

Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 60/2018

Biokaasulaitoksen hankinta ja tarjouspyyntö

Ville Pyykkönen, Saija Rasi ja Elina Virkkunen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2018

Biokaasulaitoksen hankinta ja tarjouspyyntö

Biokaasuliiketoimintaa ja -verkostoja Keski-Suomeen (BiKa-hanke)
Hankkeen selvityksiä 1/2

Ville Pyykkönen, Saija Rasi ja Elina Virkkunen



Pyykkönen, V., Rasi, S. ja Virkkunen, E. Biokaasulaitoksen hankinta ja tarjouspyyntö. Biokaasuliiketoimintaa ja -verkostoja Keski-Suomeen (BiKa-hanke) Hankkeen selvityksiä 1/2. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 42 s.

ISBN 978-952-326-665-0 (Painettu)

ISBN 978-952-326-666-7 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-666-7>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Ville Pyykkönen, Saija Rasi ja Elina Virkkunen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2018

Julkaisuvuosi: 2018

Kannen kuva: Ville Pyykkönen

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy (JuvenesPrint), <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Ville Pyykkönen¹⁾, Saija Rasi¹⁾ ja Elina Virkkunen²⁾

¹⁾Luonnonvarakeskus Survontie 9, 40500 Jyväskylä

²⁾Luonnonvarakeskus, Kirkkoahontie 115 D, 87910 Linnantaus

Tämän raportin tavoitteena on tuoda esimerkkien avulla esille biokaasulaitoksen hankinnassa ja tarjouspyynnössä huomioitavia asioita. Ennen laitoksen hankintaa tulee suunnitella huolellisesti kustannukset ja rahoitus, resurssit ja asiantuntemus, omistussuhteet, laitoksen koko, syötteen, reaktori-tyyppi, energian käyttökohteet, mädätysjäätännöksen hyödyntäminen, huollot, logistiikka, luvitus, vaakuutukset sekä projektin dokumentointi.

Kannattavuuden edellytyksenä on usein tarpeeksi suuri laitostekoko. Saksassa v. 2011 sähkötehol-taan 100 kW_{el} sähköä ja lämpöä yhteistuottavan eli CHP-biokaasulaitoksen investointihinta on keski-määrin 4 000 €/kW_{el} ja 1 100 kW_{el} laitoksen 2 600 €/kW_{el}. Sama mittakaavaetu pätee myös kaasun hyödyntämislaitteiden tehokohtaisiin investointihintoihin ja käyttökustannuksiin.

Laitoksen kannattavuuden kannalta oleellista on myös käyttökustannusten hallinta. Weak point -analyysin avulla voidaan selvittää laitoksen elinkaaren heikot kohdat. Erityistä huomiota kannattaa kiinnittää biokaasun hyödyntämislaitteisiin (CHP-yksikkö, lämpökattila, liikennebiokaasun jalostuslait-teisto). Esimerkiksi saksalaisissa CHP-biokaasulaitoksissa 46 % prosessihäiriöistä aiheuttaa CHP-yksikkö.

Raportissa on esitetty kolme erityyppistä tarjouspyyntöä, joissa kilpailutuksen perusteena ovat:

1. Halvin hinta, jossa vähimmäisvaatimukset täyttävistä tarjouksista valitaan edullisin
2. Edullisimmat kustannukset (elinkaarikustannukset)
3. Paras hinta-laatusuhde, jossa hinnan lisäksi perusteena

Halvimpaan hintaan perustuvassa tarjouspyynnössä voi olla kannattavaa esittää suhteellisen tarkat vähimmäisvaatimukset, jotta tarjoukset olisivat vertailukelpoisia. Kaikissa tarjouspyynnöissä kannat-taa ottaa kilpailutukseen mukaan myös huoltosopimuksen hinta sellaisille laitteille, joiden takuu edel-lyttää huoltosopimusta sertifioidun huoltajan kanssa (CHP-yksikkö, jalostuslaitteisto).

Asiasanat:

Biokaasulaitos, hankinta, tarjouspyyntö, kannattavuus

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Biokaasulaitoksen hankinnan tarkistuslista	6
3. Biokaasulaitoksen hankinnassa huomioitavia asioita	7
3.1. Syötteen ja niiden esikäsittely	7
3.2. Reaktorin tyyppi, viipymä ja orgaaninen kuormitus	8
3.3. Sekoittimet ja pumput	9
3.4. Reaktorin lämmitys ja eristeet	10
3.5. Kaasuvaraston koko	11
3.6. Lämmön sekä lämmön ja sähkön yhteistuotanto (CHP)	11
3.7. Biokaasun puhdistus	13
3.8. Biokaasun jalostuslaitteisto (liikennepolttoaineen tuotanto)	13
4. Kannattavuuslaskelma ja herkkyyshanalyysi	15
5. Kannattavuuden edellytykset	18
5.1. Kokoluokan vaikutus kannattavuuteen	18
5.2. CHP-biokaasulaitosten investointihinta	18
5.3. CHP-yksikön investointihinta	19
5.4. Jalostusyksikön investointihinta	21
5.5. Käyttökustannusten hallinta ja weak point -analyysi	21
5.6. CHP-biokaasulaitosten käyttökustannukset ja käyttöiät	23
5.7. Biometaanin jalostuskustannus (liikennebiokaasu).....	24
6. Tarjouspyyntö ja kilpailutus	26
6.1. Halvin hinta ja vähimmäisvaatimukset	26
6.2. Edullisimmat kustannukset	30
6.3. Paras hinta-laatusuhde	30

Viitteet

Liitteet

1. Johdanto

Biokaasuntuotanto herättää kiinnostusta maataloilla, sillä se mahdollistaa sekä jätteiden ja sivuvirtojen käsittelyn että energia- ja ravinnetalouden omavaraisuuden parantamisen. Maatilamittakaavan biokaasulaitoksia on Suomessa vielä verraten vähän, 15 kappaletta vuonna 2017 (Huttunen & Kuittinen 2018). Koska prosessointivaihtoehtoja on useita, biokaasulaitoksen hankinta voi maataloilla tuntua haasteelliselta. Hankintaan vaikuttavat sekä prosessoitavan raaka-aineen laatu että lopputuotteiden hyötykäyttömahdollisuudet. Tämän raportti tuo esimerkkien avulla esille biokaasulaitoksen hankinnassa ja tarjouspyynnössä huomioitavia asioita.

2. Biokaasulaitoksen hankinnan tarkistuslista

Biokaasulaitosinvestointi on monivaiheinen projekti, joka kannattaa suunnitella hyvin. Oheinen tarkistuslista auttaa jäsentämään huomioitavat asiat liiketoimintasuunnitelman laatimisessa.

1. Miksi biokaasulaitos perustetaan?
2. Laitoksen koko
3. Laitoksen yhtiömuoto ja omistajuus
4. Kaasun käyttötarkoitus
 - Tuotetaanko lämpöä, sähköä ja/vai liikennekaasua?
 - Vaihtoehtoisen energian hinta (ostosähkö, hake/öljylämmitys, liikennepolttoaine)
 - Myydäänkö energiaa? Sopimukset käyttäjien kanssa
5. Käytettävät syötteen
6. Käsittelyjäännöksen käyttökohteet
 - Riittävä levitysala
 - Levityskustannukset
 - Myydäänkö jäännöstä?
7. Työvoiman tarve
8. Tarvittavat luvat
 - Maatilalaitoksessa riittävät usein ympäristölupa ja rakennuslupa (Liite 1)
9. Laitoksen alustava suunnittelu
 - Valitaan laitostyyppi ja prosessi
 - Reaktorien suunnittelu
 - Suunnitelma syötevarastoista ja mädätysjäännösvarastoista
 - Varastojen koko, sijainti ja rakenne
 - Karttapiirros
10. Yksityiskohtainen kustannuslaskelma ja rahoitussuunnitelma, jotka perustuvat realistisiin oletuksiin
11. Tarjouspyyntö ja kilpailutus (Kappale 6)
12. Vakuutukset
 - Fyysisten vaurioiden ja koneiden toimintahäiriöiden varalle
 - Biokaasulaitoksen toiminnan keskeytymisen varalle
 - Palovakuutus, yleinen vastuuvakuutus, rakennustyövakuutus
13. Biokaasuprojektin dokumentointi

3. Biokaasulaitoksen hankinnassa huomioitavia asioita

3.1. Syötteen ja niiden esikäsittely

Biokaasulaitosta suunniteltaessa kartoitetaan syötteen ja arvioidaan niiden tarvittava määrä. Samalla mietitään, otetaanko laitokseen ulkopuolisia, mahdollisesti porttimaksullisia syötteen. Syötteen vaikuttavat mädätysjäännökseen ja sen käyttöön. Jos laitos ottaa vastaan jätevesilietepohjaisia syötteen, käsittelyjäännökseen eli mädätteen käyttöä koskevat seuraavat asiat, kun jätevesilietteen osuus lannoitteesta on yli 10 % (Evara 2018):

- Lannoitteen haitta-aine- ja raskasmetallipitoisuusrajat eivät saa ylittyä
- Viljelymaan pH oltava vähintään 5,8 (kalkkistabiloidulle lietteelle vähintään 5,5)
- Saa käyttää ainoastaan sellaisella viljelymaalla, jossa kasvatetaan esimerkiksi viljaa, sokerijuurikasta, öljykasveja tai muita sellaisia kasveja, joita ei käytetä ravinnoksi tuoreena, syömällä maanalainen osa tai eläinten rehuksi
- Nurmelle voi käyttää vain perustettaessa nurmi suojaviljan kanssa ja multaamalla liete (ei saa käyttää satovuosina)
- Varoaika käytön lopettamisen jälkeen 5 vuotta, jonka aikana saa viljellä vain edellä mainittuja tuotteita

Käyttökustannusten ennustettavuuden vuoksi laitoksen hankinnassa tulee huomioida syötteen koko käsittelyketju, joka voi olla esimerkiksi nurmisyötteen seuraavanlainen:

- Tuotanto pellolla ja korjuu (itse/tuotanto- tai urakointisopimus)
- Kuljetus varastoon/biokaasulaitokselle
- Varastointi (siilo/paali)
- Murskaus sopivaan palakokoon
- Syöttö reaktoriin (syöttöruuvi/erillinen syöttölaite)

Esikäsittelyt voivat parantaa biokaasuprosessissa heikosti hajoavan lignoselluloosan (energiakasvit, lannat) metaanintuottoa tai nopeuttaa sitä (Bochmann & Montgomery 2013 kirjallisuuskatsaus):

- Fysikaaliset (murskaus/silppuaminen) esikäsittelyt ovat yleisimpiä
- Kemialliset esikäsittelyt: emäkset (NaOH) lisäävät kaasuntuottoa etenkin kuivaprosessissa
- Biologiset esikäsittelyt: esim. entsyymilisyksellä voidaan parantaa hydrolyysinopeutta ja siten lyhentää viipymäaika reaktorissa
- Yhdistelmäesikäsittelyt: esim. höyryräjäytys hajottaa soluseiniä ja voi lisätä eri materiaalien (teurasjäte ja kasvimassat) metaanintuottopotentiaalia 10–67 %, mutta toisaalta se voi tuottaa biokaasuprosessia inhiboivia yhdisteitä

Mekaaninen murskaus ja silppuaminen ovat yleisimpiä kiinteiden syötteen esikäsittelymenetelmiä. Hienonnuksen parantaa materiaalin metaanintuottoa, mutta kuluttaa suhteellisen paljon energiaa. Heinän metaanintuotto voi parantua 10 %, kun 20–30 mm silppu leikataan edelleen 0,5 mm palakokoon. Energiankulutus on esim. veitsimyllyllä lähtökoosta (7–22 mm), tavoitekoosta (0,8–12,5 mm) ja kasvimassasta riippuen 3–40 kWh/tonni. Vasaramyllyllä vastaava energiankulutus on 10–99 kWh/tonni (Kratky & Jirout 2011).

Murskattaessa nurmisäilörehua syöttöruuville sopivaksi traktorikäyttöinen seosrehuvaunu kuluttaa polttoainetta 13 kWh/tonni eli 0,78 €/tonni (10 kWh/litra ja 0,6 €/litra) (Pyykkönen & Luostarinen 2017).

Taloudellisesti optimaalista (kaasuntuotto vs. käsittelykustannus) voi olla murskata kiinteä syöte vain niin pieneksi, että tekninen käsittely on mahdollista. Silloin tavoite on, että syöttöruuvi ja mädätysjäännöksen poistoputki eivät tukkeudu eikä syöte kellu reaktorissa.

Syötteen lämpötilalla on suuri merkitys reaktorin ja mahdollisen hygienisointiyksikön lämpöenergian kulutukseen. Esimerkiksi Luke Maaningan biokaasulaitoksella lietelantasyötteen (10 t/vrk) lämpötila oli vuodessa keskimäärin vain 9,5 °C (Pyykkönen ym. 2013), koska sen viipymä navetan lietekuulussa ja esisäiliössä on pitkä (50–60 vrk). Reaktorin (37 °C) kokonaislämmönkulutus oli 325 kWh/vrk. Jos lietelanta syötettäisiin 20 asteisena reaktoriin, alenisi reaktorin lämpöenergian kulutus noin 35 %.

3.2. Reaktorin tyyppi, viipymä ja orgaaninen kuormitus

Reaktorityypin valintaan vaikuttavat seuraavat syötteen ominaisuudet:

- Kuiva-ainepitoisuus (ka %, TS %, total solids)
- Orgaanisen aineen pitoisuus (VS %, volatile solids, kuiva-aine miinus tuhka)
- Biohajoavuus eli metaanintuottopotentiaali (BMP, biochemical methane potential, normaalikuutio metaania orgaanisen aineen tonnia kohti eli $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t VS}$ eli tilavuus 0 °C lämpötilassa ja 1 ilmakehän paineessa)
- Tiheys (kg/m^3) ja funktionaalinen spesifinen tiheys eli veteen suhteutettu tiheys, joka kertoo, kelluuko syöte reaktorissa (veden tiheys $1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1$)
- Partikkelikoko (ks. 3.1) (Murphy & Thamsiroj 2013).

Reaktorit voivat olla:

- Kuiva- tai märkäreaktoreita (-prosesseja)
- Panosperiaatteella toimivia tai jatkuvasyöttöisiä
- Yksivaiheisia tai monivaiheisia (esim. reaktori + toinen reaktori tai jälkikaasullas sarjassa)
- Yksifaasisia tai monifaasisia (kuivaosa, jota kastellaan kierrätettävällä nesteellä)
- Mesofiilisiä (noin 35–40 °C) tai termofiilisiä (noin 55–60 °C) (Murphy & Thamsiroj 2013). Termofiilinen reaktori tuottaa enemmän ja/tai nopeammin biokaasua, mutta on herkempi mikrobi-prosessin häiriöille (lämpötilan vaihtelut tai korkea typpipitoisuus aiheuttavat helpommin inhibitiota).

Yleisin reaktorityyppi on jatkuvasyöttöinen, täysisekoitteinen reaktori (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor). Kyseessä on märkäprosessi, sillä syötteen ka-pitoisuus on yleensä 2–12 % (Murphy & Thamsiroj 2013). Reaktorin sisältämän lietteen tulee olla ka-pitoisuudeltaan alle 15 %, jotta täysi sekoittuminen voidaan taata (Bachmannin 2013 mukaan Görisch & Helm 2006). Reaktorilietteen ka-pitoisuus on kaasu muodostuksen vuoksi alhaisempi kuin syötteessä, esimerkiksi lietelanta-säilörehusyötteellä noin 30–50 % alhaisempi (Pyykkönen & Luostarinen 2017). Sekoittimen valinta on oleellinen osa reaktorin suunnittelua, esimerkiksi kasvimassan kellumisen estämiseksi on valittava sopiva teho tai sekoitintyyppi (ks. luku 3.3).

CSTR-reaktorissa hydraulinen viipymä (HRT, hydraulic retention time) on sama kuin kiintoaineen viipymä (SRT, solids retention time). HRT lasketaan jakamalla reaktorin nestetilavuus päivittäisen syötteen tilavuudella (yksinkertaisuuden vuoksi nestetilavuus $\text{m}^3/\text{syötemäärä t/vrk}$). Viipymän tulee olla pidempi kuin reaktorissa hajotusprosessiin osallistuvien mikrobien tuplaantumisaika, ettei niitä huuhtoudu mädätysjäännöksen mukana ulos enemmän kuin uusia ehtii syntyä (Murphy & Thamsiroj 2013). Yleensä HRT on vähintään 10 vrk (Bachmann 2013). Maatilsyötteillä (lietelanta ja energiakasvit) viipymä on noin 20–30 vrk.

Etenkin energiakasveja käsiteltäessä oikovirtaus on kasvimassan kellumisen vuoksi mahdollinen. Riittävä hajoaminen ja kaasuntuotto voidaan varmistaa johtamalla reaktorin mädätysjäännös toiseen

reaktoriin tai vähän energiapanoksia vaativaan, lämpöeristettyyn jälkikaasualtaaseen. Toinen vaihe voi tuottaa 12–20 % laitoksen kokonaismetaanimäärästä (Pyykkönen ym. 2013, Thamsiroj & Murphy 2010).

CSTR-reaktorin orgaaninen kuormitus eli päivässä reaktorin lietekuutiota kohti syötettävän orgaanisen aineen määrä on yleensä 1–4 kg VS/m³/vrk (Murphy & Thamsiroj 2013).

Jatkuvasyöttöiset kuivaprosessit ovat yleensä tulppavirtausreaktoreita. Teoriassa toisesta päästä reaktoria syötetty tulppa etenee syötön yhteydessä kohti loppupään mädätysjäännöksen poistopistettä, eivätkä reaktorin eri osien sisällöt sekoitu keskenään. Käytännössä kuitenkin seinämien kitka sekä lämmityksen ja kaasunmuodostuksen aiheuttama konvektiovirtaus sekoittaa eri vaiheita keskenään. Syötettä tai reaktorin eri osioita voidaan myös ympätä reaktorin itsensä tuottamalla mädätysjäännöksellä (Murphy & Thamsiroj 2013). Tulppavirtausreaktorin etu CSTR-reaktoriin verrattuna on korkea kuormitettavuus, sillä kuormitus voi olla jopa 10 kgVS/m³/vrk (Bachmann 2013). Tulppavirtausreaktoreista on kuitenkin vain vähän tieteellistä tutkimustietoa.

Panostoimisia eli kerralla täyteen ladattavia reaktoreita käytetään yleensä ka-pitoisuudeltaan 30–40 %:n syötteiden käsittelyyn (Murphy & Thamsiroj 2013 mukaan Hobson 1990). Alussa kaasuntuotto lähtee käyntiin, kasvaa sitten, saavuttaa huippunsa, alkaa hiipua ja loppuu kokonaan. Kun panoksen metaanintuotanto lopetetaan, reaktoriin jätetään esim. 50 % mädätysjäännöksestä uuden syöte-erän ympiksi, sillä se sisältää valmiiksi sopivaa mikrobistoa.

Yleensä panosreaktorit ovat suotopetireaktoreita. Niissä mikrobipitoista nestettä kerätään reaktorin pohjalta ja suihkutetaan kiinteän syötekanan päälle, josta neste suotautuu uudestaan pohjalle. Etuna muihin reaktorityyppeihin nähden on alhainen sähkön- ja lämmönkulutus, mutta heikkoutena orgaanisen aineen huonompi hajotus ja siis alhaisempi metaanintuotto syötettyä orgaanisen aineen tonnia kohti. Tasaisen ja tasalaatuisen kaasuntuoton saavuttamiseksi voidaan käyttää rinnakkain kahta tai useampaa panosreaktoria, jotka täytetään ja tyhjennetään eri tahtiin (Murphy & Thamsiroj 2013).

3.3. Sekoittimet ja pumput

Sekoittimia tarvitaan lietesyötesäiliön, hygienisointisäiliön, reaktorin, jälkikaasualtaan sekä mahdollisesti mädätysjäännössäiliön sisällön pitämiseen tasalaatuisena. Pumppuja tarvitaan lietteen siirtoon eri vaiheissa. Niitä voidaan käyttää myös reaktorin sekoituksessa (Al-seadi ym. 2008), lämmitysjärjestelmässä reaktorin ulkopuolella tai nesteen kierrätykseen suotopetireaktorissa.

Biokaasuprosessissa sekoitus auttaa mikrobeja pääsemään kosketuksiin syötemateriaalin orgaanisen aineen kanssa ja vapauttaa kaasua reaktorilietteestä. Liiallinen sekoitus voi haitata reaktorissa hyödyllisten granuloiden eli bakteeriryppäiden muodostumista (de Bok ym. 2004) tai estää tarpeellisten metanogeenialueiden muodostumista (Vavilin & Angelidaki 2005). Mikrobiologisesti epävakaa reaktorin voi stabiloida vähentämällä reaktorin sekoitustehoa (Stroot ym. 2001).

Sekoittimien ja pumppujen valinnassa kannattaa huomioida niiden investointihinta, käyttöikä, huollot, soveltuvuus eri viskositeetin ja/tai kuiva-ainepitoisuuden lietteille sekä niiden energiankulutus lietekuutiota kohti. Pumppuja voidaan käyttää märkäprosessiin perustuvissa laitoksissa myös reaktorin sekoitukseen. Reaktorin sekoitukseen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, sillä sen osuus voi olla 50 % tai enemmän koko biokaasulaitoksen sähkönkulutuksesta (Naegele ym. 2012, Pyykkönen & Luostarinen 2013).

Upposekoittimet ovat hinnaltaan halpoja. Ne kuluttavat kuitenkin paljon energiaa, sillä riittävän sekoituksen aikaansaamiseksi potkurien tulee pyöriä nopeasti. Varsisekoittimien (rod mixer, shaft mixer) potkurit ovat suurempia ja ne pyörivät yleensä hitaammin. Ne soveltuvat hieman korkeamman kuiva-ainepitoisuuden omaavien lietteiden sekoitukseen. Lapasekoittimen suuret lavat pyörivät hitaasti ja soveltuvat CSTR-reaktoreiden lisäksi tulppavirtausreaktoreihin ja korkean kuiva-ainepitoisuuden syötteille (Taulukko 1) (Bachmann 2013).

Taulukko 1. Mekaaniset biokaasureaktoreiden sekoittimet (Bachmann 2013).

Tyyppi	Kuvaus	Käyttökohteet
Upposekoitin (potkurisekoitin, submersible mixer)	Nopeasti pyörivä 2- tai 3-teräinen potkuri, joka on asennettu vaakatasoon tai kallistuskulmaan. Sijoituskorkeus on säädettävissä. Nopeus enintään 1500 rpm.	CSTR-reaktorit 40 °C prosessilämpötilaan asti (Eder & Schultz 2006). Voidaan käyttää myös toissijaisena sekoittimena kerrostumien hajottamiseen (esim. kelluva kasvimassa).
Varsisekoitin (rod mixer)	Nopeasti pyörivä, katon tai seinän läpi asennettava potkurisekoitin, moottori sijoitettu reaktorin ulkopuolelle. Nopeus enintään 1000 rpm.	CSTR-reaktorit. Suurilla potkureilla ja alhaisilla kierrosluvuilla soveltuu myös korkeille ka-pitoisuuksille.
Lapasekoitin (paddle mixer)	Hitaasti pyörivä sekoitin, koostuu varresta ja poikittain virtausuuntaan nähden pyörivistä lavoista. Virtausta ei muodostu. Nopeus enintään 20 rpm.	Tulppavirtaus- ja CSTR-reaktorit. Soveltuvat korkean ka- ja kuitupitoisuuden syötteille.

Alhaisen kuiva-ainepitoisuuden lietteitä käsiteltäessä erillinen sekoitus ei ole välttämätön. Karimin ym. (2005) laboratoriotutkimuksen mukaan kuiva-ainepitoisuudeltaan 5 % lehmän lietelannalla syötetyssä reaktorissa sekoitus (teho 8 W/m³) ei lisännyt kaasuntuottoa (sekoittamattomaan reaktoriin verrattuna). Tutkimuksen mukaan laimealla syötteellä ja reaktorilietteellä kaasunmuodostus voi mahdollisesti saada aikaan mikrobeille riittävän sekoituksen. Paksumman lietelannan (ka-pit. 10 ja 15 %) syötöllä eri sekoitustavat lisäsivät biokaasuntuottoa 10–30 %. Sekoittamattomassa reaktorissa mikrobit voivat kerrostua, esim. metanogeenit suosivat reaktorin pohjakerrosta (Kowalczyk ym. 2013).

3.4. Reaktorin lämmitys ja eristeet

Eristeillä vähennetään lämmön johtumista reaktorista ja jälkikaasualtaasta ympäristöön ja siten vähennetään biokaasulaitoksen lämmönkulutusta. Mesofiiliselle reaktorille suositeltu lämmönläpäisykerroin (U-arvo) on 0,3 W/m²K ja termofiiliselle reaktorille 0,2 W/m²K. Näiden arvojen saavuttamiseksi eristeiden paksuus reaktorin ympärille pitäisi olla materiaalista riippuen 10–18 cm (Bachmann 2013). Ohuempiakin eristeitä käytetään. Esimerkiksi Luke Maaningan osittain maan alle sijoitetun biokaasureaktorin eristeenä on 7 cm polyuretaani ja reaktorin seinien, katon ja pohjan U-arvo noin 0,5 W/m²K (Pyykkönen ym. 2013).

Yksinkertaisen laskentamallin (Bachmann 2013) avulla voidaan karkeasti arvioida reaktorin lämpöenergian tarve seuraavasti:

1. Lasketaan syötteiden lämmitykseen (ennen syöttöä reaktoriin tai reaktorissa) tarvittava energia (P) kaavalla 1:

$$P_{\text{syöte}} = RC\Delta T$$

jossa R on syötemäärä (esim. kg/vrk), C on syötteen ominaislämpö (voidaan käyttää esim. veden ominaislämpöä 4,186 kJ/kgK eli 1,16 Wh/kgK) ja ΔT on syötteen ja reaktorin lämpötilan välinen erotus.

2. Lasketaan lämmön johtuminen reaktorin seinien, katon ja pohjan läpi:

$$P_{\text{häviö}} = \Delta T'SU$$

jossa $\Delta T'$ on reaktorin lämpötilan ja ympäristön lämpötilan erotus, S on pinta-ala (m^2) ja U on rakenteen lämmönjohtavuus (W/m^2K).

Laskelmissa käytetään Kelvin-asteita (K), lämpötila Kelvineinä = 273 + lämpötila Celcius-asteina, esimerkiksi mesofiilinen lämpötila $37\text{ °C} = 273 + 37 = 310\text{ K}$.

Laskentaesimerkki maatilalaitokselle, jonka syötteenä on lietelantaa:

- Pystyssä maan pinnalla oleva sylinterin muotoinen reaktori, jonka nestetilavuuden korkeus on 3,3 m ja halkaisija 10,05 m, pinta-ala (A) = 263 m^2 ja tilavuus (V) = 262 m^3
- Paksut eristeet: 0,2 W/m^2K
- Syötteen (lietelanta) lämpötila on vuodessa keskimäärin 9,5 $°C = 282,5\text{ K}$ (Pyykkönen & Luostarinen 2013)
- Ilman lämpötilan vuosikeskiarvo on 4 $°C = 277\text{ K}$
- Maanpinnan lämpötila on 4 $°C = 277\text{ K}$

$P_{\text{syöte}} = RC\Delta T = 10\ 000\text{ kg/vrk} * 1,15\text{ Wh/kgK} * (310\text{ K} - 282,5\text{ K}) = 319\ 000\text{ Wh/vrk} = 319\text{ kWh/vrk}$ ja
 $P_{\text{häviö}} = \Delta T' SU = (310\text{ K} - 277\text{ K}) * 263\text{ m}^2 * 0,2\text{ W/m} = 1735\text{ W} \rightarrow$ vuorokaudessa $1735\text{ W} * 24\text{ h/vrk} / 1000 = 42\text{ kWh/vrk}$, eli kokonaislämmön kulutus on yhteensä 361 kWh/vrk.

Edellä mainittu yksinkertainen laskentamalli ei huomioi seuraavia tekijöitä, joilla on myös jonkin verran vaikutusta:

- Syötteen kuiva-aineen vedestä poikkeava ominaislämpökapasiteetti
- Auringon säteilyn lämmittävä vaikutus
- Mikrobin tuottama (vähäinen) lämpöenergia (esim. Lübken ym. 2007)
- Reaktorin päällä olevan kaasuvälikamion (kaasu+PVC tai muu materiaali) eristävä vaikutus
- Konvektio eli kaasujen ja nesteiden virtaus (liete ja kaasu reaktorissa, tuuli reaktorin ulkopuolella jne.)
- Sekoittimien tuottaman liike-energian ja (upposekoittimen) moottorin hukkalämmön lämmittävä vaikutus

3.5. Kaasuvälikamion koko

Biokaasulaitoksen suunnittelussa on huomioitava, kuinka monen tunnin tai vrk:n kaasun tuotolle tarvitaan varastotilaa. Se on tarpeen tuotannon ja kysynnän vaihteluiden vuoksi sekä kaasun hyödyn-tämislaitteiden häiriöiden ja huoltotöiden aikana. Esimerkiksi Luke Maaningan biokaasulaitoksen kaksoismembraanivarasto ($2 * 250\text{ m}^3$) vastaa noin 1,5–2 vuorokauden kaasuntuottoa (Pyykkönen & Luostarinen 2013). Saksassa CHP -laitoksilla suositus varaston koolle on 5–18 h tuottoa vastaava tilavuus (Bachmann 2013).

3.6. Lämmön sekä lämmön ja sähkön yhteistuotanto (CHP)

CHP-yksikön käyttökustannukset ovat suhteellisen suuret (Luku 5 ja Taulukko 5), joten sen teknisiin yksityiskohtiin, biokaasun epäpuhtauksien poistoon ja huoltoihin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota.

CHP-yksikön hankinnassa huomioitavia asioita:

1. Tyyppi/tekniikka: esim. ottomoottori, dual fuel -moottori (dieselmoottori, joka käyttää kaasun ja dieselin seosta), turbiini.

- Mikroturbiini voi käyttää alhaisen metaanipitoisuuden (35 til.%) kaasua ja ottomootoreilla vaatimus on laitekohtainen.
2. Sähköverkkoon liittymisen edellytykset ja tarvittavat suojaukset
 - Esim. alle 100 kVA laitteiden suojauksissa mikrotuotantolaitoksen vaatimukset (Savon Voima 2017).
 - Tarvitseeko ja onko laitteella valmius saarekekäyttöön (voiko käyttää sähkökatkon aikana tai kokonaan erillään sähköverkosta)?
 3. Tehot, säädettävyys ja hyötysuhteet
 - Teho on mitoitettava tarpeen mukaan, huomioiden mahdollinen tuotannon kasvattaminen.
 - Säädettävyys: yleensä ottomootoreilla säätö on mahdollinen 50–100 % ja esim. puolet käyttötunneista oltava >75 % teholla, muuttuvakierroksisilla moottoreilla säätömahdollisuus 25–100 %.
 - Sähköhyötysuhde kasvaa laitteen koon kasvaessa; esim. 26–42 %, kun sähköhyötysuhde on <50–2 425 kW (Walla & Schneeberger 2008, Darrow ym. 2015).
 - Lämpöhyötysuhde on esim. 40–65 %. Hyötysuhde riippuu lämmönvaihtimien lukumäärästä, teknisistä ratkaisuista ja käyttöveden lämpötilasta (von Mitzlaff 1988, Darrow ym. 2015). Korkea hyötysuhde on tärkeä, jos kaikki lämpö saadaan hyödynnettyä ja/tai lämpöenergian arvo on korkea.
 - Kokonaishyötysuhde = sähköhyötysuhde + lämpöhyötysuhde. Parhaimmillaan kokonaishyötysuhde on biokaasumootoreilla 93 % (TEDOM 2017).
 4. Veden sallitut lämpötilat
 - Lämpöverkosta laitteelle palaavan veden sallittu lämpötila; esim. 40–70 °C (TEDOM 2017). Ko. laitteella ylärajaa kuumempi vesi voi vaatia erilaisen tai ylimääräisen lämmönvaihtimen.
 5. Sallittu metaanipitoisuus laitteelle
 - Metaanipitoisuuteen vaikuttavat syötteen koostumus ja reaktorin kuormitus sekä esim. rikkivedyn poistamiseksi reaktorin kaasutilaan syötetyn ilman määrä (mikrobit käyttävät O₂, mutteivät N₂).
 - Esim. ottomootoreilla CH₄ minimivaatimus on > 50 til.% (TEDOM 2017) tai 55 – 60 til.%, kaasuturbiinilla > 35 % (Beil & Beyrich 2013).
 6. Muiden kaasujen sallitut pitoisuudet (ks. Luku 3.7).
 7. Rikkivedyn poistaminen kaasusta (ks. Luku 3.7).
 8. Automaatiikka
 - Automaattinen tehon säätö, käynnistys ja/tai sammutus. Esim. yöllä oma sähköntarve voi olla alhainen, jolloin on taloudellista ajaa pienellä teholla. Tällöin vältetään myynti verkkoon halvalla hinnalla.
 - Vaatiiko automaattinen käynnistys tietyn metaanipitoisuuden?
 - Miten automaatiikka vaikuttaa hintaan?
 9. Takuu, huolto ja huoltosopimus
 - Takuu yleensä 1–2 vuotta. Ilman takuuta hinta voi olla alhaisempi, mutta riski on tilaajalla.
 - Takuun edellytyksenä voi olla huoltosopimus (sertifioitu huoltaja).
 - Huoltosopimuksen hinnoitteluperiaate (kiinteähintainen, käyntikohtainen, tuntiveloitus, matkakustannukset).
 - Käyttöikä, huoltovälit ja niiden vaikutus kannattavuuteen.
 - Varaosahinnasto tarjouspyynnön yhteydessä (voimassaoloaika). Sopivatko muut kuin laitevalmistajan osat?

3.7. Biokaasun

Lämmöntuotanto sekä lämmön ja sähkön yhteistuotanto vaativat yleensä raakabiokaasun puhdistuksen. Taulukossa 2 on lueteltu epäpuhtauksia, niiden haittoja ja puhdistusmenetelmiä. Yleensä puhdistuksessa poistetaan ainakin vesihöyryä esimerkiksi kondenssivesikaivon avulla. Rikkivetyä (H_2S) poistetaan esimerkiksi lisäämällä reaktorin kaasutilaan tai -varastoon pienellä pumpulla happea, jonka avulla bakteerit muuttavat kaasun rikkivetyä alkuaainerikiksi ja rikkihapoksi (Al Seadi ym. 2008). Ilma soveltuu myös tähän biologiseen H_2S :n poistoon, mutta ilman sisältämä reaktiokyvytön typpi (N_2) alentaa biokaasun metaanipitoisuutta. Ilmasyötön ja aktiivihiilisuodatuksen yhdistämisellä H_2S voidaan poistaa kaasusta kokonaan (Luke Maaningan biokaasulaitos).

CHP-yksikköä varten rikkivetytaso pitää yleensä alentaa vähintään 700 miljoonasosaan eli ppm:iin (Al Seadi ym. 2008). Esimerkiksi lietelannasta tuotetussa raakabiokaasussa H_2S -pitoisuus voi olla 1000–3700 ppm (Bothi 2007).

Taulukko 2. Biokaasun mahdolliset epäpuhtaudet, niiden aiheuttamat ongelmat ja puhdistusmenetelmiä (Lampinen 2015 muokannut Deublein & Steinhauser 2008 ja Wellinger ym. 2013).

Epäpuhtaus	Laitehaittoja	Päästöhaittoja	Puhdistusmenetelmiä
Vesihöyry	Syöpyminen, tukkeutuminen	-	Adsorptio (silikageeli ym.) absorptio (glykoli ym.), jäähdytys (kondensaatio), paineistus
Rikkiyhdisteet	Korroosio	Happamoituminen, myrkyllisyys, haju	Biologinen (O_2 lisäys + mikrobit), absorptio (vesi), adsorptio (rautaoksidi, aktiivihiili), kemiallinen
Halogenoidut hiilivedyt	Korroosio	Happamoituminen, myrkyllisyys	Adsorptio, absorptio, jäähdytys
Ammoniakki	-	Myrkyllisyys, rehevöityminen	Absorptio (vesi), adsorptio
Siloksaanit	Karstoittuminen	-	Fysikaalinen adsorptio (aktiivihiili, silikageeli ym.), kemiallinen adsorptio, jäähdytys, absorptio (vesi, orgaaniset nesteet)
Hiukkaset	Karstoittuminen	-	Absorptio, suodatus, sykroni
Happi	Räjähdyksivaara	-	Adsorptio, kemiallinen

3.8. Biokaasun jalostuslaitteisto (liikennepolttoaineen tuotanto)

Jotta biokaasua voidaan käyttää liikenne- ja työkonneissa, kaasu tulee puhdistaa epäpuhtauksista (ks. Luku 3.7). Lisäksi se jalostetaan biometaaniksi eli sen metaanipitoisuutta nostetaan poistamalla siitä hiilidioksidia. Arkikielessä usein molempia, puhdistusta ja jalostusta, kutsutaan puhdistamiseksi. Esimerkkejä jalostuksen kustannuksista on esitetty luvuissa 5.4 ja 5.7.

Yleisimpiä jalostustekniikoita on vesipesu, amiinipesu, PSA-prosessi, kalvotekniikka (membraanitekniikka) ja kryotekniikka. Jalostustekniikan valintaan vaikuttavat investointikustannuksen lisäksi jalostettavan kaasun ominaisuudet (eli epäpuhtauksien määrä) ja tuotantokapasiteetti. Lisäksi valintaan voi vaikuttaa metaanivuotojen tai -hävikin määrä.

Metaanivuodolla tarkoitetaan jalostuslaitoksesta prosessin aikana karkaavan metaanikaasun määrää. Usein siihen sisällytetään biokaasulaitoksesta, kuten reaktoreista tai varastoinnista ilmaan pääsevä kaasu. **Metaanihävikillä** (methane slip) tarkoitetaan jalostusprosessin läpi päässyttä ja poistokaasusta mitattavaa kaasua.

Tällä hetkellä jalostuksen poistokaasulle ei Suomessa vaadita käsittelyä (Luostarinen 2017). Keski-Euroopassa metaanihävikille on asetettu maksimiarvoja, joiden mukaan hävikki pitää yleensä olla alle 1 %. Saksassa suurin sallittu jalostuksen metaanihävikki v. 2012 alkaen on ollut 0,2 % (Dumont

ym. 2013,). Myös metaanivuotojen määrästä on keskusteltu, sillä Keski-Euroopassa jäännösvaraston kattaminen ei ole tähän mennessä ollut pakollista. Todennäköistä onkin, että ympäristösyistä johtuen metaanivuotojen ja -hävikkien määrään tullaan jatkossa kiinnittämään enemmän huomiota.

Vesipesu on teknologioista ainoa, jossa kaasun esipuhdistusta ei tarvita, vaan se poistaa kaasusta myös rikkivetyä. Korkea rikkivetypitoisuus on laitteiston ylläpidon kannalta hyvä puhdistaa ennen vesipesua. Tekniikka on yleisin Suomessa käytetty ja saatavissa myös pienessä mittakaavassa.

Kemikaalipesusta puhutaan silloin, kun veden sijasta käytetään jotain muuta nestettä, johon poistettavat kaasut liukenevat. Kemikaalipesut ovat yleensä vesipesua tehokkaampia. Niissä käytettävät laitteistot voivat olla pienempiä, mutta kemikaalien käsittelyn vuoksi tekniikka on vesipesua kalliimpaa. Amiinipesussa (yleisimmin kemiallinen absorptio) hiilidioksidi poistetaan kemiallisten reaktioiden kautta. Tavallisimmat käytettävät nesteet ovat amiineja, minkä vuoksi amiinipesu on yleisesti käytetty termi. Amiinipesussa metaanihävikki on kaupallisista teknologioista pienin, mutta koska lämmönkulutus on suuri, teknologia sopii paremmin suurten laitosten yhteyteen.

Toiseksi yleisin tekniikka Suomessa on **PSA-prosessi** (Pressure Swing Adsorption), jossa poistettavat yhdisteet sidotaan adsorptioaineeseen (esimerkiksi aktiivihilli tai zeoliitti). Rikkivety ja kosteus tulee poistaa kaasusta ennen PSA-prosessia. PSA-prosessia on nykyään saatavilla myös pienempään kokoluokkaan.

Kalvosuodatus- eli membraaniteknologia perustuu kaasumolekyylien erottamiseen koon perusteella. Suomessa on käytössä vasta yksi kalvotekniikkaan perustuva laitos, mutta muualla maailmalla tekniikka on yleistynyt nopeasti. Koska metaani- ja hiilidioksidimolekyylit ovat lähes samankokoisia, kierrätetään kaasua kalvojen läpi useamman kerran, jotta saavutetaan toivottu jalostustulos.

Kryotekniikalla saadaan kaasusta erotettua myös tyyppi, jota esiintyy usein kaatopaikkakaasussa. Tekniikka perustuu kaasujen erilaisiin kiehumispisteisiin. Kaasua jäähdyttämällä saadaan metaani nesteytymään ja näin erotettua muista kaasuista. Myös hiilidioksidia voidaan tällä tekniikalla nesteyttää, kun lisätään painetta. Kryotekniikka vaatii muita tekniikoita tarkemman esipuhdistuksen, sillä monet epäpuhtaudet jäätyvät alhaisissa lämpötiloissa aiheuttaen hankaluuksia prosessille. Toisaalta kryotekniikalla saadaan puhtain lopputuote, ja metaani nesteytyy samalla prosessilla. Taulukossa 3 on lueteltu eri jalostustekniikoiden avainparametrit. Jalostuskustannukset suuren kapasiteetin laitteilla on esitetty luvussa 5.7.

Taulukko 3. Biokaasun jalostusteknologioiden avainparametrit. Alkuperäiset lähteet: ks. Beil & Beyrich 2013.

	PSA	Vesipesu	Fysikaalinen absorptio	Kemiallinen absorptio	Membraani	Kryogeeninen
Sähkönkulutus (kWh/Nm ³ biokaasua)	0,16–0,35	0,2–0,3	0,23–0,33	0,06–0,17	0,18–0,35	0,18–0,25
Lämmönkulutus	0	0	0,10–0,15	0,4–0,8	0	0
Prosessilämpötila (°C)	-	-	40–80	106–120	-	-
Operointipaine (bar)	1–10	4–10	4–8	0,05–4	7–20	10–25
Metaanihävikki (%)	1,5–10	0,5–2	1–4	n. 0,1	1–15	0,1–2,0
Metaanin talteenotto (%)	90–98,5	98–99,5	96–99	n. 99,9	85–99	98–99,9
Poistokaasun käsittely suositeltavaa (metaanihävikki > 1 %)	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Rikkivedyn tarkkuuspoisto vaadittu	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Suosittelua	Kyllä
Veden tarve	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Ei
Kemikaalien tarve	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei

4. Kannattavuuslaskelma ja herkkyysanalyysi

Taulukossa 4 on esitetty annuiteettimenetelmällä tehty kannattavuuslaskelma ja herkkyystarkastelut saksalaisesta 250 kW:n sähkötehon (kW_{el}) biokaasulaitoksesta (Hahn 2011). Peruslaskelma on merkitty mustalla fontilla ja herkkyystarkastelussa muutetut arvot punaisella fontilla.

Suomessa 250 kW sähkötehon (kW_{el}) biokaasulaitos voi saada tuotantotukea enintään 13,35 snt/ kWh_{el} (myyntihinta verkkoon, ”syöttötariffi”), joka on alhaisempi kuin tässä laskelmassa käytetty 16,96 snt/ kWh_{el} ja herkkyystarkastelussa käytetty 15,96 snt/ kWh_{el} . Lisäksi energiakasvien tuotantokustannus on Suomessa korkeampi.

Herkkyystarkastelun (taulukon viisi viimeistä saraketta) tarkemmat selitteet (Hahn 2011):

Korkeampi investointikustannus

- 10 % korkeampi investointi vähentää vuosituloja noin 8 000 €

Vähemmän CHP-yksikön täyden kuormituksen tunteja

- 7 000 h/v alhaisempi sähköntuottomäärä perustapauksen 7 800 h/v sijaan

Suurempi osuus ylijäämälämmöstä saadaan hyödynnettyä

- Jos ylijäämälämmöstä saadaan myytyä 50 % hintaan 3 snt/ kWh , tulot lisääntyvät 16 000 €/v

Korkeampi laskentakorkokanta

- Korkokannan nosto 4 %:sta 6 %:iin alentaa tuloja 7 500 €/v

Alennus taattuun syöttötariffiin

- 1 snt/ kWh_{el} alennus (16,96 → 15,96 snt/ kWh_{el}) vähentää tuloja 15 000 €/v

Lisäksi herkkyystarkasteluihin on suositeltavaa ottaa mukaan syötteiden tuotannon ja käsittelyn kustannukset sekä metaanintuoton ja biokaasulaitoksen energiankulutuksen vaihtelut.

Taulukko 4. Annuiteettimenetelmällä tehty kannattavuuslaskelma sekä herkkyystarkastelut (Hahn 2011).

			Perus- tapaus	10 % suurempi invest.	Vähem- män CHP- tunteja	Lämmön suurempi hyödynt.	6 % korko	1 snt alempi tariffi
INVESTOINTI								
Reaktorit			€ 155000	170500	155000	155000	155000	155000
Pumput ja sekoittimet			€ 45000	49500	45000	45000	45000	45000
CHP			€ 140000	154000	140000	140000	140000	140000
Sähköliittymä			€ 20000	22000	20000	20000	20000	20000
Syöttösystemi			€ 40000	44000	40000	40000	40000	40000
Mittaus- ja kontrollointiteknikka			€ 15000	16500	15000	15000	15000	15000
Lämmityssystemi			€ 25000	27500	25000	25000	25000	25000
Syötevarasto			€ 120000	132000	120000	120000	120000	120000
Mädätysjäätännösvarasto			€ 60000	66000	60000	60000	60000	60000
Suunnittelu ja luvat			€ 40000	44000	40000	40000	40000	40000
INVESTOINTI YHTEENSÄ			€ 660000	726000	660000	660000	660000	660000
...per asennettu sähkö-kW (kW _a)			€ 3300	3630	3300	3300	3300	3300
Varat			€ -75000	-75000	-75000	-75000	-75000	-75000
Poistokustannus (pitoajan jälkeen)			€ 30000	30000	30000	30000	30000	30000
UUOITSET KULUT								
Pääoman kustannus		4 % korko					6 % korko	
Reaktorit		20 vuoden poistoaika	€/v 11405	12546	11405	11405	13514	11405
Pumput ja sekoittimet		10 vuoden poistoaika	€/v 5548	6103	5548	5548	6114	5548
CHP		7 vuoden poistoaika	€/v 23325	25658	23325	23325	25079	23325
Sähköliittymä		20 vuoden poistoaika	€/v 1472	1619	1472	1472	1744	1472
Syöttösystemi		7 vuoden poistoaika	€/v 6664	7331	6664	6664	7165	6664
Mittaus- ja kontrollointiteknikka		10 vuoden poistoaika	€/v 1849	2034	1849	1849	2038	1849
Lämmityssystemi		10 vuoden poistoaika	€/v 3082	3391	3082	3082	3397	3082
Syötevarasto		20 vuoden poistoaika	€/v 8830	9713	8830	8830	10462	8830
Mädätysjäätännösvarasto		20 vuoden poistoaika	€/v 4415	4856	4415	4415	5231	4415
Suunnittelu ja luvat		20 vuoden poistoaika	€/v 2943	3238	2943	2943	3487	2943
Varat ja tuet		20 vuoden poistoaika	€/v -5519	-5519	-5519	-5519	-6539	-5519
Poistokustannus (pitoajan jälkeen)		20 vuoden poistoaika	€/v 1007	1007	1007	1007	1007	1007
UUOITSET KULUT YHTEENSÄ			€ 65023	71976	65023	65023	72699	65023
YLLÄPITO JA KORJAUKSET								
Reaktorit		1 % investoinnista	€/v 1550	1705	1550	1550	1550	1550
Pumput ja sekoittimet		5 % investoinnista	€/v 2250	2475	2250	2250	2250	2250
CHP		1,3 snt/kWh sähkö	€/v 20280	20280	18200	20280	20280	20280
Sähköliittymä		1 % investoinnista	€/v 200	220	200	200	200	200
Syöttösystemi		5 % investoinnista	€/v 2000	2200	2000	2000	2000	2000
Mittaus- ja kontrollointiteknikka		1 % investoinnista	€/v 150	165	150	150	150	150
Lämmityssystemi		1 % investoinnista	€/v 250	275	250	250	250	250
Syötevarasto		2 % investoinnista	€/v 2400	2640	2400	2400	2400	2400
Mädätysjäätännösvarasto		1 % investoinnista	€/v 600	660	600	600	600	600
YLLÄPITO JA KORJAUKSET YHTEENSÄ			€ 29680	30620	27600	29680	29680	29680
Vakuutus		0,5 % investoinnista	€/v 3300	3630	3300	3300	3300	3300
Työkustannus	3 h/vrk	15 €/h	€/v 13688	13688	13688	13688	13688	13688
CHP bonus (lisätuki Saksassa)								
Laitoksen sähkönkulut	7 % sähköntuotosta 109200 kWh/v	13 snt/kWh sähkö	€/v 14196	14196	12740	14196	14196	14196
Muut (neuvonta jne.)			€/v 2000	2000	2000	2000	2000	2000
YHTEENSÄ			€ 33184	33514	31728	33184	33184	33184
Syötteiden kustannus								
Maissi	50 ha	1237 €/ha	€/v 61850	61850	61850	61850	61850	61850
Nurmisäilörehu	20 ha	1027 €/ha	€/v 20540	20540	20540	20540	20540	20540
Ruissäilörehu	30 ha	986 €/ha	€/v 29580	29580	29580	29580	29580	29580
Viljakasvit	20 ha	900 €/ha	€/v 18000	18000	18000	18000	18000	18000
Lanta								
Mädätysjäätännöksen levitys								
SYÖTEKUSTANNUS YHTEENSÄ			€ 129970	129970	129970	129970	129970	129970
KAIKKI KUSTANNUKSET YHTEENSÄ			€ 257857	266080	254320	257857	265533	257857
UUOITSET TULOT								
Sähkön myynti	1560000 kWh/v	16,96 snt/kWh	€/v 264576	264576	237440	264576	264576	248976
Lämmön käyttö (oma tila)	50000 kWh/v	6 snt/kWh lämpö	€/v 3000	3000	3000	3000	3000	3000
Lämmön myynti	30 %	468000 kWh/v						
		3 snt/kWh lämpö	€/v 12636	12636	7560	12636	12636	12636
CHP bonus (lisätuki Saksassa)	0,78 CHP kerroin	2 snt/kWh	€/v 6571	6571	8845	6571	6571	6571
Ravinteiden arvo (mädätysjäätännös)	2910 m ³	0,00 €/m ³	€/v 0	0	0	0	0	0
TULOT YHTEENSÄ			€/v 286783	286783	256845	299587	286783	271183
Tulos			€/v 28926	20703	2525	41730	21250	13327

Suomessa maa- ja metsätalousministeriön (MMM) avustusten piirissä olevien biokaasulaitosten kannattavuuslaskelmien suurimpia heikkouksia ovat olleet seuraavat (Marttinen ym. 2013):

- Syötteiden esikäsitteilykustannukset aliarvioitu
- Sähkön tuotantokustannukset aliarvioitu
- Sähkön myyntihinta yliarvioitu
- Metaanintuotto yliarvioitu
- Laitoksen oma energiankulutus aliarvioitu
- Rakennuskustannukset aliarvioitu (nämä kasvoivat joko omien suunnitelmien muuttumisen takia tai ympäristöluvasta tulleiden vaatimusten takia)
- Energiakasvien hankintakulut aliarvioitu
- Laskelmaan oli huomioitu sekä investointiavustus että sähkön syöttötariffi, vaikka ne ovat toisensa poissulkevia tukimuotoja
- Syöttötariffi oli arvioitu toteutunutta korkeammaksi

5. Kannattavuuden edellytykset

5.1. Kokoluokan vaikutus kannattavuuteen

Yleisesti ottaen suuren kokoluokan laitokset ovat tehoon (€/kW) tai energiantuottoyksikköön (€/kWh) suhteutettuna investointihinnaltaan ja käyttökustannuksiltaan edullisempia kuin pienen mittakaavan laitokset. Tämä johtuu mm. seuraavista syistä:

- Suunnittelu, luvat, projektin johtaminen ovat lähes yhtä suuret kokoluokasta riippumatta.
- Pakollisten laitteiden (esim. metaanipitoisuusmittari) hinnat eivät välttämättä poikkea toisistaan suurilla ja pienillä laitoksilla.
- Säiliöiden (esim. reaktori ja hygienisointiyksikkö) rakennuskustannukset tilavuusyksikköä kohti alenevat koon kasvaessa.
- Lämpöahiö säiliökuutiometriä kohden (W/m^3) on pienempi suuressa säiliössä, koska siinä on suhteellisesti vähemmän pinta-alaa (m^2/m^3) kuin pienessä säiliössä.
- Suurten laitteiden ylläpitokustannus (huolto + varaosat) kapasiteettia kohti laskettuna on alhaisempi kuin pienten laitosten (esim. sekoittimet, CHP-yksikkö, jalostuslaitteisto).

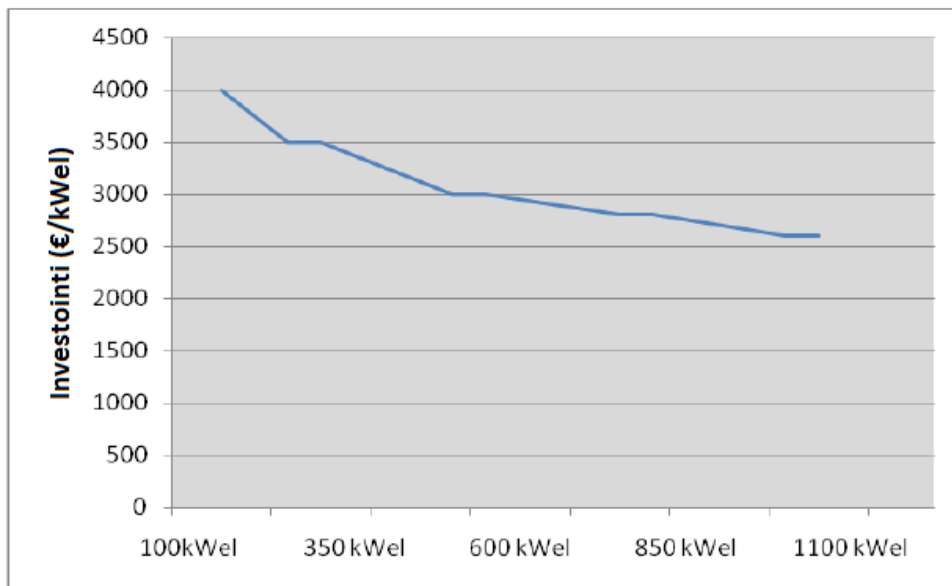
5.2. CHP-biokaasulaitosten investointihinta

Korkea investointihinta on usein biokaasulaitosinvestoinnin este etenkin maataloudessa. Esimerkiksi Saksassa alle 100 kW sähkötehon biokaasulaitokset havaitaan usein kannattavuuslaskelmia tehtäessä kannattamattomiksi (Wellinger ym. 2013), vaikka syöttötariffi eli takuuhinta sähkönmyynnille on korkeampi pienessä kuin suuressa mittakaavassa. Suomessa alle 100 kVA laitokset eivät ole tariffin piirissä, mutta esim. maatilan laitokset voivat saada investointitukea 40 %.

Investointituen laskentaperusteena on CHP-yksikön nimellisteho (MMM 2016):

- < 250 kW laitos: tuki $6500 \text{ €/kW}_{el} + 1500 \text{ €/kW}_{th}$ (th=lämpö)
- ≥ 250 kW laitos: tuki $3400 \text{ €/kW}_{el} + 800 \text{ €/kW}_{th}$

Biokaasulaitoksen investointihinta yleensä laskee asennettua energiantuottotehoa kohden laitokseen kasvaessa. Saksassa laitos on Hahnin (2011) mukaan maksanut 100 kW_{el} :n kokoluokassa keskimäärin $4\,000 \text{ €/kW}_{el}$ ja $1\,100 \text{ kW}_{el}$ kokoluokassa keskimäärin $2\,600 \text{ €/kW}_{el}$ (Kuva 1). Alle 100 kW_{el} kokoluokassa tehoon suhteutettu investointikustannus voi olla moninkertainen. Esimerkiksi Suomessa Luke Maaningan tutkimusmaatilán biokaasulaitoksen investointikustannus oli yli $17\,500 \text{ €/kW}_{el}$ ($350\,000 \text{ €}/20 \text{ kW}_{el}$, kapasiteetti n. $3\,500 \text{ t}$ lietelantaa + 300 t säilörehua).



Kuva 1. Saksalaisten CHP-biokaasulaitosten (koko laitos sisältäen CHP-yksikön) investointihinnat asennetun sähkötehon (kW_{el}) mukaan (Hahn 2011, perustuu keskimääräisiin investointikustannuksiin.)

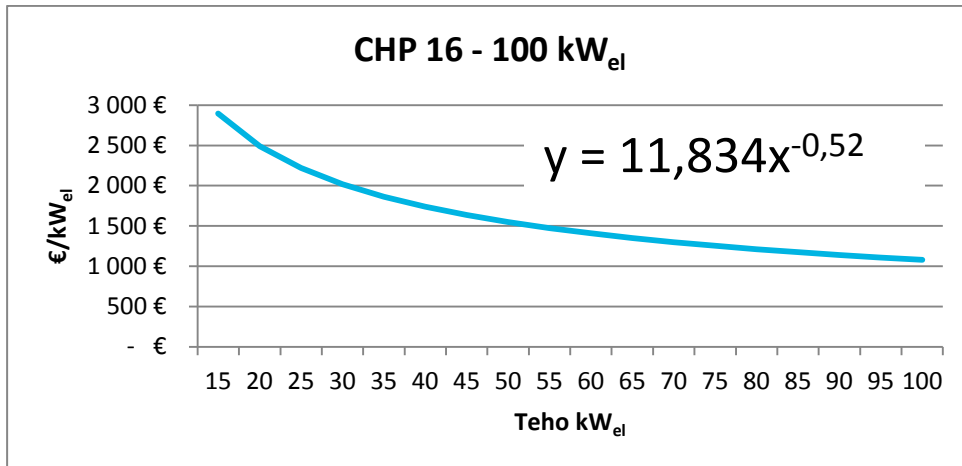
5.3. CHP-yksikön investointihinta

Pelkän CHP-yksikön investointihinta on tekniikasta ja kokoluokasta riippuen noin 400–4 000 €/kW_{el}. Yleisin CHP-tyyppi on moottori (esim. ottomoottori), jonka investointihinta kokoluokassa 110–3 000 kW_{el} on 400–1 100 €/kW_{el} (Taulukko 5) (Kaparaju & Rintala 2013). Pienitehoisempiakin on tarjolla, esimerkiksi Luke Maaningan biokaasulaitoksella on 18 kW_{el}:n ottomoottori-CHP-yksikkö. Tehoyksikköä kohti laskettu investointihinta alenee laitteen koon kasvaessa. Käyttökustannuksista lisää luvussa 5.5.

Taulukko 5. CHP-yksiköiden investointihintoja ja käyttökustannuksia (Kaparaju & Rintala 2013).

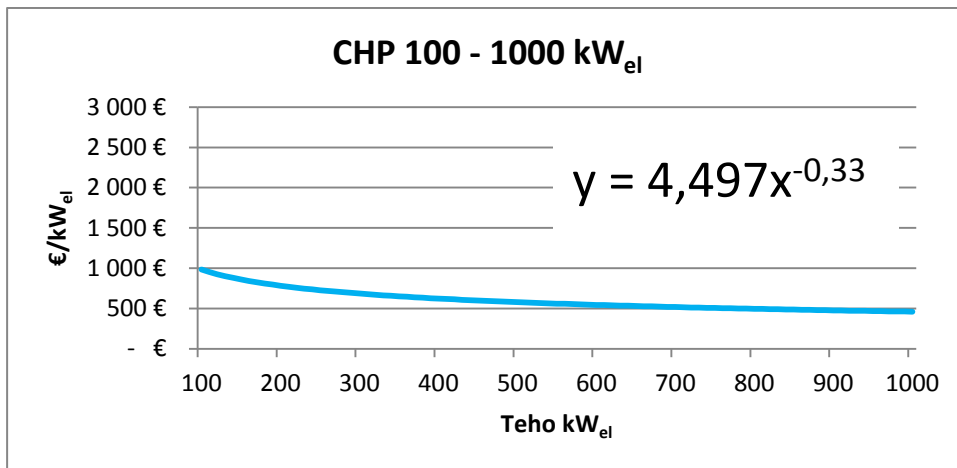
Parametri	Moottori	Kaasuturbiini	Mikroturbiini	Stirlingmoottori	Polttokenno
Kapasiteetti (kW _{el})	110–3000	3500–15000	30–300	< 150	300–1500
Laitoskoko	Pieni/keskis.	Suuri	Pieni	Pieni	Pieni
Investointi (€/kW _{el})	400–1100	900–1500	600–1200	1300–1500	3000–4000
Käyttökust. (snt/kWh)	1–2	0,5–1	0,8–1,5	0,3–0,5	0,3–0,1

Saksalaisessa tutkimuksessa (Beck ym. 2014) muodostettiin 186 laitteen otoksesta regressioyhtälöt CHP-yksikköjen tehoikohtaisille hinnoille kokoluokassa 16–3 770 kW_{el}. Tehokohtainen hinta alenee jyrkästi etenkin kokoluokassa 16–100 kW_{el}. 16 kW_{el}:n CHP-yksikkö maksaa keskimäärin 2 799 €/kW_{el} (44 786 €) ja 100 kW_{el}:n laite vain 1 079 €/kW_{el} (107 900 €). Hintakäyrä ja regressioyhtälö tämän kokoluokan laitteiden hinnan laskemiseksi on esitetty kuvassa 2.



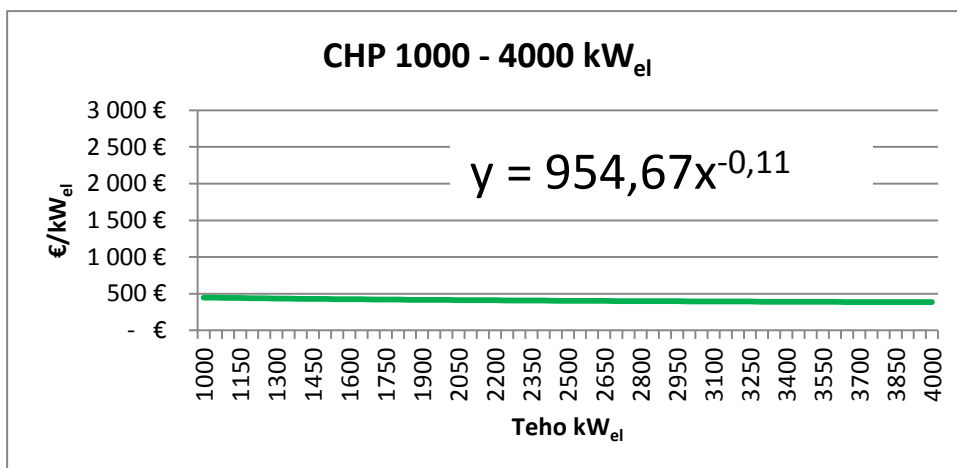
Kuva 2. CHP-yksiköiden keskimääräisiä hintoja kokoluokassa 16–100 kW_{el} (Beck ym. 2014).

Tehokohtainen hinta suunnilleen puolittuu kokoluokan kasvaessa 100 kW_{el}:sta 1 000 kW_{el}:iin (kuva 3).



Kuva 3. CHP-yksiköiden keskimääräisiä hintoja kokoluokassa 100–1 000 kW_{el} (Beck ym. 2014).

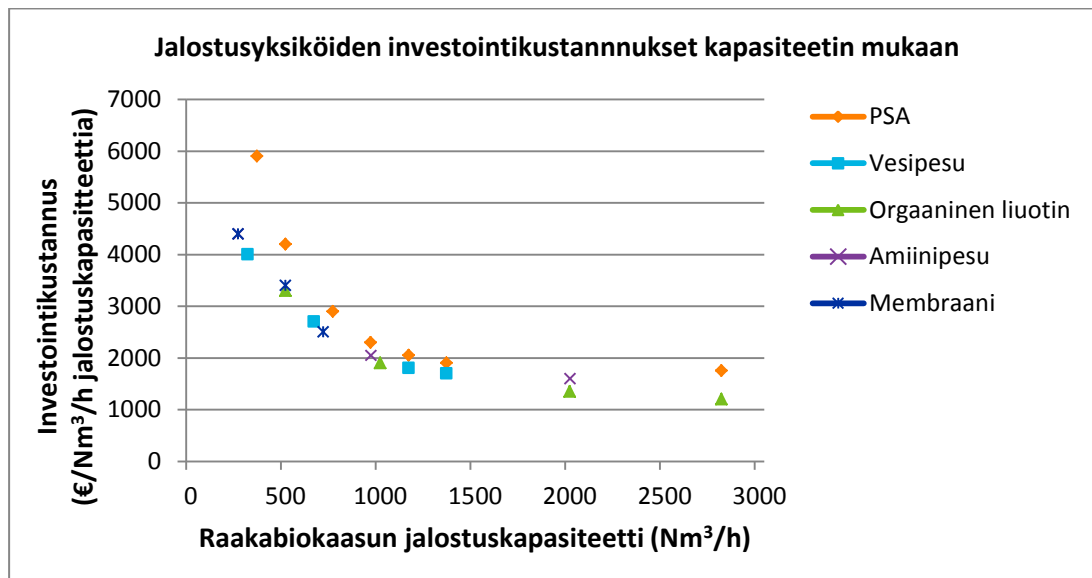
Sähkötehon kasvaessa 1 000 kW_{el}:sta 3 770 kW_{el}:iin tehokohtainen hinta ei enää juurikaan alene (kuva 4).



Kuva 4. CHP-yksiköiden keskimääräisiä hintoja kokoluokassa 1 000–4 000 kW_{el} (Beck ym. 2014).

5.4. Jalostusyksikön investointihinta

Myös liikennebiokaasun eli biometaanin jalostuslaitteiden kapasiteettia kohden laskettu investointihinta alenee koon kasvaessa. Saksalaisen yrityshaastattelun (v. 2011–2012) mukaan kapasiteettia kohti laskettu investointihinta oli noin 1 200–5 900 €/Nm³/h, kun raakabiokaasun jalostuskapasiteetti oli 250–2 800 Nm³/h (Beil & Beyrich 2013, kuva 5). Tutkimuksessa mukana olleiden laitteiden kapasiteetit olivat kaasutehoksi laskettuna 1 375–15 400 kW ja investointihinnat 220–1 070 €/kW (raakabiokaasun metaanipitoisuus on 55 til.% ja 1 Nm³ metaania on alemmalta lämpöarvoltaan 10 kWh). Tämän kokoluokan laitteet voivat tuottaa liikennepolttoainetta noin 1 000–11 200 autolle, jos yksi auto kuluttaa 12 MWh vuodessa (20 000 km/v, jatkuva teho 1,37 kW).



Kuva 5. Suuren mittakaavan jalostuslaitteiden investointikustannus raakabiokaasun jalostuskapasiteetin mukaan (€/Nm³/h) laskettuna (Beil & Beyrich 2013). Teho kW = raakakaasu Nm³/h*0,55*10. Kapasiteetti Nm³/h voidaan muuttaa tehoksi kertomalla metaanipitoisuudella (55 %).

Tutkimuksessa havaittiin, että viiden eri jalostusmenetelmän hinnat olivat keskenään vertailukelpoisia (menetelmät kuvattu luvuissa 3.7 ja 3.8). Hinnat alenivat jyrkästi raakabiokaasun jalostuskapasiteetin kasvaessa 250 Nm³:stä 500 Nm³:iin tunnissa, ja loivemmin kapasiteetin kasvaessa 500 Nm³:stä 1 000 Nm³:iin tunnissa. Hinnan alenema oli enää marginaalinen kapasiteetin kasvaessa yli 1 000 Nm³:iin tunnissa.

Markkinoille on tullut viime aikoina pienemmän mittakaavan laitteistoja (mm. membraani-, vesipesu- ja PSA -teknologialla). Pienemmän mittakaavan yleistymisen voi jatkossa vaikuttaa investointikustannuksiin. Maatilamittakaavassa suomalaisen Metener Oy:n vesipesuun perustuvan jalostuslaitteiston (10 Nm³/h raakakaasua, kaasuteho 55 kW, 40 autoa) hinta ilman kaasuväkästä ja tankkauslaitteistoja on 135 000 € eli 2 455 €/kW. Hieman suuremmissa mittakaavassa (60 Nm³/h, 330 kW, 240 autoa) laitteiston tehoon suhteutettu hinta on huomattavasti alhaisempi, 636 €/kW (210 000 €). Kapasiteetiltaan 660 kW laitteiston hinta on 285 000 € eli 432 €/kW (Kalmari 2018).

5.5. Käyttökustannusten hallinta ja weak point -analyysi

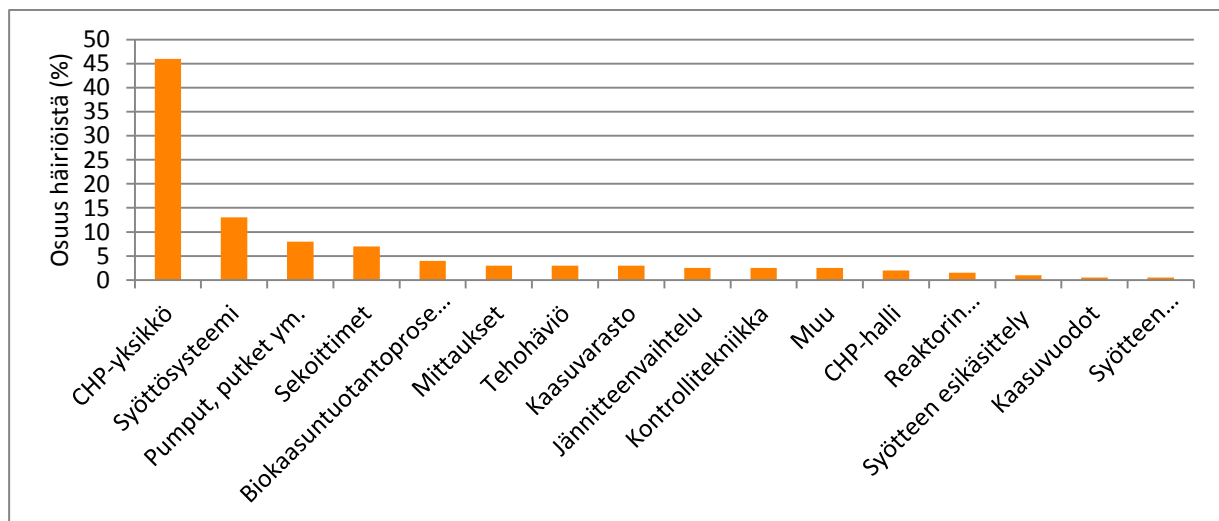
Investointikustannusten lisäksi toinen biokaasulaitosten kannattavuuden edellytys on tarpeeksi suuri ja ennustettava käyttökate (liikevaihto-toimintakulut). Se saavutetaan tasaisella tuotolla ja kustannusten hallinnalla. Kaasun energiasisältö tulisi saada hyödynnettyä kokonaan. Esimerkiksi sähkön tuotannossa syntyvä lämpöenergia tulisi saada hyödynnettyä.

Biokaasulaitoksessa käsiteltävistä jätteistä saatavat porttimaksut parantavat kannattavuutta, samoin kuin lannoitevalmisteiden myynnistä saatavat tulot (Marttinen ym. 2013). Esimerkiksi Kiteen BioKymppi Oy myy mädätysjäännöksestä separoituja lannoitevalmisteita luomutiloille, kuivajaetta hintaan 7 €/tonni ja nestejaetta 1 €/tonni alv 0 % (Juvonen 2017). Jos mädätysjäännös käytetään omilla pelloilla, tulisi kannattavuuslaskelmissa huomioida sadonlisäys. Se johtuu mädätysjäännöksen lisääntyneestä liukoisen typen pitoisuudesta (Pyykkönen ym. 2013) ja liukoisen typen paremmasta käyttökelpoisuudesta esim. raakalielantaan verrattuna (Virkajärvi ym. 2016).

Kustannusten ennakkoinnissa ja hallinnassa auttaa weak point -analyysi, jossa etsitään biokaasulaitoksen koko elinkaaren ajalta heikkoja kohtia. Hahnin (2012) mukaan biokaasulaitoksen mahdollisia heikkoja kohtia voivat olla esimerkiksi:

- Suunnittelun puutteet: laitoksen toimittajan tai operaattorin puutteelliset tiedot
- Prosessinhallinnan puutteet: mittalaitteet, valvonta ja prosessiparametrien arviointi
- Alhainen kaasuntuotto ja CHP-yksikön tehoton hyödyntäminen
- Prosessihäiriöt: laitoksen alhainen käyttöaste, tekniset häiriöt ja kaasuvuodot
- Puutteellinen johtaminen (management)

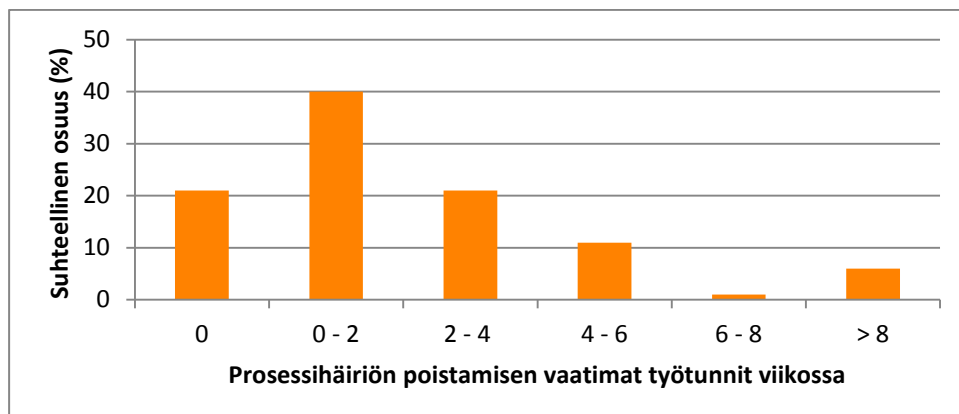
Saksalaisissa CHP-biokaasulaitoksissa ylivoimaisesti eniten prosessihäiriöitä (46 %) aiheuttaa itse CHP-yksikkö. Yhteensä 78 % häiriöistä aiheutui CHP-yksiköstä, syöttösystemistä, pumpuista/putkista ym., sekoittimista sekä biokaasuntuotantoprosessista (Kuva 6).



Kuva 6. Prosessihäiriöiden suhteelliset osuudet saksalaisissa CHP-biokaasulaitoksissa (Hahn 2012 muokannut KTBL 2009 datasta).

Tutkimuksen mukaan 70 %:lla biokaasulaitoksista CHP-yksiköille tuli käyttötunteja vuodessa yli 7 000, eli käyttöaste oli yli 80 %. Noin 4 %:lla laitoksista CHP-yksikön käyttöaste jäi alle 5 300 tuntiin vuodessa (Hahnin 2012 mukaan FNR 2010). Syitä alhaiseen CHP-yksikön käyttöasteeseen olivat esimerkiksi kaasuntuottoon nähden ylimitoitettu teho, mikrobiprosessin ongelmat, tekniset viat tai syötemateriaalien huono saatavuus.

Kaikkiaan saksalaisissa biokaasulaitoksissa erinäisten prosessihäiriöiden korjaamiseen kului suurimmalla osalla laitoksista aikaa 0–2 tuntia viikossa, mutta 6 %:lla laitoksista jopa yli 8 tuntia viikossa (Kuva 7). Käyttökustannusten ennustettavuutta voidaan parantaa tarkemmalla suunnittelulla sekä takuuajan ja sen jälkeisen ajan huoltosopimuksilla.



Kuva 7. Prosessihäiriöiden poistamiseen vaaditut viikoittaiset työtunnit saksalaisissa CHP-biokaasulaitoksissa (Hahn 2012 muokannut FNR:n 2010 datasta).

5.6. CHP-biokaasulaitosten käyttökustannukset ja käyttöiät

Ilman prosessihäiriöitäkin sähköä ja lämpöä yhteistuottavissa laitoksissa CHP-yksikkö on todennäköisesti suurin käyttökustannuksia aiheuttava tekijä. Saksalaiselle 250 kW_{el}:n laitokselle tehdyn kannattavuuslaskelman (Taulukko 4, Hahn 2011) perusteella CHP-yksikön käyttökustannukset ovat 68 % koko laitoksen vuotuisista kustannuksista, kun laitteen osuus vuotuisista poistokustannuksista on vain 34 % (Taulukko 6).

Taulukko 6. Biokaasulaitoksen osien investointi- ja käyttökustannusten jakautuminen saksalaisessa maatalan CHP-biokaasulaitoksessa (laskettu Hahnin 2011 laskelmasta, Taulukko 4).

Biokaasulaitoksen osa	Investointihinta (€)	Osuus investointihinnasta	Poisto-aika (v)	Vuotuinen poistokustannus (€/v)	Osuus poistokustannuksista	Käyttökustannus (€/v)	Osuus käyttökustannuksista
Reaktorit	155000	23 %	20	11405	16 %	1550	5 %
Pumput ja sekoittimet	45000	7 %	10	5548	8 %	2250	8 %
CHP	140000	21 %	7	23325	34 %	20280	68 %
Sähköliittymä	20000	3 %	20	1472	2 %	200	1 %
Syötösysteemi	40000	6 %	7	6664	10 %	2000	7 %
Mittaus- ja kontrollitekniikka	15000	2 %	10	1849	3 %	150	1 %
Lämmityssysteemi	25000	4 %	10	3082	4 %	250	1 %
Syötevarasto	120000	18 %	20	8830	13 %	2400	8 %
Mädätysjäätösvarasto	60000	9 %	20	4415	6 %	600	2 %
Suunnittelu ja luvat	40000	6 %	-	2943	4 %	-	-
YHTEENSÄ	660000	100 %		69534	100 %	29680	100 %

Sähköntuottoon suhteutettu käyttökustannus voi olla esim. 0,3–2,5 snt/kWh_{el} (Ferberin & Rutzin 2011 mukaan Steiner 2009). Kustannus on yleensä sitä suurempi, mitä pienempi CHP-yksikkö on kyseessä. Taulukon 7 esimerkissä on laskettu kapasiteetin vaikutus CHP-yksikön käyttökustannukseen. Esimerkiksi 100 kW_{el}:n laitteen käyttökustannus on 1,7–1,9 snt/kWh_{el}, mutta 9 341 kW_{el}:n laitteen käyttökustannus vain 0,6 snt/kWh_{el} (Darrow ym. 2015).

Taulukko 7. Esimerkki kapasiteetin (kW) vaikutuksesta CHP-yksiköiden käyttökustannukseen (huoltosopimus + kulutusosat, snt/kWh) maakaasupolttoaineella Yhdysvalloissa 2013 (Darrow ym. 2015). Valuuttamuunnos on tehty v. 2013 kurssilla 1 \$ = 1,33 €.

Nimelliskapasiteetti (kW)	100	633	1121	3326	9341
Huoltosopimus (snt/kWh)	1,7–1,9	1,5	1,4	1,1	0,5
Kulutusosat (snt/kWh)	mukana	0,1	0,1	0,1	0,1
Huoltosopimus + osat (snt/kWh)	1,7–1,9	1,6	1,4	1,2	0,6

Eri laitteiden ja rakenteiden käyttöiät ovat keskeisiä tekijöitä biokaasulaitoksen vuotuisten kustannusten laskennassa. Saksalaisten biokaasulaitosten osien tilastolliset keskiarvot (Taulukko 8) poikkeavat hieman Hahnin 2011 laskelmassa (Taulukot 4 ja 6) käyttämistä lukemista. Käyttöikiin vaikuttavat suuresti myös materiaalit, laitteiden tyypit, laitoksen operointitapa ja -olosuhteet. Laitteiden (esim. CHP-yksikkö) käyttöikä voidaan kasvattaa peruskorjauksella, joka on edullisempi kuin uuden laitteen hankinta. Tällöin voidaan saada myös eri osien käyttöiät täsmäämään toistensa kanssa sekä ja koko laitoksen pitoajan kanssa.

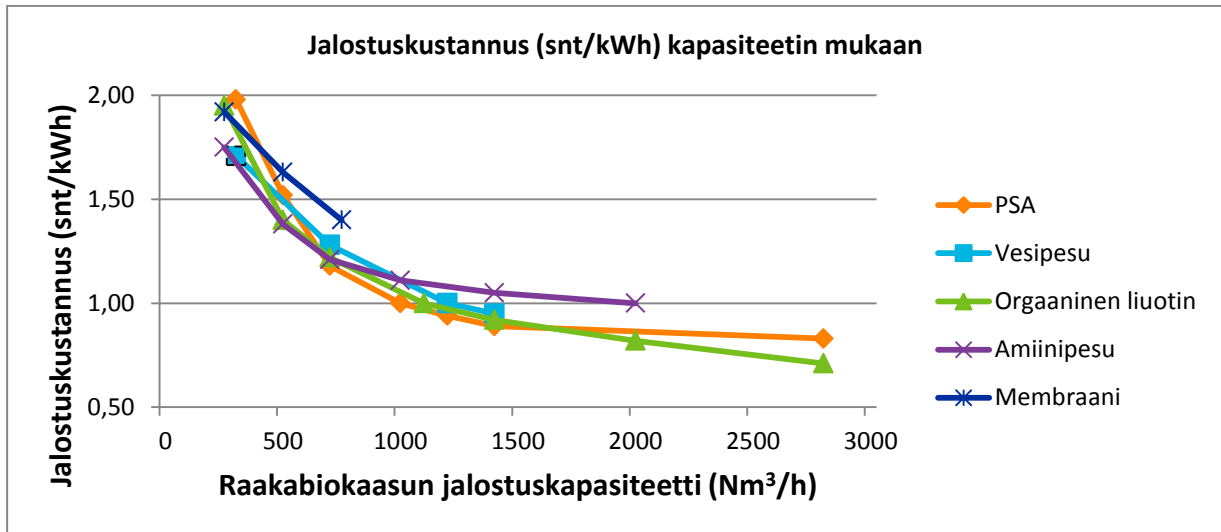
Taulukko 8. Biokaasulaitoksen laitteiden ja osien suuntaa-antavia käyttöiä Saksassa (DSW 2015).

Laitoksen osa	Käyttöikä
CHP-rakennus (tekninen tila)	33 vuotta
Konehalli	33 vuotta
Suihkumoottorit [CHP-yksikkö]	4 vuotta
Ottomoottori [CHP-yksikkö]	7 vuotta
Reaktori [säiliö]	16 vuotta

5.7. Biometaanin jalostuskustannus (liikennebiokaasu)

Saksalaisten yritysten v. 2011–2012 haastatteluissa (Beil & Beyrich 2013) selvitettiin myös jalostuksen kokonaiskustannus eri koko luokissa. Seuraavilla lähtötiedoilla laskettuna suuren kapasiteetin laitteilla jalostuskustannus on kokoluokasta riippuen noin 0,7–2,0 snt/kWh liikennebiokaasua (Kuva 8):

- Mukana investointi sekä täysi huoltosopimus
- Laskentakorkokanta 5 %
- Suunnittelu- ja lupakustannukset sekä ylimääräiset rakennuskustannukset yhteensä 10 % investoinnista
- Käyttöikä 15 vuotta
- Vakuutus 0,5 % investoinnista
- Käyttöaste 96 % (8 410 h/v) kapasiteetista
- Operaattorin oman henkilöstön kustannus 35 €/h, työaika 1 h/vrk
- Rikkivedyn tarkkuuspuhdistus aktiivihieillä 5 €/Nm³/h raakakaasukapasiteettia kohden vuodessa, esim. kapasiteetin ollessa 250 Nm³/h, on puhdistuskustannus 1 250 €/v (vain jalostusmenetelmillä, jotka eivät itsessään poista H₂S)
- Raakabiokaasun metaanipitoisuus 55 til-%
- Energiankulutus takuuarvojen mukaan
- Jalostuksessa käytetyn sähkön hinta 12 snt/kWh (paitsi amiinipesussa 15 snt/kWh)
- Lämmön hinta 3 snt/kWh (lämpöenergiaa tarvitaan vain amiinipesussa)
- Menetelmästä riippuen metaanihävikki 0,1–5 % ja tuotekaasun metaanipitoisuus 96–99 %.



Kuva 8. Jalostuskustannus (snt/kWh) jalostuskapasiteetin mukaan eri tekniikoilla, sisältäen jalostuslaitteiden investointikustannukset ja huoltosopimukset (piirretty Beil & Beyrich 2013 kuvien perusteella).

6. Tarjouspyyntö ja kilpailutus

Biokaasulaitoksen tai sen osien kilpailutuksessa voidaan soveltaa esimerkiksi julkisten hankintojen neuvontayksikön (JHNY 2017) ohjeita, joiden mukaan kokonaistaloudellisuuden perusteena voi olla:

1. Halvin hinta
2. Edullisimmat kustannukset
3. Paras hinta-laatusuhde

6.1. Halvin hinta ja vähimmäisvaatimukset

Jos perusteena käytetään pelkästään halvinta hintaa, pitäisi määritellä hankinnalle vähimmäisvaatimukset ja erityisehdot (JHNY 2017). Halvimpaan hintaan perustuva pisteytys on yleisin ja helpoin tapa kilpailuttaa hankinta. Yksi vaihtoehto on antaa tarjouspyynnössä vain välttämättömimmät perustiedot kohteesta, käytettävistä syötteistä ja esim. tavoitellusta nettoenergiantuotosta. Laitostoitajalle annetaan sitten ”vapaat kädet” tarjota biokaasulaitosta, joka heidän tietojensa mukaan takaa halutun tuoton.

Toinen, mahdollisesti suositeltavampi vaihtoehto on määritellä laitoskokonaisuus ja vaatimukset tarkemmin. Tämä vaatii tarjouspyynnön tekijältä suurempaa asiantuntemusta ja saattaa supistaa toimittajien lukumäärää tai tarjousvalikoimaa. Toisaalta se antaa selkeän kuvan tilaajan toiveista ja tekee tarjouksista vertailukelpoisempia.

Mahdollisia toimituksen jälkeisiä riitatilanteita tilaajan ja toimittajan välillä voidaan välttää ilmoittamalla vaatimukset mahdollisimman tarkasti numeerisesti. Sopimusehtoihin kirjataan vastaanoton ehdot ja sopimussakot, elleivät numeeriset arvot täyty.

Esimerkkejä ja suosituksia biokaasulaitosten tarjouspyynnössä esitettävistä asioista ja vähimmäisvaatimuksista:

1. Yleiskuvaus kohteesta
 - Sijainti, kartta, pohjaveden korkeus (jos maanalaisia rakenteita), biokaasulaitoksen sijointipaikka
 - Olemassa olevat toiminnot ja biokaasulaitoksen liittyminen niihin, olemassa olevat rakenteet (esim. lietevarasto)
 - Energiatarve, sähkön, lämmön ja biokaasun käyttökohteet, mädätysjäännöksen käyttö ja mahdollinen jalostustarve
2. Syötteiden kuvaus
 - Määrä (t/v), ja tiheys (kg/m³)
 - Metaanintuottopotentiaali eli BMP (laboratoriokoe tai arvio kirjallisuuden perusteella)
 - Ravinnepitoisuudet (etenkin kokonaistyyppi ja liukoinen tyyppi mahdollisen inhibition vuoksi)
 - Tiheys, funktionaalinen tiheys (kelluminen)
 - Viskositeetti (mitattu tai laskennallinen, voi vaikuttaa sekoittimien ja pumppujen valintaan ja mitoitukseen)
 - Mikrobiprosessissa inhibitiota aiheuttavat aineet (raskasmetallit jne.)
 - Lämpötila, jos tiedossa ja jos toimittaja käyttää tietoa laitoksen lämpöenergian kulutuksen laskennassa
3. Laitoskokonaisuus ja urakkarajat
 - Tilaaja voi ilmoittaa haluamansa prosessityypin (kuiva/märkä, jatkuvasyöttöinen/panos jne.), lämpötilan ja muut kokonaisuuteen osat (jälkikaasullas, mädätysjäännösvarasto jne.) tai antaa toimittajalle vapaat kädet tarjota kokonaisuutta tilaajan antamien tietojen (syötteet, energiantuottotavoite jne.) perusteella.

- Vaatiiko mädätysjäännös uuden varaston vai voidaanko hyödyntää olemassa olevia säiliöitä? Vähentävätkö esim. panosreaktorit varastointitilan tarvetta verrattuna jatkuvasyöttöiseen reaktoriin? Mädätysjäännöksen varastoinnin kustannukset tulisi ottaa mukaan erityyppisten laitosten vertailuun (jotkin laitokset vähentävät varastotilan tarvetta toisiin laitoksiin verrattuna).
 - Urakkarajat tulee kirjata tarkasti, esim. mihin rajapintaan asti laitostoimitus rajoittuu ja kenen vastuulla on liittymien teko.
4. Sopimusehdot
- Numeerisesti kiistatilanteiden välttämiseksi
5. Takuut
- Minimitakuuaika koko laitokselle (esim. 1 v) ja mahdollisesti poikkeavia takuuajoja laitoksen eri osille/laitteille (esim. CHP-yksikölle ja jalostusyksikölle 2 v, säiliöille/rakennuksille mahdollisesti pidempi). Vaatiiko takuu huoltosopimuksen?
 - Jos laitoksen tai sen osan takuu edellyttää huoltosopimusta, sen hinta kannattaa sisällyttää laitoksen kokonaishintaan, varsinkin, jos huollon saa tehdä vain toimittaja tai muu sertifioitu huoltaja. Sertifioitujen huoltajien määrä saattaa olla vähäinen ja siten vaikea kilpailuttaa.
6. Vakuudet
- Esim. julkisissa hankinnoissa: ”Jos takuuajan vakuudesta on sovittu, toimittajan on jätettävä ennen takuuajan alkamista tilaajan hyväksymä vakuus, jonka tulee olla vähintään 15 prosenttia arvonlisäverottomasta hankintahinnasta. Vakuuden tulee olla voimassa vähintään kuukausi takuuajan päättymisajankohdan jälkeen” (JYSE tavarat 2014).
 - Pienillä/uusilla toimijoilla ei välttämättä ole mahdollista maksaa vakuuksia.
7. Maksuehdot
- Laitoksen vastaanottoehdot: vaatimuksena esim. hyväksytyt koekäyttöjakso ja laitoksen hyväksyttävään toimintakuntoon saattaminen toimittajan kustannuksella
 - Mahdolliset sopimussakot (vaatimukset eivät täyty), viivästysmaksut jne.
8. Ennakkomaksu
- Pienet toimittajat voivat edellyttää ennakkomaksua. Esim. julkisissa hankinnoissa vaaditaan vakuudet, joka on vähintään 15 % suurempi kuin toimittajan vaatima ennakkomaksu (JYSE tavarat 2014).
9. Käyttöönottajakso ja koejakso
- Voi olla edellytyksenä laitoksen vastaanottamiselle tai viimeisen maksuerän suorittamiselle
 - Koejaksolla mitataan, täyttyvätkö tarjouspyynnössä vaaditut ja/tai toimittajan tarjouksessaan ilmoittamat tuottolukemat (numeeriset vaatimukset teknisissä eritelmissä), esim. saavutettava 2 kk ”normaalin” syötön jälkeen 6 viikon koejakson aikana tilaajan vaatima metaanintuotto/energiantuotto. Normaali syöttö ja sallitut poikkeamat tulee määritellä numeerisesti.
10. Aikataulut
- Laitoksen toimitusaikataulussa tulee huomioida mahdolliset pitkät toimitusajat (laittevalmistajat, aliurakoitsijat).
 - Toimitus-, käyttöönotto- ja vastaanottoaikataulut. Hyväksytäänkö laitos vastaanotetuksi vasta onnistuneen koejakson jälkeen? Liian tiukka toimitusaikavaatimus voi estää osallistumasta tarjouskilpailuun.
11. Referenssit
- Aiemmat laitos- ja laitetoimitukset lisäävät toimittajan ilmoittamien energialukemien luotettavuutta. Voidaan käyttää tarjousten pisteytyksessä (ks. luku 6.3 Paras hintalaatusuhde).
 - Uudentyyppisen laitoksen referenssi voi puuttua
 - Onko referenssi vaatimuksena tarjouskilpailuun osallistumiselle?

12. Huoltosopimukset, varaosahinnastot

- Tarjouksessa tulisi ilmoittaa varaosahinnasto ainakin tärkeimmille laitteille (esim. CHP-yksikkö sekä jalostus- ja tankkausyksikkö). Laitteisiin saattavat sopia vain laitevalmistajan varaosat.

13. Käyttöohjeet

- Suositeltavaa pyytää erillisten laitteiden manuaalien lisäksi koko laitoksen käyttöohje

14. Tekniset eritelvät sisältäen vähimmäisvaatimukset

Teknisissä eritelmissä kerrotaan lisää kohteesta ja biokaasulaitoksesta sekä esitetään tarkempia vaatimuksia laitokselle. Seuraavassa on esimerkkejä mahdollisista vaatimuksista. Vaatimukset voivat olla laadullisia tai numeerisia.

1. Metaanintuotto

- Suositeltavaa on vaatia minimituottoa tietyllä koejaksolla. Esimerkiksi jatkuvasyöttöisessä märkäprosessissa kohtuullinen vaatimus on noin 75–85 % BMP:sta.
- Vaihtoehtoisesti/lisäksi tilaaja voi halutessaan ilmoittaa minimiviipymän. Pitkä minimiviipymä voi taata tehokkaan metaanintuoton ja mädätysjäännöksen vähäiset metaanipäästöt.
- Sekoitusmenetelmä ja teho vaikuttavat metaanintuottoon.

2. Energiantuottovaatimus

- Energiantuottovaatimus voidaan esittää, ellei esitetä metaanintuottovaatimusta ja hyötysuhteita polttolaitteille (tai suurinta sallittua metaanihävikkiä jalostuslaitteille).
- Bruttoenergiantuottoon vaikuttavat esim. polttolaitteiden hyötysuhteet. Nettoenergiantuottoon vaikuttavat lisäksi biokaasulaitoksen omakulutus (sähkö ja lämpö) ja hävikit jalostuslaitteilla.

3. Reaktorin sekoittimet ja niiden sähkönkulutus

- Systeemin on sovellettava vaaditulle syötteelle ja prosessityypille.
- Voidaan vaatia tietty tyyppi (upposekoitin, varsisekoitin, lapasekoitin, kaasusekoitin jne.), minimiteho (kW) ja/tai mitat sekoittimelle (esim. potkurin halkaisija).
- Sähkönmittaus (kWh-mittari voi kuulua esim. sekoittimen taajuusmuuttajaan) on suositeltavaa vaatia.
- Energiankulutuksen minimoimiseksi kannattaa vaatia tautusominaisuus.

4. Jälkikaasualtaan (JKA) tai sarjassa toisen reaktorin sähkönkulutus

- Sarjassa toisen reaktorin sekoitus voi kuluttaa jopa 80 % (ks. Luku 3.3) vähemmän energiaa kuin varsinainen reaktori, sillä kaasunmuodostus ensimmäisessä reaktorissa on pienentänyt sen mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoisuutta.

5. Kiinteän syötteen esikäsitely (murskaus tai muu) (ks. Luku 3.1)

- Jos kiinteän syötteen murskaus on osa biokaasulaitoshankintaa, on suositeltavaa vaatia maksimipalakoko: esim. hygienisointia varten 12 mm ja heinänumella vaatimus voi olla esim. 5 cm.
- On suositeltavaa vaatia yläraja esikäsitelyn energiankulutukselle ja/tai kemikaalin kulutukselle.

6. Koko biokaasulaitoksen sähkönkulutus

- On suositeltavaa vaatia kWh-mittari kulutuksen toteamiseksi.
- Tarjouspyynnössä voidaan vaatia tietty katto kokonaisähkönkulutukselle (jos tilaajalla on tietoa vastaavanlaisista laitoksista) tai ottaa sähkönkulutus osaksi tarjousten pisteytystä.

7. Reaktorin ja muiden säiliöiden eristeet ja/tai lämpöenergian kulutus (ks. Luku 3.4)

- Tarjouspyynnössä voidaan vaatia rakenteille tietyt eristepaksuudet tai eristysominaisuudet (U-arvo). Vaihtoehtoisesti voidaan vaatia jokin katto lämpöenergian kulutukselle, jos esim. syötteen lämpötila tiedetään, ja toimittaja laskee kulutuksen.

- Vaatimalla tietyt minimieristykset tai esittämällä laskentakaava lämpöenergian kulutukselle voidaan taata eri tarjousten vertailukelpoisuus.
 - Toimittajan voi olla vaikea ilmoittaa tarkkaa lukua, varsinkin jos syötteiden, ilman ja maan lämpötiloja ei ole tiedossa.
8. Automatiikka
- Automaattiset ja ajastetut toiminnot: esim. syötöt, kaasunpolttolaitteiden käynnistys ja sammutus, hälytykset ja automaattiset varotoimenpiteet (esim. syötön esto reaktorin poistoputken tukkeutuessa).
 - Automatisointi lisää investointikustannuksia, mutta alentaa työn määrää ja käyttökustannuksia sekä parantaa turvallisuutta.
9. Mittarit ja näytteenotto
- Vähintään kaasunvirtaamamittari (tuotto ja/tai kulutus) ja metaanipitoisuusmittari.
 - Sähkö- ja lämpöenergiamittarit ovat suositeltavia (tuotto, laitoksen oma kulutus).
 - Reaktorilietteen näytteenottomahdollisuus tulee esittää.
10. Biokaasun puhdistus (ks. Luku 3.7)
- Vähintään vesihöyryn poistosysteemi, suositeltava myös rikkivedyn ja mahdollisesti muiden korroosiota aiheuttavien kaasujen poisto.
 - Yhdyskuntajättesyötteillä siloksaanien poisto.
 - On suositeltavaa vaatia tietty menetelmä ja/tai pyytää käyttökustannukset (esim. aktiivihiili on kallis verrattuna ilmansyöttöön).
11. Biokaasun polttolaitteet (lämpökattila ja CHP-yksikkö) (ks. Luku 3.6)
- Voidaan asettaa vaatimuksia hyötysuhteille, kuten hyödynnettävän veden sallitulle lämpötilalle ja kaasun ominaisuuksille (etenkin metaani- ja rikkivetypitoisuudet) jne.
 - Liian tiukat vaatimukset sulkevat pois laitostoimittajia/laittevalmistajia.
12. Biokaasun jalostuslaitteet (ks. Luku 3.7 ja 3.8)
- Tilaaja tai toimittaja valitsee prosessityypin.
 - Tarvittava liikennekaasumäärä.
 - Investointi- ja käyttökustannus tai huoltosopimuksen hinta (sis. tarvikkeet?) sekä takuehdot on ilmoitettava.
 - Onko metaania sisältävä poistokaasu hyödynnettävissä tai kierrätettävissä? Jos ei ole, vaaditaanko poistokaasun käsittely laitoksen metaanipäästöjen minimoimiseksi? Eri prosessityypeillä on erilainen metaanihävikki ja poistokaasun metaanipitoisuus.
13. Liikennebiokaasun tankkausyksikkö
- Jalostetun kaasun varaston koko ja paine, tankkausnopeus.
 - Maksupääteominaisuudet (normaali maksukortti vai erillinen tankkauskortti).
14. Kaasuvarasto(t)
- Raakakaasuvaraston ja jalostetun biometaanin varastojen koot sekä säiliömateriaalit tarpeen mukaan.
15. Metaanivuodot (ks. Luku 3.8)
- Kaasuvaraston vuotoihin voi vaikuttaa esim. materiaalien valinnalla.
 - Mädätysjäännöksen metaanipäästöjä voi vähentää vaatimalla pitkä viipymä, jälkikaasuallas tai sarjassa toinen reaktori sekä kattamalla mädätysjäännösvarasto.
 - Pieniä vuotoja voi olla vaikea havaita.

Liitteessä 2 on esitetty esimerkki pelkästään halvimpaan investointihintaan perustuvasta maatilän biokaasulaitoksen tarjouspyynnöstä. Esimerkissä on suhteellisen tarkkoja numeerisia vaatimuksia. Biokaasulaitoksen lämmönkulutuksen vertailukelpoisuus eri toimittajien välillä on varmistettu vaatimalla tietyt eristeet säiliöille ja rakennuksille. Sähkönkulutuksessa on keskitytty reaktorin ja jälkikaasualtaan sekoitussysteemien energiankulutukseen perustuen luvussa 3.3 esitettyihin tietoihin.

6.2. Edullisimmat kustannukset

Edullisimmilla kustannuksilla tarkoitetaan muuta kuin pelkkää hankintahintaa, esimerkiksi elinkaari-kustannuksia (JHNY 2017). Biokaasulaitosten tai osien kohdalla elinkaarikustannukset voidaan arvioida/todentaa helpoiten, jos koko laitokselle tai sen osille vaaditaan tarjous huoltosopimuksesta tietylle ajalle.

Elinkaarikustannusten laskentaa ja tarjousten vertailua vaikeuttavat eri komponenttien erilaiset hankintahinnat sekä eripituiset käyttöiät (ks. Taulukko 4 ja 8). Liitteessä 3 on esitetty laskentamalli elinkaarikustannuksille, joka ottaa huomioon biokaasulaitoksen vuotuisen nettotuoton (sähkö, lämpö ja biometaani) sekä vuotuiset käyttökustannukset.

Esimerkissä biokaasulaitos on jaettu kokonaisuuksiin, jotka sisältävät useita säiliöitä/laitteita, esimerkiksi ”prosessitekniikka” sisältää pumput, sekoittimet, mittalaitteet jne., joten toimittajien ei tarvitse tarjouspyynnössään eritellä kunkin laitteen hintaa. Kullekin kokonaisuudelle on oletettu tietty käyttöikä.

Mallissa tarjousten pisteytys perustuu tietyillä ehdoilla laskettuun vuotuisen rahalliseen nettotuottoon (tuotot–käyttökustannukset). Täten laskentamalli huomioi esim. kaasunpolttolaitteiden hyötysuhteet ja biometaanin jalostuslaitteiston metaanihävikin.

6.3. Paras hinta-laatusuhde

Julkisissa hankinnoissa hinta-laatusuhteen vertailuperusteet voivat liittyä esim. laadullisiin, yhteiskunnallisiin, ympäristönäkökohtiin tai innovatiivisiin ominaisuuksiin. Laatuun liittyviä perusteita ovat esim. tekniset ansiot, toiminnalliset ominaisuudet, esteettömyys, käyttökustannukset, kustannustehokkuus, myynnin jälkeinen palvelu ja tekninen tuki, huolto ja toimitus- tai toteutusaika sekä muut toimitusehdot (JHNY 2017). Biokaasulaitoksen ympäristönäkökohtina voivat olla esimerkiksi metaani- ja ammoniakkipäästöt. Liitteessä 4 on esimerkki tarjouspyynnöstä, jossa hinnan lisäksi pisteytyksessä painotettu laatuun liittyviä perusteita.

Viitteet

- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. & Janssen, R. 2008. Biogas handbook. University of Denmark. <http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>
- Beck, T., Gailfuß, M., Klein, C., Kukuk, J., Rozanski, K.. 2014. BHKW-Kenndaten 2014/2015. Module, Anbieter, Kosten. ASUE Arbeitskreis Brennstoffzellen/BHKW. https://asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2014/broschueren/05_10_14_bhkw_kenndaten leseprobe.pdf
- Bachmann, N. 2013. Design and engineering of biogas plants. Teoksessa: Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (toim.) 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.
- Bochmann, G. & Montgomery, L.F.R. 2013. Storage and pre-treatment of substrates for biogas production. Teoksessa: Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (toim.) 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.
- Beil, M. & Beyrich, W. 2013. Biogas upgrading to biomethane. Teoksessa: Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (toim.) 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.
- Bothi, K.L. 2007. Characterization of biogas from anaerobically digested dairy waste for energy use. A Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University.
- Darrow, K., Tidball, R., Wang, J. & Hampson, A. 2015. Catalog of CHP technologies. Section 2. Technology characterization—Reciprocating internal combustion engines. U.S: Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies_section_2_technology_characterization_-_reciprocating_internal_combustion_engines.pdf
- De Bok, F. A. M., Plugge, C. M. & Stams, A. J. M. 2004. Interspecies electron transfer in methanogenic propionate degrading consortia. Water Research 38 (6): 1368–1375.
- Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. Biogas from waste and renewable resources. An introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & co. KGaA, Weinheim. ISBN 978-3-527-31841-4.
- Dumont ym. 2013. Methane emissions in biogas production. Teoksessa: Wellinger ym. 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.
- DSW 2015. http://www.dsw-gmbh.eu/fileadmin/PAS/LaFo_1-2015.pdf
- Eder, B. & Schultz, H. 2006. Biogas praxis, Grundlagen-Planung-Anlagenbau-Beispiele-Wirtschaftlichkeit. Staufen bei Freiburg, Ökobuch Verlag.
- Evira 2018. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Jätevesilietteiden käyttö lannoitteena. Internet 24.10.2018: <https://www.evira.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/lannoitteet-ja-lannoitevalmisteet/kierratysravinteet/jatevesilietteet/>
- Ferber, E. & Rutz, D. 2011. Criteria to assess biogas investments: guidelines for financing institutes and investors. IEE project “BiogasIN”. http://www.biogasin.org/files/pdf/WP5/D.5.4_WIP_EN.pdf
- FNR e.V. 2010: Biogas-Messprogramm II, 61 Biogasanlagen im Vergleich. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) e.V., 1. Auflage 2009, aktualisiert 2010, Gülzow.
- Görisch, U. & Helm, M. 2006. Biogasanlagen. Stuttgart, Eugen Ulmer.
- Hahn, H. 2011. Guideline for financing agricultural biogas projects - Training material for biogas investors. http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.7_IWES_EN.pdf
- Hahn, H. 2012. Guideline for financing agricultural biogas projects - Training material for financing bodies. IEE project “BiogasIN”. http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.5_IWES_EN.pdf
- Hobson, P.N. 1990. The treatment of agricultural wastes. Teoksessa: Anaerobic digestion: A waste treatment technology. Critical reports on Applied chemistry, Volume 31, edited by Andrew Wheatley. Amsterdam: Elsevier.

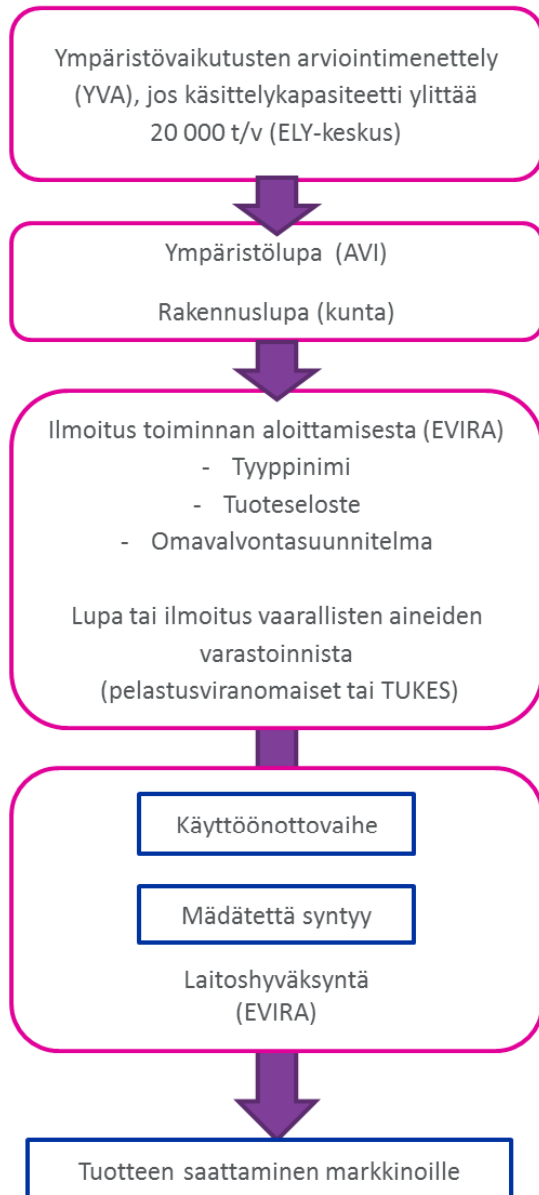
- Huttunen, M.J., Kuittinen, V. & Lampinen, A. 2018. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 21. Tiedot vuodelta 2017. Itä-Suomen yliopisto, 2018. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Sarjajulkaisu no 33. ISBN 978-952-61-2856-6. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-61-2856-6>
- JHNY 2017. Julkisten hankintojen neuvontayksikkö. Kokonaistaloudellisesti edullisimman tarjouksen valinta. Internet 10.5.2017. <http://www.hankinnat.fi/fi/eu-hankinta/tarjousten-valinta/kokonaistaloudellisesti-edullisimman-tarjouksen-valinta>
- Juvonen, Mika 2017. BioKymppi Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 7.2.2017.
- JYSE tavarat 2014. Julkisten hankintojen yleiset sopimusehdot tavarahankinnoissa. Valtiovarainministeriö. Internet 24.10.2018 <https://vm.fi/documents/10623/307565/JYSE+tavarat/2d3cdb9b-1c4c-4dcd-9ee2-0aa282115c45>
- Kalmari, Johanna 2018. Metener Oy Henkilökohtainen tiedonanto. Sähköpostiviesti 19.11.2018.
- Kaparaju, P. & Rintala, J. 2013. Generation of heat and power from biogas for stationary applications: boilers, gas engines and turbines, combined heat and power (CHP) plants and fuel cells. Teoksessa: Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (toim.) 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.
- Karim, K., Klasson, K.T., Hoffman, R., Drescher, S.R., DePaoli, D.W. & Al-Dahhan, M.H. 2005. Anaerobic digestion of animal waste: waste strength versus impact of mixing. *Bioresource Technology* 96, 1771–1781.
- Kowalczyk, A., Harnisch, E., Schwede, S., Gerber, M. & Span, R. 2013. Different mixing modes for biogas plants using energy crops. *Applied Energy* 112, 465–472.
- Kratky, L. & Jirout, T. 2011. Review. Biomass Size Reduction Machines for Enhancing Biogas Production. *Chem. Eng. Technol.* 34, No. 3, 391–399.
- KTBL 2009. Schwachstellen an Biogasanlagen verstehen und vermeiden; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)(Hrsg.), KTBL-Heft 84, 2. Überarbeitete Auflage, Darmstadt 2009.
- Lampinen, A. 2015. 7.4. Jalostus. Teoksessa: Kymäläinen, M & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu, Hämeenlinna. https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja?e=17381678/32751758
- Luostarinen, Juha 2017. Metener Oy. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Lübken, M., Wichern, M., Schlattmann, M., Gronauer, A. & Horn, H. 2007. Modelling the energy balance of an anaerobic digester fed with cattle manure and renewable energy crops. *Water research* 41, p. 4085–4096.
- Marttinen, S., Lehtonen, H., Luostarinen, S. & Rasi, S. 2013. Biokaasuyrittäjän toimintaympäristö Suomessa. Kokemuksia MMM:n investointiavustusjärjestelmästä 2008–2010. MTT raportti 103. MTT Jokioinen. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti103.pdf>
- MMM 2016. Asetus 1559/2016. Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden investointien hyväksyttävistä yksikkökustannuksista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161559>
- Murphy, J. & Thamsiroj, T. 2013. Fundamental science and engineering of the anaerobic digestion process for biogas production. Teoksessa: Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (toim.) 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.
- Naegele, H.-J., Lemmer, A., Oechsner, H. & Jungbluth, T. 2012. Electric Energy Consumption of the Full Scale Research Biogas Plant “Unterer Lindenhof”: Results of Longterm and Full Detail Measurements. *Energies*, 5, 5198–5214.
- Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2013. 4 Biokaasukokeiden materiaalit ja menetelmät. Teoksessa: Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi - käytännön kokemuksia MTT:n maatalokohtaiselta laitokselta. MTT raportti 113.

- Pyykkönen, V., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2013. 5 Maatilanmittakaavan biokaasukokeiden tulokset. Teoksessa: Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maatiloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi - käytännön kokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta. MTT raportti 113.
- Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2017. Käsikirjoitus: Valuegrass-hankkeen raportin käsikirjoitus. Savon Voima 2017. Oma sähköntuotanto. Internet 15.5.2017. <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/sahkoliittyman-tilaus/oma-sahkontuotanto/>
- Steiner, B. 2009. Biogas—Chancen, Risiken und Probleme. BBV-UnternehmerBeratung. <http://media.repro-mayr.de/42/94842.pdf>
- Stroot, P. G., McMahon, K. D., Mackie, R. I. & Raskin, L. 2001. Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions - I. digester performance. Water Research, 35, 1804–1816.
- Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen, S. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. 73 s. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-606-3>
- Thamsiriroj, T. & Murphy, J.D. 2010. Difficulties Associated with Monodigestion of Grass as Exemplified by Commissioning a Pilot-Scale Digester. Energy Fuels, 24 (8), 4459–4469.
- TEDOM 2017. CHP technical datasheet for T30 ST Biogas Indoor Canopy. Internet 6.4.2017. <http://www.shentongroup.co.uk/wp-content/uploads/2016/11/Micro-T30-ST-Biogas-Indoor-Canopy-Datasheet.pdf>
- Vavilin, V. & Angelidaki, I. 2005. Anaerobic degradation of solid material: Importance of initiation centers for methanogenesis, mixing intensity, and 2D distributed model. Biotechnology and Bioengineering, 89, 113–122.
- Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Rätty, M. Pakarinen, T. Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Biokaasuteknologiaa maatiloilla II. Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2016. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-266-9>
- von Mitzlaff, K. 1988. Engines for biogas. A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien GATE, a Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. http://biogas.ifas.ufl.edu/ad_development/documents/Engines%20for%20biogas.pdf
- Walla, C. & Shneeberger, W. 2008. The optimal size for biogas plants. Biomass and bioenergy 32: 551– 557.
- Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (toim.) 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.

Liite 1.

Biokaasulaitoksen perustamisessa tarvittavat luvat ja perusteena oleva lainsäädäntö. Esimerkki sisältää myös myytävälle mädätejäännökselle tarvittavat luvat (Tampio ym. 2018).

Tarvittava lupa ja myöntävä viranomainen



Luvan perusteena oleva lainsäädäntö

Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annettu laki 468/1994 ja asetus 713/2006

Ympäristönsuojelulaki 527/2014
Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999

Lannoitevalmistelaki 539/2006

Maakaasuasetus 551/2009, Vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden turvallisesta käsittelystä ja varastoinnista annettu laki 390/2005 ja asetukset

Lannoitevalmistelaki 539/2006 ja Sivutuoteasetus (EY) N:o 1609/2009

Liite 2.

Esimerkki investointihintaan perustuvasta tarjouspyynnöstä maatilän biokaasulaitokselle

Tässä liitteessä on esitetty tiivistetysti esimerkkitarjouspyyntö maatilalle rakennettavasta biokaasulaitoksesta. Tekniset eritelvät esitetään yleensä tarjouspyynnön liitteenä. Esimerkin tavoitteena on esittää tarjouksessa mahdollisesti huomioitavia asioita. Jokainen laitos on kuitenkin omanlaisensa eikä yksittäistä esimerkkiä tule käyttää suoraan todellisen tarjouspyynnön pohjana.

TARJOUSPYyntö MAATILAN BIOKAASULAITOKSESTA

1. Kohteen kuvaus

[Sijainti, osoite, kartta]

Biokaasulaitos rakennetaan 240 lehmän pihattonavetan yhteyteen. Olemassa olevia lietevarastoja hyödynnetään biokaasulaitoksen tuottaman mädätysjäännöksen varastona. Biokaasulaitoksen tuottamaa sähköä käytetään korvaamaan ostosähköä navetassa, ja lämpöenergialla korvataan kaukolämpöverkossa öljylämmitystä. Olemassa oleva öljykattila tuottaa tulevan biokaasulaitoksen lisäksi lämpöä kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöverkko on liittynyt navetan lämminvesivaraajaan, johon liitetään myös biokaasulaitoksen lämpöverkko. Biokaasulaitoksen tuottamaa liikennebiokaasua aiotaan myydä 30 autolle, jotka kuluttavat polttoainetta 360 MWh/v.

2. Syötteen

Lehmän lietelanta 7000 t/v sekä ylijäämäsilörehu (timotei-nurminata) 600 t/v. Taulukossa 2.1 luetellut ominaisuudet on määritetty laboratoriotesteillä (*[laboratorion nimi]*) ja toimittajan tulee laskea niiden perusteella tarjouksessa ilmoitettavat tuotto- ym. lukemat.

Taulukko 2.1. Syötteen ominaisuudet. BMP = biologinen metaanintuottopotentiali 40 vrk kestäneessä panoskokeessa, $\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ = normaalikuutiota (0 °C, 101,3 kPa) metaania. Kokonaissyötteen ominaisuudet on laskeettu painotettuna keskiarvona.

Ominaisuus	Lietelanta	Säilörehu	Kokonaissyöte
Syöttömäärä (t/vrk)	19,2	1,64	20,8
Kuiva-ainepitoisuus (TS %)	7,0	25,0	8,4
Orgaanisen aineen pitoisuus (VS %)	5,9	23	7,2
Kokonaistyyppi (kg/t)	3	5,3	3,2
Ammoniumtyppi (kg/t)	1,3	0,3	1,2
Fosfori (kg/t)	0,5	0,8	0,5
Kalium (kg/t)	3,3	7,0	3,6
BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t VS}$)	200	330	232
Vuotuinen BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{v}$)	82 600	45 540	128 140

3. Tilattava laitoskokonaisuus ja urakkarajat

Navetan yhteyteen rakennettava jatkuvasyöttöinen märkäprosessi (täyssekoitteinen reaktori tai tulppavirtausreaktori) sekä jälkikaasuallas, jossa on yhtä pitkä viipymä kuin reaktorissa. Reaktori toimii mesofiilisessa lämpötilassa (oletus 37 °C, säädettävissä vähintään 35–43 °C). Toimitus sisältää navetan lietelantakuilun yhteyteen rakennettavan 100 m³ lietesyötesäiliön ("esisäiliö") sekä pumpun

ja putkiston, joka siirtää lietteen navetasta säiliöön. Esisäiliöön asennetaan sekoitin sekä reaktorin syöttöpumppu, jotka voivat käsitellä kuiva-ainepitoisuudeltaan vähintään 9 %:sta lietelantaa (viskosi-teetti noin 16 000 mPa s). Esisäiliöstä tulee olla ohipumppaustoiminto, jolla lietelanta voidaan halutaessa pumpata biokaasulaitoksen ohi suoraan varastosäiliöön. Kasvimassa syötetään reaktorin liete-pinnan alle toimittajan asentamalla syöttöruuvilla, johon tilaaja syöttää seosrehuvaunulla murskatun massan.

Mädätysjäännös poistetaan reaktorista jälkikaasualtaaseen ja edelleen jälkikaasualtaasta (JKA) mädätysjäännösvarastoon automaattisesti pumpaamalla 0,5–1 m syvyydeltä liete-pinnan alta. Liete-pinnat pidetään vakiona automatiikalla. Toimittaja vastaa myös JKA:n ja mädätysjäännösvaraston välisen siirtoputken rakentamisesta ja liittämisestä.

Laitos sisältää vesihöyryn, rikkivedyn ja muiden epäpuhtauksien poistomenetelmät, joilla raaka-biokaasu käsitellään niin, että sitä voidaan käyttää CHP-yksikössä, lämpökattilassa sekä jalostus- ja tankkausyksikössä ja edelleen liikennebiokaasuna. Mahdolliset puhdistuksen käyttökustannukset on huomioitava kunkin laitteen huoltosopimuksen hinnassa, joka sisältää huoltotöiden lisäksi varaosat ja muut tarvikkeet (esim. aktiivihiili).

Reaktorin (35–43 °C) ja teknisen tilan lämmitys (vähintään 18 °C ympäri vuoden) toteutetaan lämminvesikierrolla, johon tarvittava vesi tuotetaan biokaasulaitoksen CHP-yksiköllä ja/tai lämpökattilalla. Toimittaja vastaa biokaasulaitoksen ja navetan lämminvesivaraajan välisen vesiputkiston ja oheistarvikkeiden suunnittelusta ja rakentamisesta.

Laitoksen tulee sisältää julkinen, lain vaatimukset täyttävä liikennebiokaasun (biometaanin tankkausasema). Jalostus- ja tankkausyksikön tulee tuottaa biometaania vähintään 30 autolle, joiden polttoaineen kulutus on yhteensä 360 MWh vuodessa. Biometaanin metaanipitoisuus tulee olla vähintään 90 tilavuusprosenttia. Biometaanin kaasuväara on mitoitettava niin, että 30 autoa voi tankata, kun tankkaus tapahtuu säännöllisin väliajoin.

Laitoksen tulee sisältää seuraavat mittalaitteet ja automatiikan:

- Jatkuvatoinen raakabiokaasun metaanipitoisuusmittari ja biokaasun virtausmittari, joka mittaa kaasun kokonaiskulutuksen (ja siten reaktorin ja JKA:n yhteistuoton)
- Erillinen mittari biometaaninjalostukseen menevälle kaasulle ja tuotekaasun metaanipitoisuudelle
- Mittausmenetelmä, jolla kaasumittarin lukemat muutetaan normaalikuutioiksi (kaasumittarin lämpötilamittaus ja kaasunpaineenmittaus)
- Sähkölaitteet (kWh-mittarit):
 - Koko laitoksen sähkönkulutuksen mittaamiseksi
 - Jokaiselle reaktorin ja jälkikaasualtaan sekoittimelle
 - Jalostus- ja tankkausyksikölle
- Erilliset lämpöenergiamittarit:
 - reaktorin lämmitykseen menevän energian mittaamiseksi
 - kaukolämpöverkkoon menevän lämpöenergian mittaamiseksi
- Sekoittimien tauotus itse määritettävän sekoitusyksen (tauo x min /sekoitus x min) mukaan reaktorin ja jälkikaasualtaan sekoittimille
- Esisäiliön ajastettu sekoitus (itse määritettävä aika) ennen liete-lannan pumpaamista reaktoriin
- Automaattinen käynnistys- ja sammutusominaisuus CHP-yksikölle ja lämpökattilalle sekä kaasuväaran täyttöasteen että kellonajan mukaan
- Tehon säätömahdollisuus CHP-yksikölle (vähintään 50–100 % sähköteholle)
- Tarjouksen tulee sisältää CHP-yksikölle sekä biokaasun jalostus- ja tankkausyksikölle huoltosopimukset, jotka kattavat väh. 2 vuoden takuuajat

4. Numeeriset tekniset vaatimukset laitoskokonaisuudelle

Numeeriset vaatimukset biokaasulaitokselle on esitetty taulukossa 2.2. Laskelmassa lietalannan ja säilörehun tiheydeksi oletetaan $1\,000\text{ kg/m}^3$.

Taulukko 2.2. Numeeriset tekniset vähimmäisvaatimukset biokaasulaitokselle. Tarjouksessa toimittajan tulee täydentää taulukko tarjoamansa biokaasulaitoksen luvuilla. JKA = jälkikaasuallas.

Vaatus	Vähimmäis-vaatus	Toimittajan arvo	Laskentakaava / lisätieto
Reaktorin viipymä	min 24 vrk		= nestetilavuus (m^3) / syötemäärä (t/vrk)
JKA:n viipymä	min 24 vrk		kuten reaktorin viipymä
Reaktorin ja JKA:n eristeiden U-arvo	max 0,3 W/(K·m ²)		Kaikki ulkopinnat eristettävä (seinät, pohja ja katto)
Teknisen tilan eristeiden U-arvo	max 0,4 W/(K·m ²)		Kaikki ulkopinnat eristettävä
Metaanintuotto 6 vk koe-käytön keskiarvona (% BMP:sta)	80 %		Normaalikuutiota (0 °C, 101,3 kPa) metaania, reaktorin ja JKA:n yhteistuotto
Biokaasulaitoksen kokonaissähkönkulutus	max 250 kWh/vrk		Ei saa ylittyä koejaksolla
Reaktorin sekoituksen sähkönkulutus mitoituksella (Taulukko 4)	max 80 kWh/vrk		= sähkönkulutus (Wh/d) / reaktorin nestetilavuus (m^3) / 24 (h/vrk) Keskiarvo ei saa ylittyä koejaksolla
JKA:n sekoituksen sähkönkulutus	max 25 kWh/vrk		
CHP-yksikölle tulevan veden sallittu lämpötilan vaihteluväli	min 40–70 °C		
CHP-yksikön sähköhyötysuhde	min 30 %		Laskettuna metaaninin alemman lämpöarvon mukaan ($1\text{ Nm}^3\text{ CH}_4 = 10\text{ kWh}$)
CHP-yksikön sähkötehon säätöraajat	min 50–100 %		
CHP-yksikön kokonaishyötysuhde	min 87 %		Paluueden lämpötilan ollessa 50–70 °C
Raakabiokaasun varasto	min 600 m ³		
Biometaanin varasto	min 30 autolle		Varasto mitoitettava niin, että 30 autoa voi tankata, kun tankkaus tapahtuu säännöllisin väliajoin
Biokaasunjalostuksen metaanihävikki	max 3 %		

5. Laitoksen vastaanoton edellyttämä käyttöönotto- ja koejakso

Reaktorin käynnistysvaiheen jälkeisessä käyttöönottovaiheessa biokaasulaitosta syötetään normaalisyötteellä (19,2 t/vrk lietalannaa + 1,64 t/vrk säilörehua, vaihtelu enintään $\pm 20\%$) 2 kk ajan, jonka jälkeisellä 6 viikon koejaksolla tulee saavuttaa vähimmäismetäänintuotto sekä alittaa sähkön- ja lämmönkulutuksen maksimiarvot, jotka on mainittu Taulukossa 2.2.

Edustavat syötenäytteet pakastetaan viikoittain koejakson aikana. Jos laitoksen metaanintuotto ei saavuta koejaksolla tavoitearvoa (vähintään 80 % BMP:sta tai toimittajan ilmoittama korkeampi arvo), analysoidaan syötteiden BMP tilaajan valitsemassa laboratorioissa ja lasketaan BMP:n % -toteutuma uudelleen. Jos metaanintuoton vaadittu arvo ei täyty, toimittaja vastaa laitoksen kuntoon saattamisesta niin, että tilaajan vaatimukset täyttyvät (ks. kohta 7. Maksuehdot).

Koko biokaasulaitoksen sekä reaktorin ja JKA:n sekoittimien sähkönkulutuksen, sekä laitoksen lämpöenergian kulutuksen maksimi-arvot (taulukko 2.2) eivät saa ylittyä koejaksolla. Koejaksolla käytetään korkeintaan Taulukossa 2 mainittua reaktorin ja JKA:n sekoitustehoa (kWh/vrk). Energiamittaukset kirjataan ylös vähintään kerran vuorokaudessa. Jos vaaditut energiankulutuksen arvot ylittyvät, toimittaja vastaa laitoksen kuntoon saattamisesta niin, että tilaajan vaatimukset täyttyvät (ks. 7. Maksuehdot).

6. Takuu

Takuuaika koko biokaasulaitokselle tulee olla 1 vuotta (sisältäen prosessitekniikan), säiliöille ja rakenteille 3 vuotta ja kaasunhyödyntämislaitteille 2 vuotta (CHP-yksikkö, lämpökattila sekä biokaasun jalostus- ja tankkausyksikkö). Lisäksi CHP-yksikölle sekä jalostus- ja tankkausyksikölle tulee esittää 2 vuoden huoltosopimuksen hinta. Takuu- ja huoltosopimus alkavat kohdassa 5 mainitun käyttöönottajakson alussa. Huoltosopimus sisältää huoltotyöt ja varaosat.

7. Maksuehdot

Toimittaja on oikeutettu laskuttamaan sovitut maksut, kun biokaasulaitos on toimitettu ja koejaksolla (ks. kohta 5) on saavutettu tarjouspyynnössä (Taulukko 2.2) vaaditut vähimmäistuottoarvot. Lasku eräännyy maksettavaksi 21 päivän kuluttua hyväksyttävän laskun saapumisesta.

Jos toimittaja ei saa biokaasulaitosta vähimmäistuottoarvojen saavuttamisen edellyttämään kuntoon kohtuullisessa ajassa (enintään 3 kk), on tilaajalla oikeus toimittajan kustannuksella korjauttaa tavara kolmannella osapuolella tai hankkia kolmannelta osapuolelta korvaava vastaavan tasoinen tavara (kateosto-oikeus). Tilaajan on ilmoitettava toimittajalle oikeutensa käyttämisestä ennen kateoston tekemistä. Jos toimittaja ei saa laitosta kuntoon kohtuullisessa ajassa, hankintasopimus purkautuu.

Jos biokaasulaitoksessa havaitaan jokin muu virhe, joka estää laitoksen ottamisen sille tarkoitettuun käyttöön, tilaaja on oikeutettu pidättäytymään kauppahinnan maksusta siihen saakka, kunnes toimittaja on poistanut virheen.

Ennakkomaksu on enintään 50 % biokaasulaitoksen kokonaishinnasta. Jos tilaajan on maksettava ennakkoa, toimittajan on jätettävä ennen ennakon suorittamista tilaajalle tämän hyväksymä vakuus, jonka tulee olla vähintään 15 prosenttia suurempi kuin suoritettava ennako. Vakuuden on oltava voimassa vähintään kuukausi sen jälkeen, kun hankintasopimuksen mukainen toimitusaika on päätynyt. Toimittajan on toimituksen viivästyessä jatkettava vakuuden voimassaoloaika (JYSE 2014 tavarat).

Jos tilaaja on maksanut ennakkoa, toimittaja suorittaa hankintasopimuksen purkautuessa tilaajalle takaisin saamansa ennakon ja korkoa korkolain mukaisesti laskettuna ennakon suorituspäivästä takaisinmaksupäivään.

8. Tarjousten hinnoittelu ja pisteytys

Tarjouksessaan toimittaja täyttää Taulukon 2.3 hintatiedot. Tarjouskilpailun voittaja on vähimmäisvaatimukset täyttävistä biokaasulaitoksista se, jonka biokaasulaitoksen ja huoltosopimusten yhteenlaskettu hinta on edullisin.

Taulukko 2.3. Biokaasulaitoksen ja huoltosopimusten hinnat. Tarjouksessa toimittajan tulee täydentää taulukko tarjoamansa biokaasulaitoksen luvuilla.

	€, alv 0 %
Biokaasulaitoksen kokonaishinta	
CHP-yksikön huoltosopimus 2 v takuuajalle	
Jalostus- ja tankkausyksikön huoltosopimus 2 v ajalle	
YHTEENSÄ	

Liite 3.

Esimerkki elinkaarikustannukseen perustuvasta tarjouspyynnöstä maatalan biokaasulaitokselle

Tässä esimerkkitarjouspyynnössä Liitteessä 2 kuvaillun biokaasulaitoksesta tehtävien tarjousten kilpailutus perustuu edullisimpiin kustannuksiin (elinkaarikustannuksiin, kohta 7.).

Punaisella esimerkki toimittajan antamista luvuista (kuvitteellinen).

Kohdat 1.–6. Ja 7. kuten liitteessä 2

7. Elinkaarikustannusten laskenta ja pisteytys

Elinkaarikustannukset lasketaan Taulukoiden 3.1 ja 3.2 tietojen perusteella. Tilaajan määrittämät energian hinnat on ilmoitettu Taulukossa 3.1. Tarjouksessaan toimittajan tulee täydentää taulukko 3.1 takaamallaan vähimmäisenergiantuottolukemilla.

Taulukko 3.1. Biokaasulaitoksen nettotuotot ja niiden rahallinen arvo. Tarjouksessa toimittaja täyttää puuttuvat tuottotiedot.

Biokaasun käyttökohteet, osuudet tuotetusta metaanista (tilaaja täyttää)		
Lämmöntuotantoon, %	10	
CHP-tuotantoon, %	55	
Liikennebiokaasun tuotantoon, %	35	
Yhteensä %	100	
Tuottoluku	Toimittajan arvo	Mihin arvo perustuu?
Syötteiden BMP (kWh/v)	1281400	Taulukko 1
BMP:n toteutuma laitoksessa, %	80	Toimittajan takuuarvo
Laitoksen CH ₄ -tuotto, kWh/v	1025120	=BMP (kWh/v)*toteutuma%/100*metaanivuoto/100
Lämpökattilan hyötysuhde, %	90	Laitetoimittajan tieto
Lämpökattilan lämmöntuotto, kWh/v	92261	=Laitoksen CH ₄ -tuotto*käyttökohde%/100*hyötysuhde%/100
CHP sähköhyötysuhde, %	31	Laitetoimittajan tieto
CHP sähköntuotto, kWh/v	174783	=Laitoksen CH ₄ -tuotto*käyttökohde%/100*hyötysuhde%/100
CHP lämpöhyötysuhde, %	89	Laitetoimittajan tieto
CHP lämmöntuotto, kWh/v	501796	
Jalostusyksikön metaanihävikki, %	3,0	
Jalostusyksikön liikennekaasuntuotto, kWh/v	328038	=Laitoksen CH ₄ -tuotto*käyttökohde%/100-metaanihävikki
Säntön omakulutus	71758	
Lämmön omakulutus	205024	
NETTOSÄHKÖNTUOTTO	103025	=sähköntuotto - omakulutus
NETTOLÄMMÖNTUOTTO	389033	=lämmöntuotto - omakulutus
Energian arvo €/kWh (tilaaja täyttää)		
Nettosähkön arvo, €/kWh	0,10	
Nettolämmön arvo, €/kWh	0,06	
Liikennebiokaasun arvo, €/kWh	0,11	=kg-hinta/kg:n alempi lämpöarvo
Vuotuiset energiatulot (toimittaja täyttää)		
Nettosähkö €/v	10302	
Nettolämpö €/v	23342	
Liikennebiokaasu €/v	36084	
Energiatulot yhteensä €/v	69729	

Taulukko 3.2. Elinkaarikustannusten laskenta. Kunkin osion hankintahinta sisältä asennuksen ja säiliöiden/rakennusten osalta mahdolliset pohjatyöt. Kaikki hinnat alv 0 %.

Osio	Hankintahinta (€)	Poisto-aika (v)	Poisto-kustannus (€/v)	Käyttö-kustannus (€/v)	Kustannus yht. (€/v)	Käyttökustannuksen (€/v) laskutapa
Prosessiteknikka	150000	7	21429	7500	28929	5 % hankintahinnasta
Säiliöt, rakennukset ja kaasuväkästöt	150000	20	7500	3000	10500	2 % hankintahinnasta
Lämpökattila	10000	7	1429	500	1929	5 % hankintahinnasta
CHP-yksikkö	60000	7	8571	5000	13571	Huoltosopimuksen hinta €/v
Jalostus- ja tankkausyksikkö	120000	7	17143	5000	22143	Huoltosopimuksen hinta €/v
Muut kulut (suunnittelu, projektijohdaminen ym.)	30000	20	1500	0	1500	Ei käyttökustannuksia
Yhteensä (€, alv 0 %)	520000	-	57571	21000	78571	

Tarjousten pisteytys

Tarjouskilpailun voittaa toimittaja, jonka tarjoamalla vähimmäisvaatimukset täyttävällä biokaasulaitoksella on suurin vuotuinen nettotuotto, joka lasketaan kaavalla 1:

$$\text{Nettotuotto (€/v)} = \text{Tuotot (€/v)} - \text{Kustannukset (€/v)} \quad (1)$$

Jossa tuotot on laskettu Taulukon 3.1 ja kustannukset Taulukon 3.2 perusteella.

Esimerkilaskelma: 69729 €/v – 78571 €/v = -8842 €/v (negatiivinen eli kannattamaton ilman investointitukea).

Liite 4.

Esimerkki parhaaseen hinta-laatusuhteeseen perustuvasta tarjouspyynnöstä maatilan biokaasulaitokselle

Tässä esimerkkitarjouspyynnössä Liitteessä 2 kuvaillulle biokaasulaitokselle tehtävien tarjousten kilpailutus perustuu parhaaseen hinta-laatusuhteeseen.

[Tarjouspyynnön kohdat 1.–6. (kohteen kuvaus ja vähimmäisvaatimukset) ja 7 (maksuehdot) voidaan kirjoittaa esimerkiksi kuten liitteessä 2]

Tarjousten pisteytys

Kilpailutuksessa painotetaan laatua seuraavasti:

Hinta huoltosopimuksineen (€), painoarvo 70 %

Toimittajan referenssit (kpl rakennettuja biokaasulaitoksia), painoarvo 20 %

Pienin jalostuslaitteiden metaanihävikki (%), painoarvo 10 %

Vertailuhinnaltaan halvimman hinnan ilmoittanut tarjoaja saa täydet 70 pistettä ja muiden tarjoajien pisteet suhteutetaan halvimpaan tarjoukseen kaavalla 1:

halvin hinta/tarjoajan hinta*70 (1)

Eniten biokaasulaitoksia rakentanut tarjoaja saa täydet 20 pistettä ja muiden tarjoajien pisteet lasketaan kaavalla 2:

tarjoajan laitoslukumäärä/suurin laitoslukumäärä*20 (2)

Pienimmän jalostushävikin ilmoittanut tarjoaja saa täydet 10 pistettä ja muiden tarjoajien pisteet lasketaan kaavalla 3:

pienin metaanihävikki/tarjoajan metaanihävikki*10 (3)

Esimerkilaskelma:

	Hinta €	Hinta- pisteet	Referenssit kpl	Referenssi- pisteet	CH ₄ -hävikki %	Hävikki- pisteet	Kokonais- pisteet
Tarjoaja 1	300 000	70,0	1	2	1,0	2	74,0
Tarjoaja 2	350 000	60,0	8	16	0,2	10	86,0
Tarjoaja 3	400 000	52,5	10	20	2,0	1	73,5

Esimerkkitaupauksessa toimittajaksi valittaisiin korkeimman kokonaispistemäärän saanut Tarjoaja 2.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000