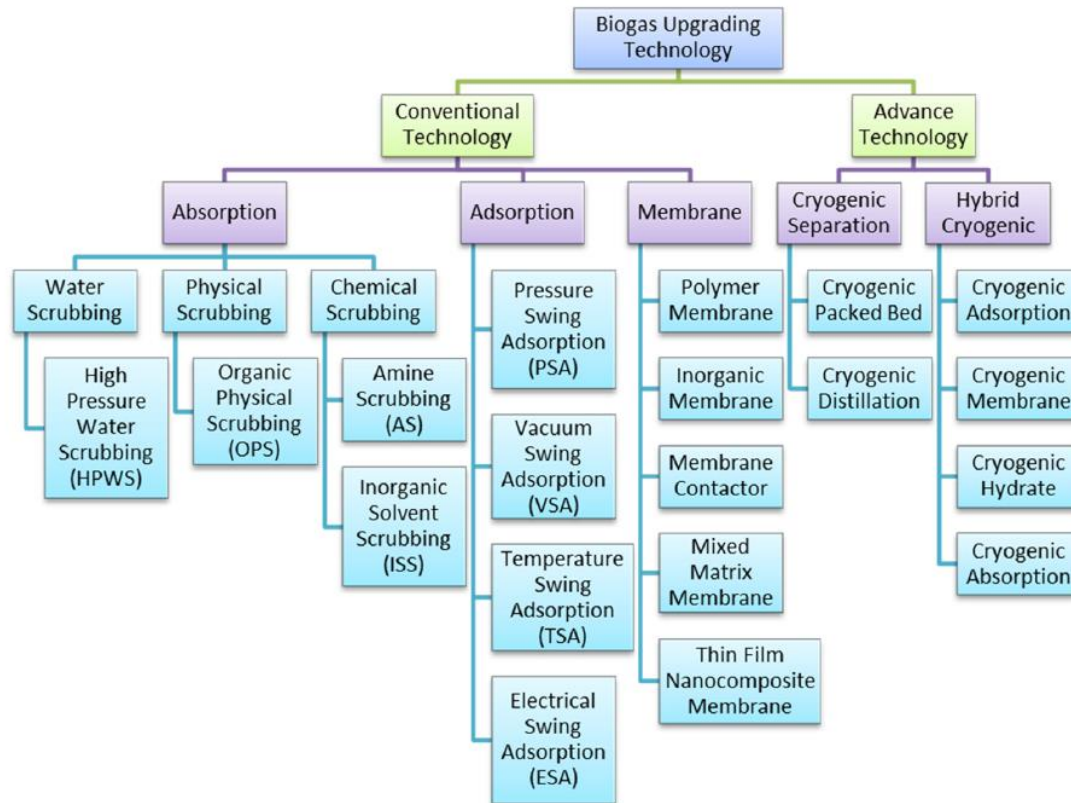
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Hiilidioksidin poistamiseen biokaasusta on useita menetelmiä



Kuva 4. Hiilidioksidin poistamiseen biokaasusta on useita menetelmiä. Lähde [4].

Vesipesu

- Yleisin jalostustekniikka
- Alhainen investointi- ja käyttökustannus verrattuna muihin tekniikoihin
- Vesipesun tehokkuuteen vaikuttavat poistettavan yhdisteen vesiliukoisuus, kaasun virtausnopeus, paine ja lämpötila
- Kirjallisuuden mukaan voidaan saavuttaa jopa **99 %** metaanipitoisuus mutta käytännössä kaasun puhtaus vaihtelee **96-98 %**

Kemiallinen absorptio

- Etuina nopea absorptio, suuri absorptio kapasiteetti ja uudelleen käyttö (regeneration)
- Haasteena korkea energiankulutus
- Yleisimmin käytetään monoetanoliamiinia (MEA) 30% liuoksena (veden kanssa)
 - Korkeamman liuoksen tai puhtaan MEA:n käyttö yleistynyt, mutta edelleen korkea kustannus, ympäristöriskit ja vaikeus kierrättää MEA:aa
 - Olemassa myös kiinteän amiinin prosesseja mutta näitä vielä vähemmän käytössä kuin nesteamiiniprosesseja
 - Useita eri nesteitä olemassa (DEA, MDEA)
 - Ionisia nesteitä (ionic liquids) myös tutkittu, mutta teollinen käyttö haastavaa viskositeettimuutosten vuoksi prosessin aikana
- MEA tehokkain; metaanipitoisuus jopa **>99 %**, keskimäärin **96-98 %**

- Adsorptiossa kaasusta poistettavat yhdisteet ovat selektiivisiä adsorbenttimateriaalin kanssa kun metaani pääsee materiaalin läpi
- Adsorbenttimateriaalista riippuen voidaan poistaa CO₂, H₂S ja kosteus
 - H₂S poisto kuitenkin yleensä ennen jalostusprosessia, jotta pidennetään adsorptiomateriaalin ikää
- Adsorptioprosesseja ovat mm. PSA (pressure swing adsorptio), VSA (vacuum swing adsorption) ja TSA (temperature swing adsorbtion)
- Erityisesti PSA yleistynyt nopeasti ja on yleisin uudemmilla biokaasulaitoksilla
- Etuna alhainen energiankulutus ja pienet päästöt
- Adsorbentin valinta vaikuttaa merkittävästi sekä kustannuksiin että jalostetun kaasun ominaisuuksiin
- Metaanipitoisuus tuotekaasussa **95-99 %**

- Membraaniteknologia on kehittynyt viime aikoina voimakkaasti
- Jalostus perustuu kaasumolekyylien eri kokoon ja käyttäytymiseen erilaisissa olosuhteissa, jolloin metaani saadaan erotettua muista komponenteista
- Prosessit yleensä pienikokoisia ja investointikustannus kilpailukykyinen
- Membraaneja on olemassa useita erilaisia, mutta kaikissa on sama toimintaperiaate
 - Membraanin toisella puolella voi olla myös nestefaasi (yleisimmin käytetty vettä), mikä tehostaa kaasujen erottumista
- Membraanien tukkeutuminen haasteena
- Aikaisemmin myös metaanihävikit olleet korkeat, menetelmäkehitys vähentänyt päästöjä
- Metaanipitoisuus tuotekaasussa **96-98 %**
 - Tuotetun metaanin puhtausastetta saadaan nostettua kierrättämällä kaasua uudelleen membraanien läpi, mikä nostaa myös käsittelykustannuksia

Kryogeeninen puhdistus (ja nesteytys)

Lähteet: [4], [5], [6], [7], [8], [9]

- Kryogeenisen jalostuslaitteiston toiminta perustuu kaasujen erilaiseen käyttäytymiseen eri olosuhteissa (korkea paine ja erittäin alhainen lämpötila)
- Kaasukomponenttien erottamisen lisäksi tällä tekniikalla voidaan sekä hiilidioksidi ja metaani nesteyttää saman aikaisesti
 - Anti-sublimation based technology: hiilidioksidi muutetaan suoraan kiinteään muotoon ja metaani nesteytetään
 - Cryogenic distillation process: molemmat kaasut erotetaan ja nesteytetään
- Kryogeenitekniikkaa ei kuitenkaan käytetä yleisesti sen korkeiden energiankulutusvaatimusten ja siten operointikustannusten vuoksi
- Muita haasteita ovat:
 - Korkea investointikustannus (vs pienet biokaasulaitokset)
 - Jäätymisongelmat yleisiä
 - Biokaasun vaihteleva pitoisuus haaste prosessiolosuhteiden optimoinnille
- Tuotetun metaanin puhtaus on jopa **99.9 %**, myös **97-98 %** raportoitu

Kryogeeninen puhdistus (ja nesteytys)

Lähteet: [4], [5], [6], [7], [8], [9]

- Kryogeenisen jalostuslaitteiston toiminta perustuu kaasujen erilaiseen käyttäytymiseen eri olosuhteissa (korkea paine ja erittäin alhainen lämpötila)
- Kaasukomponenttien erottamisen lisäksi tällä tekniikalla voidaan sekä hiilidioksidi ja metaani nesteyttää saman aikaisesti
 - Anti-sublimation based technology: hiilidioksidi muutetaan suoraan kiinteään muotoon ja metaani nesteytetään
 - Cryogenic distillation process: molemmat kaasut erotetaan ja nesteytetään
- Kryogeenitekniikkaa ei kuitenkaan käytetä yleisesti sen korkeiden energiankulutusvaatimusten ja siten operointikustannusten vuoksi
- Muita haasteita ovat:
 - Korkea investointikustannus (vs pienet biokaasulaitokset)
 - Jäätymisongelmat yleisiä
 - Biokaasun vaihteleva pitoisuus haaste prosessiolosuhteiden optimoinnille
- Tuotetun metaanin puhtaus on jopa **99.9 %**, myös **97-98 %** raportoitu

Yhteenveto biokaasun jalostuslaitteistoista biometaanin nesteytystä varten

- Kaikilla markkinoilla olevilla jalostustekniikoilla voidaan periaatteessa päästä biometaanin nesteytyksen vaatimiin laatuvaatimuksiin nesteytettävän kaasun metaanipitoisuuden osalta
 - Kaikissa tekniikoissa huomioitava lopputuotteen puhtausvaatimus prosessointiparametreja valittaessa
- Puhtausvaatimuksen nosto vaikuttaa operointikustannuksiin, joita tässä ei käsitelty tarkemmin
 - Näistä myös vähän tietoa kirjallisuudessa, sillä yleensä pyritään ”tarpeeksi hyvään tuotteeseen” mahdollisimman kustannustehokkaasti
- Mikäli biometaanin puhtaustaso ei ole soveltuva nesteytystä varten, nesteytysyksiköissä voi olla mukana oma puhdistusosio ”polishing unit”, jolla biometaani puhdistetaan nesteytykseen kelpaavaksi
- Operointiparametreja valittaessa tulee huomioida myös mahdolliset vaikutukset metaanihävikkiin (poistokaasun metaanipitoisuuteen)
- Biokaasuprosessissa syötteen mukana voi kaasuun päästä myös ilmaa, mutta hyvin pieniä määriä
 - Tästä happi yleensä kuluu prosessissa
 - Jos tavoitteena on jalostaa metaani nesteytettäväksi, ei hapen käyttöä rikkivedyn esipuhdistuksena suositella

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

4. Biometaanin nesteytys pienessä mittakaavassa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biometaanin nesteytyksen teknistaloudellisia näkökulmia (1/3)

- Biometaanin nesteytyslaitteiston investointikustannukseen vaikuttaa merkittävästi se, sisältyykö laitteeseen oma biokaasun puhdistus- ja jalostusyksikkö
- Käytännössä biometaanin nesteyttämistä tavoiteltaessa on kyse kustannusten jaosta jalostusyksikön ja nesteytysyksikön välillä
- Jos jalostusyksikkö on toteutettu yksittäisellä tekniikalla, joka pystyy suoraan saavuttamaan nesteyttämisen puhtausvaatimukset, tai jos jalostusyksikkö on monivaiheinen ja sen ansiosta pystyy riittävään puhtaustasoon, ei nesteytysyksikössä tarvita puhdistusosiota laisinkaan
- Kokonaan uutta biometaanin nesteyttämiseen tähtäävää laitospokonaisuutta suunniteltaessa ei ole suurta merkitystä sillä, missä yksikössä lopullinen biokaasun puhdistus ja jalostus nesteytyskelpoiseksi tapahtuu, kun yksiköt hankitaan samanaikaisesti ja niiden yhteensopivuus voidaan varmentaa
- Jos olemassa olevan jalostusyksikön perään halutaan investoida nesteytyslaitteisto, todennäköisesti tarvitaan kalliimpi puhdistusosion sisältävä laitteisto, jotta voidaan varmistua kaasun puhtausvaatimusten täyttymisestä

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Biometaanin nesteytyksen teknistaloudellisia näkökulmia (2/3)

- Tämän selvityksenä yhtenä tavoitteena oli arvioida biometaanin nesteytyksen taloudellista kannattavuutta pienen mittakaavan biokaasulaitoksella mahdollistaen nesteytetyn biometaanin hajautetun tuotannon
 - Pienellä mittakaavalla viitataan tässä yhteydessä maatilakokoluokan biokaasuntuotantoon, joka tarkoittaa noin 5-45 Nm³/h raakabiokaasun tuotantoa, keskimääräisen laitoksen ollessa noin 14 Nm³/h raakabiokaasua [10]
 - Kun biokaasun metaanipitoisuus on 60%, metaanin tuotanto maatilakokoluokassa on noin **3-27 Nm³/h**, yksittäisen maatilakokoluokan laitoksen keskimääräisen tuotannon ollessa **8 Nm³/h** metaania
- Kartoitimme pienen mittakaavan biometaanin nesteytyslaitteistoja kontaktoimalla laitteistovalmistajia
- Käsittelykapasiteetiltaan matalimman kaupallisesti saatavilla olevan biometaanin nesteytyslaitteiston minimituotantoraja oli **1 t** nesteytettyä biometania päivässä [3], vastaten noin **60 Nm³/h** metaanin tuotantoa, tarkoittaen, että laitteisto on liian suuri maatilakokoluokkaan
- Myös Ojalan tekemässä selvityksessä [11] on todettu, että markkinoilla kaupallisesti saatavilla olevien biometaanin nesteytyslaitteistojen minimituotantoraja (**70 Nm³/h**) on liian korkea maatilakokoluokkaan

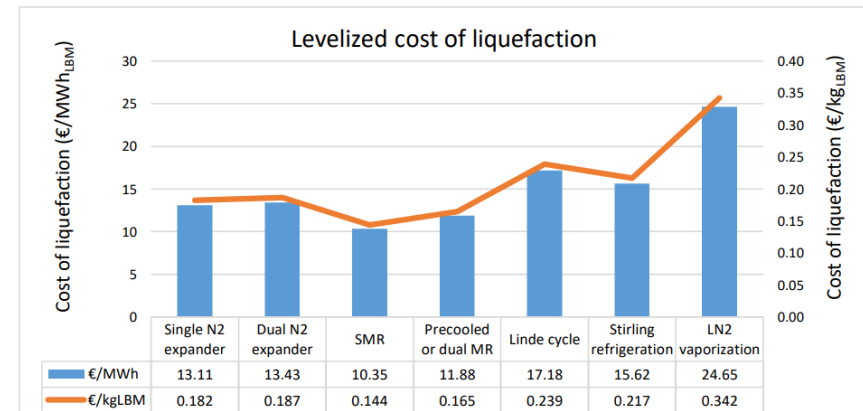
Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Biometaanin nesteytyksen teknistaloudellisia näkökulmia (3/3)

- Spoof-Tuomi [12] on kartoittanut biometaanin nesteytyslaitteistoja ja laskenut biometaanin nesteytyksen teknistaloudellista kannattavuutta laitteistokartoitukseen perustuen selvityksessään “*Techno-economic analysis of biomethane liquefaction processes*”
 - Minimituotantoraja pienimmälle biometaanin nesteytyslaitteistolle selvityksen mukaan oli **1 t** nesteytettyä biometaanina päivässä (n.**60 Nm³/h**), joka on liian suuri laitteisto maatilakokoluokkaan
- Selvityksen teknistaloudelliset analyysit perustuvat kokoluokkaan **5 t** nesteytettyä biometaanina päivässä, joka vastaa kunnallisen biokaasulaitoksen kokoluokkaa
 - Kustannukset on laskettu vain nesteytysyksikölle, eli ne eivät ota huomioon biokaasun puhdistusta- ja jalostusta
- Eri nesteytyslaitteistojen kustannusvertailu on esitetty Kuvassa 6
 - Kustannuksiltaan (€/MWh nesteytetty biometaani) edullisin vaihtoehto selvityksen mukaan on Single Mixed Refrigerant (SMR) –prosessi, jossa käytetään yhtä kylmäainetta jäähdytysprosessissa



Kuva 6. Biometaanin nesteytyslaitteistojen kustannusvertailu 5 t/d kokoluokassa. Lähde: [12]

Biometaanin nesteytys pienessä mittakaavassa

- Koska pienempiin kokoluokkiin, tässä yhteydessä maatilakokoluokkaan, sopivia biometaanin nesteytyslaitteistoja ei vielä ole saatavilla kaupallisesti, tarvittavia teknistaloudellisia laitteistokatsaukseen perustuvia laskentaparametreja, kuten laitteiston kustannusdataa, energiankulutusta tai kylmäaineiden kulutusta ei ole saatavilla
- Tämän vuoksi selvityksessä keskitytään tarkastelemaan Suomessa toteutettavia tutkimus- ja kehityshankkeita, jotka liittyvät maatilakokoluokan biometaanin nesteytykseen, taloudellisten laskelmien sijasta

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

5. Tutkimus- ja kehityshankkeet pienen mittakaavan biometaanin nesteytykselle

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

HABITUS-hanke (1/2)

- Centria-ammattikorkeakoulu on kehittänyt maatilakäyttöön soveltuvaa biometaanin nesteytyslaitteistoa EAKR-rahoitteisessa [Hajautettu biokaasun tuotanto ja nesteytys Suomessa \(HABITUS\) -hankekokonaisuudessa](#) (1/2020-6/2023)
- Laitteisto on suunniteltu biokaasulaitoksille, jotka tuottavat noin 10-25 Nm³ raakabiokaasua tunnissa
 - Tämä vastaa tyypillistä suomalaista maatilakokoluokkaa
- Laitteisto voi tuottaa noin 15 m³ nesteytettyä biometaania tunnissa
- Nesteytettävän biometaanin puhtausvaatimukset täytyvät olla sopivia sen loppukäyttöä varten ennen nesteytystä, sillä nesteytyslaitteisto ei puhdistaa biometaanista epäpuhtauksia tai erota siitä hiilidioksidia
- Nesteytyslaitteisto perustuu kryogeeniseen jalostukseen: syötetty biometaanijäähdytetään nestemäisellä tyypellä niin alhaiseen lämpötilaan, että metaani nesteytyy (-161 °C)
 - Prosessin säätelyllä varmistetaan, ettei metaani jäädy kiinteäksi
- Laitteiston kylmäaineena käytetty nestemäinen typpi hankintaan ostokaasuna



Kuva 6. Biokaasun nesteytyslaitteisto.
Lähde: Centria AMK

HABITUS-hanke (2/2)

- HABITUS-hankkeen biometaanin nesteytyslaitteistolla on toteutettu pilotointeja, joilla varmennettiin laitteiston toiminta ja selvitettiin sen prosessihyötysuhde
 - Valituilla paine- ja lämpötilatasoilla nestemäisen typen kulutus oli 3.2 kiloa yhtä nesteytettyä metaanikiloa kohden
- Laitteisto toimii sen peruseriaatteiden mukaisesti ja sen jatkokehitys keskittyy muun muassa laitteiston prosessioptimointiin
- HABITUS-hankkeessa tehtyjen talousarvioiden perusteella biometaanin nesteytys hankkeessa kehitetyllä nesteytyslaitteistolla voisi soveltua osuuskuntamalliin
- Biometaanin nesteytyksen osalta typen ostohinta on suurin yksittäinen kustannustekijä, ja täten osuuskuntamallin ajurina toimii etenkin nesteytykseen tarvittavan typen hinta
 - Typen ostohinnan lisäksi osuuskunta saa skaalaetuja nesteytetyn biometaanin markkinointiin ja myyntiin liittyen
- Osuuskuntamallissa olisi osana useampi maatila, joissa biokaasun tuotanto ja jalostus tapahtuu:
 - Osuuskunta ostaa jalostamattoman biokaasun, ja jalostaa sen omistamallaan puhdistus- ja nesteytyslaitteistoillaan, jotka sijaitsevat hajautetusti mautiloilla
 - Nesteytykseen vaadittava typpi ostetaan keskitetysti ja jaetaan tiloille
 - Nesteytetty biometaani kerätään mautiloilta ja kuljetetaan keskitettyyn jakelupisteeseen toimitettavaksi asiakkaille



6. Yhteenveto

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Yhteenveto

- Hajautetusti tuotetun biometaanin nesteytys esimerkiksi maataloilla voi laajentaa biometaanin markkinoita ja täten parantaa hajautetusti tuotetun biometaanin kannattavuutta
- Biometaanille on olemassa laatuvaatimuksia, jotka sen tulee täyttää ennen nesteytystä
- Toteutimme kartoituksen teknologioista, joilla kyseisiin laatuvaatimukseen voi päästä
- Kartoitimme myös kaupallisia laitteita, joilla biometaania voitaisiin nesteyttää pienessä kokoluokassa
 - Kaupallisia laitteita biometaanin nesteytykseen valitussa kokoluokassa (maatilakokoluokka) ei ole saatavilla
- Centria-ammattikorkeakoulun HABITUS-hankkeessa on kehitetty maatilakokoluokkaan soveltuvaa biometaanin nesteytyslaitteistoa

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Lähdeluettelo

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Lähdeluettelo

- [1] Kylmänen & Pakarinen, 2015. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [2] Työterveyslaitos, 2023. Metaani. Saatavilla: <https://ova.ttl.fi/metaani>
- [3] Tiedonanto sähköpostin välityksellä. Stirling Cryogenics, 6.6.2023.
- [4] Fajrina et al. 2023. A crucial review on the challenges and recent gas membrane development for biogas upgrading. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343723009740?via%3Dihub>
- [5]: Naquash et al. (2022). State-of-the-art assessment of cryogenic technologies for biogas upgrading: Energy, economic, and environmental perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol 154. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111826>
- [6]: Men et al. (2023). Novel monoethanolamine absorption using ionic liquids as phase splitter for CO2 capture in biogas upgrading: High CH4 purity and low energy consumption. Chemical Engineering Journal. Vol 462. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142296>
- [7]: Karne et al. (2023). A review on biogas upgradation systems. Materials today: Proceedings. Vol 72. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.015>
- [8]: Gomez-Delgado et al. (2023). Biogas upgrading via CO2 removal onto tailor-made highly ultramicroporous adsorbent materials. Journal of the Energy Institute. Vol 109. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2023.101296>
- [9]: Gkotsis et al. (2023). Biogas upgrading technologies – Recent advances in membrane-based processes. Vol 48. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.228>
- [10] University of Eastern Finland, 2017. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 20. Saatavilla: <https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2019/06/Biokaasulaitosrekisteri-2016.pdf>
- [11] Ojala, Matti, 2023. Tuotettavuusselvitys biokaasun jalostamisesta nestemäisellä tyypellä. Habitus-hanke, raportti. Centria-ammattikorkeakoulu.
- [12] Spoof-Tuomi, 2021. Techno-economic analysis of biomethane liquefaction processes. Saatavilla: https://www.uwasa.fi/sites/default/files/2021-05/WP1%20Techno_economic%20analysis%20of%20biomethane%20liquefaction%20processes_revised_0.pdf
- [13] Keskustelu hankkeen edustajien M. Ojalan ja S. Mäenpään kanssa.

Vinuvoima
EU:lta
2014–2020

Vastavaikuttaa kasvua ja työtä-ohjelma



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto