



273

Raportteja

Kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston hankinta- ja muunnos- mahdollisuudet

CircVol-hankkeen selvitys

Ritva Ippola, Ville Annunen, Panu Aho, Aimo Karjalainen,
Jere Jäkäläniemi & Virpi Käyhkö

Kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston hankinta- ja muunnos- mahdollisuudet

CircVol-hankkeen selvitys

Turun ammattikorkeakoulun raportteja 273

Turun ammattikorkeakoulu

Turku 2020

ISBN 978-952-216-779-8 (pdf)

ISSN 1459-7764 (elektroninen)

<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522167798.pdf>

Turun AMK:n sarjajulkaisut: turkuamk.fi/julkaisut

Sisällys

	Biokaasusanastoa.....	5
1	Johdanto.....	6
2	Biokaasu osana liikenteen energiaratkaisua	9
	2.1 Biokaasu ja biometaan	9
	2.2 Biometaan liikenteessä	10
	2.3 Biometaanin käytön haasteet moottoripolttoaineena	15
3	Biometaanin käyttöympäristö Oulussa	18
4	Biometaanin käyttöympäristö Turussa	21
5	Ajoneuvoluokittelu ja käyttövoimat.....	23
6	Kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston hankinta	25
	6.1 Henkilöautot	25
	6.2 Pakettiautot	29
	6.3 Kuorma-autot	30
	6.4 Linja-autot	31
	6.5 Biokaasun käyttö maataloudessa	33
7	Olemassa olevan ajoneuvokaluston muunnostyöt biokaasukäyttöön.....	38
	7.1 Henkilöautot	39
	7.2 Kuorma- ja pakettiautot	43
	7.3 Linja-autot	44
	7.4 Moottorityökoneet	44
	7.5 Traktorit	45
8	Kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston taloudellinen kannattavuus	47
	8.1 Kannattavuus julkisessa liikenteessä	47
	8.2 Kannattavuus henkilöautoliikenteessä	49

9	Oulun ammattikorkeakoulun biokaasukontin testien keskeiset tulokset ja soveltaminen käytäntöön.....	51
9.1	Koeympäristön yleiskuvaus	52
9.2	Järjestelmä ja rakennekaavio	53
9.3	Käyttönoton yhteydessä suoritettu demonstraatio	55
9.4	Hyötysuhde	55
9.5	Päästöt	58
9.6	Yhteenveto	60
10	Biokaasun käytön mahdollisuudet Oulun Välimaalla alustalla	62
10.1	Ajoneuvomäärät Välimaalla ja sinne johtavilla teillä	62
10.2	Biokaasun käyttöedellytysten kehittäminen Välimaalla	63
11	Yhteenveto.....	67
	Lähteet	70

Biokaasusanasto

Bi-fuel	Ajoneuvo, joka voi käyttää kahta erilaista polttoainetta eri aikaan, esimerkiksi kaasuhybridiauto, joka käyttää kerrallaan bensiiniä tai biokaasua.
Biokaasu	Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy, kun biomassaa hajotetaan anaerobisesti mädättämällä.
Biometaani	Biometaani on yhteisnimitys enimmäkseen metaanista koostuville ja biologisesta materiaalista tuotetuille kaasuille.
CBG	Compressed BioGas, Paineistettu biokaasu.
CH ₄	Metaani on yksinkertaisin hiilivety ja alkaani. Se on hajuton, ilmaa kevyempi kaasu.
CHP	Combined Heat and Power, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto.
CNG	Compressed Natural Gas, Paineistettu maakaasu.
CO	Hiilimonoksidi eli häkä on hiilen ja hapen yhdiste, jota syntyy esimerkiksi epätäydellisessä palamisessa.
CO ₂	Hiilidioksidi on hiilen ja hapen yhdiste, jota kasvit käyttävät yhteyttämisessä ja joka on merkittävin kasvihuonekaasu.
Dual-fuel	Ajoneuvo tai työkone, joka käyttää yhtä aikaa kahta eri polttoainetta, esimerkiksi polttoöljyä ja biokaasua.
LBG	Liquefied BioGas; Nesteytetty biokaasu.
LNG	Liquefied Natural Gas, Nesteytetty maakaasu.
Mono-fuel	Mono-fuel tarkoittaa ajoneuvoa tai työkoneita, joka käyttää yhtä polttoainetta. Yleensä polttoaine on joko bensiini tai diesel. On olemassa myös bio- tai maakaasulla toimivia monofuel-ajoneuvoja ja työkoneita.
Raakabiokaasu	Kaasuseos, jota syntyy orgaanisen materiaalin anaerobisessa mätänemisessä tai biokaasulaitoksen biokaasureaktorissa.
TWh	Terawattitunti (TWh) on energian yksikkö, jota käytetään tuotetun energiamäärän, sähkön ja lämmön, ilmaisemiseen. 1 TWh = 1 000 GWh = 1 000 000 MWh = 1 000 000 000 kWh; 1 TJ = 0,278 GWh.

1 Johdanto

Riippuvuuden vähentäminen fossiilisista polttoaineista on yhteiskuntamme kestävyiden kannalta ydinkysymyksiä lähivuosikymmeninä. Nopeimmin tuloksia saavutetaan, kun panoksia suunnataan kehityshankkeisiin, joilla esimerkiksi nykyistä polttomoottorikalustoa pystytään suhteellisen pienin muutoksin hyödyntämään biomassaperäisten uusiutuvien polttoaineiden käytössä. Biomassaperäinen metaani (biokaasu) on eräs lupaavimmista tulevaisuuden polttoaineista, jonka liikennekäytön edellytyksiä on mahdollista lisätä merkittävästi suhteellisen helpoin toimenpitein. Esimerkkinä tästä voidaan mainita Ruotsi, jossa on rekisteröitynä jo yli 40 000 kaasuautoa. Suomessakin kiinnostus kaasuautojen hankintaan lähti vuonna 2019 jyrkkään nousuun ja vuoden loppuun mennessä kaasuautoja oli rekisteröity jo yli 10 000.



Kuva 1.
Biokaasulla kulkeva pakettiauto.

Tämä selvitys on toteutettu osana CircVol 6Aika-hanketta (www.circvol.fi). Hankkeen tarkoitus on edistää kiertotalouden mukaista liiketoimintaa sekä suurivolyymisten teollisten sivuvirtojen hyödyntämistä. Yritykset kehittävät CircVol-hankkeessa uusia ratkaisuja ja soveltavat jo olemassa olevia menetelmiä. Kiertotalousajattelu lähtee siitä, että ympäristön kantokyky on ääri rajoillaan ja on luovuttava perinteisistä liiketoimintamalleista ja varsinainen jätteen syntyminen minimoitava. Teollisuuden sivuvirtoja ei tällä hetkellä hyödynnetä riittävästi ja esimerkiksi polttoaineeksi kelpaavaa biometaanua on mahdollista tuottaa lähes kaikesta eloperäisestä jätteestä joko mädätyksellä tai termokemiallisen prosessin avulla.

Vähähiilisen liikenteen ja biotalouden sivuvirtojen hyödyntämisen edistämiseksi Oulun ammattikorkeakoulu ja Turun AMK ovat laatineet tämän selvityksen, jonka pohjalta tehdään sähköinen käsikirja biokaasukäyttöisen ajoneuvokaluston teknistaloudellisista hankinta- ja muunnosmahdollisuuksista. Selvityksen ja käsikirjan tarkoituksena on tukea yritysten ja julkisten organisaatioiden kuljetuskalustojen hankinnan suunnittelua ja edistää kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston yleistymistä. Selvitykseen sisällytetään CircVol-hankkeessa Oulun ammattikorkeakoululle toteutettavassa liikenteen monipolttaineratkaisuja testaavassa demonstraatioympäristössä koottu tieto.



Kuva 2.
Biokaasulla kulkeva jäteauto.

Kiertotaloudessa, ympäristöteknologiassa ja kaikkien sektoreiden vähäpäästöisemmissä tavoitteissa eletään tällä hetkellä murrosvaihetta, jossa edetään nopeasti eteenpäin. Siksi ajantasainen tieto muuttuu kovaa vauhtia mukaan lukien tämä selvitys ja hyvä niin, sillä jokainen askel kohti ympäristöystävällisempää arkea on hyvä askel.

2 Biokaasu osana liikenteen energiaratkaisua

2.1 Biokaasu ja biometaani

Raakabiokaasua muodostuu eloperäisestä jätteestä anaerobisessa mätänemisprosessissa esimerkiksi kaatopaikoilla, jätevedenpuhdistamoilla tai maataloilla. Raakabiokaasu koostuu pääasiassa metaanista (CH_4) ja hiilidioksidista (CO_2), ja metaani on energiankäytön kannalta olennainen komponentti. Raakabiokaasua voidaan käyttää sellaisenaan tai hieman puhdistettuna polttamalla paikalliseen energiantuotantoon, jolloin siitä saadaan CHP-laitteistolla (Combined Heat and Power) sähköä ja lämpöä. Tämä on biokaasun yleisin käyttötapa Suomessa. Monet kaasua tuottavista laitoksista käyttävät osan tuotetusta lämmöstä ja sähköstä laitoksen omiin tarpeisiin.

Biokaasun raaka-aineeksi soveltuvat yhdyskuntien biojätteet, teollisuuden jätteet ja sivutuotteet sekä maatalouden peltobiomassat ja kotieläinten lanta. Kaikki nämä raaka-aineet yhteenlaskettuna Suomessa on vuosittain arviolta noin 23,2 TWh edestä lähes käyttämätöntä raaka-ainepotentiaalia, joka sopii sekä energiantuotantoon että puhdistettuna liikennekäyttöön. Kaikkea tästä potentiaalista ei ole mahdollista teknistaloudellisesti hyödyntää, mutta hyödynnettävissä olevaksi määräksi on arvioitu 9,2 TWh ja siitä biometaanin määräksi nykytekniikalla 7,59 TWh. (Tähti and Rintala 2010)

Biokaasua voidaan puhdistettuna ja jatkojalostettuna käyttää liikennepolttoaineena. Puhdistettu biokaasu eli biometaani soveltuu hyvin liikenteen polttoaineeksi. Biokaasun liikennekäyttö edellyttää sen puhdistamista mädätysprosessin aikana syntyneestä hiilidioksidista, jota biokaasussa on tyypillisesti n. 35 % (Mielonen 2017). Kaasun metaanipitoisuus saadaan tällä tavoin nostettua liikennekäytön vaatimalle

tasolle, joka on vähintään 95 %. Tämän lisäksi jalostusprosessiin kuuluu erilaisten epäpuhtauksien poisto, jotka voisivat olla haitallisia moottoriprosessille ja/tai pakokaasujen jälkikäsitelyjärjestelmille. Liikennekäyttöön tarkoitettu kaasu voidaan joko paineistaa (200°bar), jolloin se sopii henkilöautokäyttöön tai nesteyttää, jolloin raskas liikenne voi hyödyntää sitäkin.

Biometaania voidaan valmistaa myös synteettisesti, esimerkiksi Power-to-Gas -menetelmällä erottelemalla vedestä vetyä ja yhdistämällä sitä ilmasta saatavaan tai esimerkiksi jossain teollisessa prosessissa tai raakabiokaasun puhdistuksessa vapautuvaan hiilidioksidiin. Menetelmä vaatii runsaasti energiaa, ja siksi siihen käytetäänkin esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoimaloiden ylijäämäsähköä. Näin tuotettu synteettinen metaani voi toimia myös sähkön varastointimenetelmänä.

Biokaasu, jonka metaanipitoisuus on nostettu lähelle 100 prosenttia sekä puhdistettu epäpuhtauksista, kuten siloksaaneista ja rikkiyhdisteistä vastaa karkeasti energiasisällöltään ja käyttöominaisuuksiltaan fossiilista maakaasua. Ajoneuvot pystyisivät käyttämään ongelmitta matalajalosteisempaakin kaasua, mutta korkea jalostusaste on tarpeen, mikäli biokaasua seostetaan fossiilisen maakaasun kanssa. Tällöin biokaasun jakelu voidaan toteuttaa tukeutuen olemassa olevaan maakaasuinfrastruktuuriin, samaan tapaan kuin nestemäisiä uusiutuvan polttoaineen komponentteja voidaan seostaa fossiilisten polttoaineiden (benssiini ja diesel) kanssa. Tekniseltä kannalta fossiilisen maakaasun sekä jalostetun ja puhdistetun biokaasun eli biomeetaanin käytössä ei siis ole eroa, vain synty tapa on erilainen.

Liikennekäytössä käytettävästä puhdistetusta ja jalostetusta biokaasusta eli biomeetaanista käytetään sekä puhekielessä että kirjallisuudessa usein lyhyesti käsitettä biokaasu.

2.2 Biometaani liikenteessä

Kaasun siirrosta kaasuverkossa vastaa Suomessa erillinen valtionyhtiö Gasgrid Finland. Suomen maakaasuverkko ulottuu vuonna 2020 vielä vain Kaakkois- ja Etelä-Suomeen sekä Tampereen seudulle. Vuoden 2020 alussa kaasumarkkinat vapautuivat Suomessa ja aikaisemmin kaasuverkkoa ylläpitänyt Gasum jatkaa putkikaasun ja nesteytetyn maakaasun maahantuojana ja tukkukauppiaana. Lisäksi Gasum valmistaa ja myy biokaasua liikenteen sekä teollisuuden käyttöön. Kun kaasumarkkinat vapautuivat, toi se myös muita toimijoita kaasumarkkinoille ja kaasua toimitetaan nyt Venäjältä tulevan kaasulinjan lisäksi Suomen ja Viron välistä Balticcon-

nector-putkea pitkin Baltian kaasumarkkinoilta. Suomenlahden pohjassa kulkevan uuden putkilinjan myötä Suomeen rantautuu myös uusia kaasun toimittajia ja mahdollisesti kaasulinjassa kulkee myös muualla tuotettua biokaasusta puhdistettua biometaanina.

Biometaanin ja maakaasun käyttö osana liikenteen energiaratkaisua edellyttää kattavaa tankkausverkostoa. Alkuvuonna 2020 Suomessa on noin 50 tankkausasemaa, joista saa joko pelkkää maakaasua, pelkkää biometaanina tai näiden sekoitusta, riippuen asemasta ja sen toimijasta. Tankkausverkosto ylittää toistaiseksi vasta Oulun korkeudelle. Tankkausasemaverkosto laajenee seuraavien vuosien aikana merkittävästi. Lupia on myönnetty lähes 20 uudelle kaasutankkausasemalle.



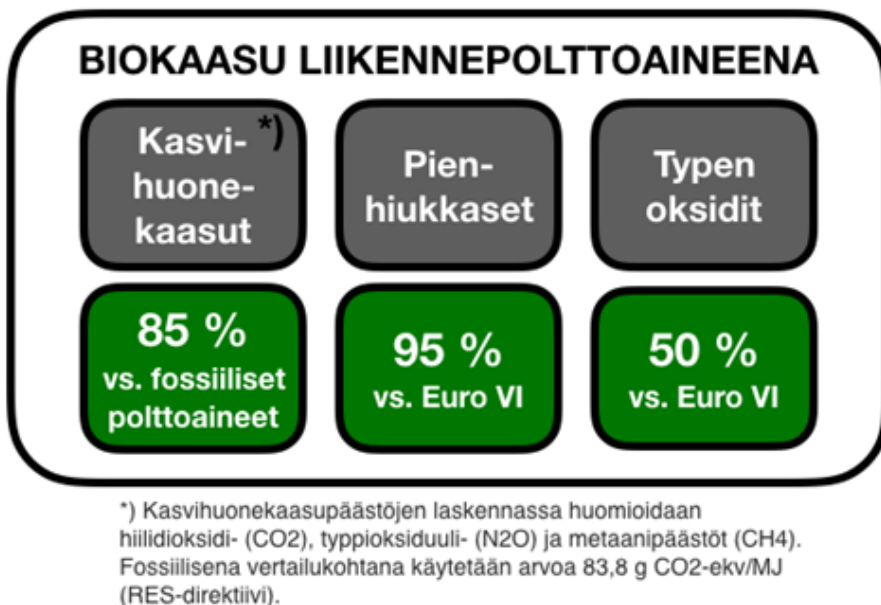
Kuva 3.

Snellman Oy:n biokaasun tankkausasema Pietarsaareissa on tämän hetken uusin tankkausasema Suomessa. Kuva: Ritva Impola.

Liikenteen vaihtoehtoisia käyttövoimia koskevassa kansallisessa jakeluinfraohjelmassa tavoitteeksi on asetettu, että Suomeen rakennetaan vuoteen 2030 mennessä jakeluverkko liikennekaasulle. Jakeluverkossa paineistetun kaasun jakeluasemia on vähintään 150 km välein ja nesteytetyn kaasun jakeluasemia vähintään 400 km välein.

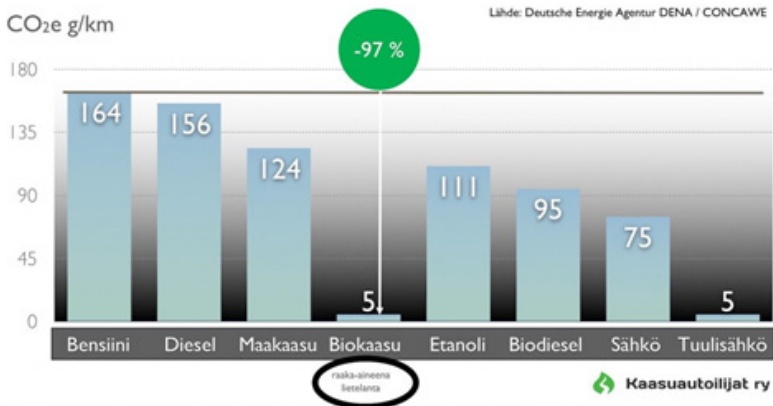
Vuosina 2016–2017 on julkaistu kaksiosainen biokaasun liikennekäyttöön liittyvää EU-tason standardi EN 16723, joka käsittää osat *Specifications for biomethane for injection in the natural gas network* (CEN 2016) sekä *Automotive fuels specification* (CEN 2017). Kyseisissä dokumenteissa otetaan kantaa mm. erilaisten epäpuhtauksien sallittuihin maksimitasoihin liikennelaatuisiksi puhdistetutussa biometaanissa. Lisäksi mikäli kaasua syötetään maakaasuverkkoon, jossa se seostetaan fossiilisen maakaasun kanssa, tulee sen täyttää myös fossiiliselle maakaasulle standardissa EN 16726 määritelty vaatimus polttoaineen suurimmasta sallitusta hiilidioksidipitoisuudesta, joka on joko 2,5 % tai 4,0 % moolimassasta käyttösovelluksesta riippuen (CEN 1999).

Biometaanin käyttö liikenteen polttoaineena on keino vähentää liikenteen kasvihuonekaasu-, pienhiukkas- ja typpipäästöjä.



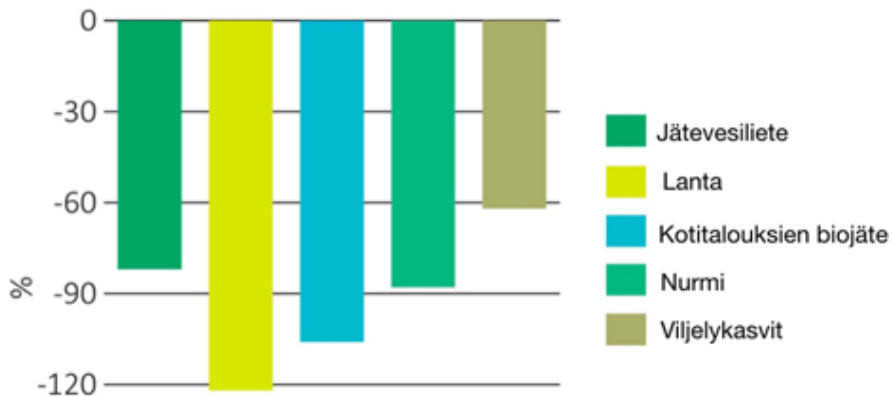
Kuva 4.
Biokaasun ominaisuuksia polttoainekäytössä.

BIOKAASU ON VÄHÄPÄÄSTÖISIN LIIKENTEEN KÄYTTÖVOIMA



Kuva 5.
Käyttövoimien päästövertailua.

Biometaanin alkuperä määrittää mikä on kasviuonekaasujen päästövähennä fossiilisiin bensiiniin ja dieseliin verrattuna.



Eri raaka-aineista tuotetun biokaasun tuottama kasviuonekaasujen päästöjen vähenemä fossiiliseen bensiiniin ja dieseliin verrattuna. Kasviuonekaasupäästöt laskettuna elinkaarianalyysin ISO-standardin mukaisesti.

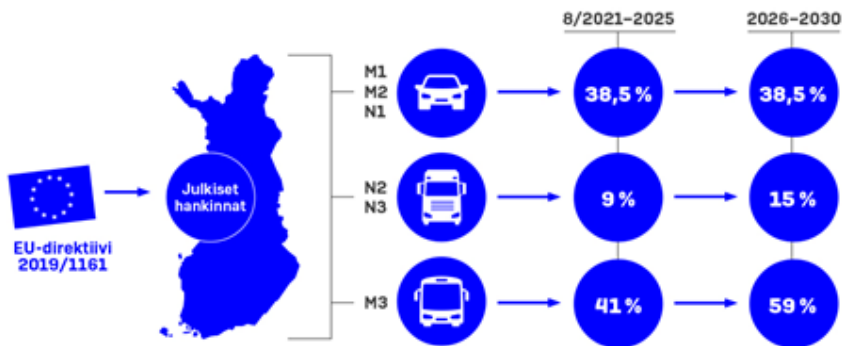
Lähde: energigas.se Proposal for National Biogas Strategy 2.0, 2018.

Kuva 6.
Biokaasun CO₂-vähenemä syntyperän perusteella fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.

Liikenteen energiankulutus oli Suomessa vuonna 2018 n. 50 TWh, joten biometaanin tulee olemaan merkittävä osa päästöttömän liikenteen ratkaisua. Tällä hetkellä ollaan vielä alkumatkassa ja biometaanin käyttöä vuonna 2017 liikenteessä vasta 30,2 GWh, joka on noin 0,4 % biometaanin potentiaalista. Vuonna 2017 nähtiin kuitenkin selvä nousu edellisvuodesta. Yksi selkeä syy nousuun oli biometaanin lisääntynyt käyttö raskaassa liikenteessä kunnallispoliittisten päätösten seurauksena. Tuona vuonna Suomessa kaupunkiliikenteen busseja ja jätekujiä ryhdyttiin ajamaan myös biometaanilla (Huttunen and Kuittinen 2018).

Suomessa ryhdytään elokuusta 2021 soveltamaan EU:n direktiiviä puhtaiden ajoneuvojen julkisista hankinnoista. Tarkoituksena on lisätä nolla- ja vähäpäästöisten ajoneuvojen osuutta, kun tehdään julkisia ajoneuvo- ja kuljetuspalveluhankintoja. Vaatimuksia sovelletaan, kun julkinen hankintayksikkö ostaa, vuokraa, leasingvuokraa, maksaa osamaksulla tai hankkii tiettyjä liikennepalveluhankintoja, kuten jätekeräys- tai postipalveluita. Näistä hankinnoista tietyn osuuden täytyy olla ns. puhtaita ajoneuvoja eli niiden hiilidioksidipäästöt ovat alhaiset ja ne käyttävät polttoaineena biopolttoaineita, sähköä, vetyä tai kaasua. Ajoneuvot, joita tämä koskee ovat henkilö-, paketti- ja linja-autot sekä raskaat ajoneuvot. Seuraavassa kuvassa on esitetty puhtaiden ajoneuvojen minimiosuudet elokuusta 2021 lähtien.

Puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen minimiosuus julkisissa hankinnoissa



Kuva 7.

Puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen minimiosuus julkisissa hankinnoissa elokuusta 2021 alkaen. (Kuva: LVM).



Kuva 8.

Biokaasubusseilla on suuri merkitys puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen minimiosuuden täyttämässä.

2.3 Biometaanin käytön haasteet moottoripolttoaineena

Metaani (CH_4) on yksinkertaisin tuntemamme hiilivety. Hiilen suhteellinen osuus on siinä pienempi kuin pitkäketjuisempia hiilivetyjä sisältävissä polttoaineissa kuten bensiini tai dieselöljy. Täydellisessä palamisessa metaanin hiilidioksidipäästöt poltettua massayksikköä kohti ovat tällöin pienemmät ja vesihöyryä syntyy vastaavasti enemmän. Monissa kokeellisissa tutkimuksissa on myös todettu metaanipolttoaineella pienemmät häkä-, typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt. Metaanin tehollinen lämpöarvo (50 MJ/kg) on myös verraten hyvä (dieselillä noin 42 MJ/kg). Nämä tekijät tekevät metaanista periaatteessa erinomaisen polttoaineen.

Samalla on kuitenkin todettava, että käytännössä on myös joissain kaksoispolttoainesovelluksissa todettu haasteita saavuttaa metaanin täydellinen palaminen, jolloin palamatonta metaania pääsee ”vuotamaan” ilmakehään. Metaani on tunnetusti, lähteestä riippuen, 20–30 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi, joten tämä ”metaani-slip”-ilmiö saattaa jossain tapauksissa nollata tai kääntää negatiivisiksi vähähiilisydestä saavutetut hyödyt.

Metaanislipin vähentämiseksi on pääasiassa kaksi strategiaa: metaanin poistaminen pakokaasuista jälkikäsitteilylaitteistoin tai palamisen tehostaminen sylinterissä siten, että slippiä syntyy vähemmän. Perinteisenä ratkaisuna on ollut hapettavat katalyysaattorit, jotka muuntavat palamatta jääneen metaanin vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi. Haasteena metaanin tapauksissa on korkeaenergiset sisäiset sidokset molekyyalitasolla, jolloin hapettaminen vaatii paljon energiaa ja toimii tällöin heikosti etenkin matalilla lämpötilasoilla. Tämä on haasteellista dieselmoottorin pakokaasujen kannalta, joiden lämpötila voi vaihdella kuormituksen mukaan välillä 100–600 °C. Aiheeseen vaaditaan tämän vuoksi lisää tutkimuspanoksia.

Imuilman esikäsitteily membraanierotustekniikalla on kiinnostava uusi tekniikka, jolla dual fuel-moottorin päästöjä voitaisiin vähentää. Alhaiset päästöt perustuvat mahdollisimman täydelliseen palamiseen sekä liekkirintaman vaivattomaan etenemiseen sylinterissä. Kaasumaisella polttoaineella on havaittu ongelma, että liekkirintaman eteneminen sylinterissä pysähtyy yleensä muutama millimetri ennen seinämiä, jolloin seinämien läheisyyteen jää palamatonta polttoainetta. Ratkaisuksi Tajima & Tsuru (Tajima and Tsuru 2013) esittävät kalvoerotustekniikan, jolla moottoriin syötettävä imuilma voidaan jakaa happirikastettuun (OEA) sekä typpirikastettuun (NEA) komponenttiin. Komponentit syötetään sylinteriin kahta erillistä imukanavaa pitkin. NEA-ilma syötetään sylinterin keskiosaan, jossa sillä korkeassa lämpötilassa tapahtuvan palamisen aikana on suotuista vaikutus typenoksidipäästöjen vähentäjänä (joka kaasumoottorin tapauksessa on toki muutoinkin alhaisella tasolla). OEA-ilma taas syötetään tarkoitusta varten muotoillun imukanavan kautta pyörteileväksi virtaukseksi sylinterin seinämien läheisyyteen. Tällöin sylinterin seinämän läheisyydessä on paikallisesti korkeampi happipitoisuus, joka helpottaa palamista ja liekkirintaman sammumisilmiötä. Konsepti on todennettu simulointikokein toimivaksi ja seuraava askel olisi valmistaa prototyyppi ja testata toimintaa käytännössä. (Tajima and Tsuru 2013)

Raskaan ajoneuvokäytön kannalta haasteellista on saavuttaa metaanipolttoaineelle riittävä energiatiheys. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että puhdistettu biokaasu on nesteytettävä jäähdyttämällä se noin -163 °C lämpötilaan. Tällöin metaani tiivistyy noin 1/600:aan alkuperäisestä tilavuudestaan, mikä tekee siitä käyttökelpoisen polttoaineen raskaassa liikenteessä kuten rekoissa ja laivoissa. Varsinaisessa käyttökohteessa metaani jälleen höyrytetään ennen sen syöttämistä esim. polttomoottoriin. Jäähdyttäminen, säilyttäminen ja siirtäminen ei onnistu ilman erityisrakenteista kalustoa, muun muassa säilytystankkien lämpöeristykseen on kiinnitet-

tävä huomiota säilytyksenaikaisen kiehumisen minimoimiseksi. Höyrystymistä tapahtuu aina kuitenkin jonkin verran, ellei säiliötä aktiivisesti jäähdytetä koko ajan, mikä ei energiatalouden näkökulmasta taas ole kovinkaan järkevää. Tämän vuoksi pitkät säilytysajat eivät ole suositeltavia. Säiliöt tulee myös varustaa riittävästi varoventtiileillä, jotka estävät liiallisen paineennousun säiliössä höyrystymisen myötä.

3 Biometaanin käyttöympäristö Oulussa

Oulun seudulla on tällä hetkellä kolme julkista kaasun tankkausasemaa. Vanhin niistä on Ruskon biokaasu, joka on Kiertokaari Oy:n hallinnoima ja se sijaitsee Oulussa, Ruskon jäteaseman yhteydessä. Toukokuussa 2019 Gasum Oy avasi Ouluun kaksi uutta kaasun tankkausasemaa. Oulun uudet tankkausasemat avattiin osoitteissa Tyrnäväntie 6 ja Terminaalitie 1. Limingantullin kaupunginosaan avautunut Tyrnäväntien asema palvelee kevyttä ajoneuvokalustoa, kuten henkilö-, jakelu-, jäteautoja ja takseja, kun taas Terminaalintien kaasutankkausasema tarjoaa raskaille ajoneuvoille LNG:tä ja LBG:tä. Oulun asemat ovat tällä hetkellä Suomen pohjoisimmat kaasutankkausasemat.

Myös SEO on aloittamassa biokaasuasematoimintaa Oulun seudulla. SEO tulee avaamaan biokaasun tankkausasemat ainakin Oulun Kaakkuriin ja Limingan Ala-Temmekselle vuoden 2020 aikana.

Uusien tankkausasemien myötä myös kaasua käyttävien ajoneuvojen määrä on lähtenyt nousuun. Oulun seudulla on tällä hetkellä noin 300 kaasukäyttöistä ajoneuvoa, joista suurin osa on yksityiskäytössä olevia henkilöautoja, mutta mukana on myös jakeluautoja, kuorma-autoja ja jäteautoja. Taksit Oulun seudulla ovat ottaneet kaasuvaihtoehdon omakseen ja Oulun alueella liikennöi tällä hetkellä noin 15 kaasukäyttöistä taksia. Kesäkuussa 2020 Oulun joukkoliikenne ottaa käyttöön neljä kaasukäyttöistä bussia linjalle 10. Kunnallinen kierrätysyritys Oulun Kiertokaari Oy:llä on käytössään neljä kaasujoneuvoa, ja Oulun kaupunki on hankkinut kaksi kaasujoneuvoa kaupungin ajoihin.

Oulussa joukkoliikenteen hankintaperiaatteet pohjautuvat Oulun seudun joukkoliikenteen strategiaan 2030, vuonna 2018 tehtyyn käyttövoimasuunnitelmaan ja

palvelutasosuunnitelmaan sekä kaupungin ympäristöohjelmaan. Tavoitteena on, että linja-autoliikenteen päästöt puolitetaan vuoteen 2030 mennessä.

Päästövähennystavoitteet huomioidaan tulevien kilpailutusten kalustovaatimuksissa. Esimerkiksi keskustalinjoilla voidaan edellyttää sähköbussseja tai biokaasua, ja muilla linjoilla uusiutuvan dieselin tai biokaasun käyttöä kokopäiväautoilla. Eteläisten kuntien liikennettä seuraavan kerran kilpailutettaessa edellytetään vähäpäästöisten uusiutuvista raaka-aineista tuotettujen polttoaineiden käyttöä. Citylinjojen vuonna 2023 alkavan liikennöintisopimuksen kilpailutuksessa edellytetään sähköistä tai biokaasulla toimivaa pienkalustoa (Oulun Kaupunki 2017).

Liikennekäytössä olevat henkilöautot 31.12. Pohjois-Pohjanmaalla käyttövoiman mukaan:

	2017	2018	2019
Yhteensä	194290	197087	200385
Bensiini	123220	123650	124840
Diesel	70549	72483	73741
Sähkö	56	90	168
Kaasu (CNG+CBG)	5	13	118
Bensiini/Puu	1	1	1
Bensiini + moottoripetroli	4	4	3
Bensiini/CNG/CBG	27	106	196
Bensiini/Sähkö (ladattava hybridi)	198	451	932
Bensiini/Etanoli	184	212	237
Diesel/CNG/CBG	-	1	1
Diesel/Sähkö (ladattava hybridi)	43	74	145
Muu	3	2	2

(Traficom)

Liikennekäytössä olevia kaasukäyttöisiä henkilöautoja Oulussa ja naapurikunnissa 31.12.2019 oli seuraavasti:

	Puukaasu	Kaasu, CNG/CBG	Bensiini+ CNG/CBG	Diesel + CNG/CBG	Yhteensä
Hailuoto	-	-	-	-	0
li	-	2	3	-	5
Kempele	1	15	17	-	33
Liminka	-	4	8	-	12
Lumijoki	-	-	1	-	1
Muhos	-	1	4	-	5
Oulu	-	92	145	1	238
Pudasjärvi	-	-	-	-	0
Tyrnävä	-	1	2	-	3
Utajärvi	-	-	-	-	0
Yhteensä					297

(Traficom)

Gasum omistaa Ruskon jäteaseman yhteydessä olevan biokaasulaitoksen, jonka tuotamaa biokaasua käytetään mm. Oulun keskuspesulassa. Suuri osa tuotetusta biokaasusta joudutaan tällä hetkellä polttamaan soihdussa, joten uudet kaasun käyttäjät ovat kaikkien kannalta toivottavia. Soihtupoltto jää tulevaisuudessa historiaan siksi, että Gasum on rakentamassa biokaasulaitoksen yhteyteen kaasun pullopattereiden paineistusyksikköä, jolla biokaasu saadaan kontteihin ja kuljetettua laajemmalle jakeluverkostolle tai kaasuverkkoon. Gasum Oy rakentaa olemassa olevan biokaasulaitoksen yhteyteen uuden biokaasun jalostusyksikön ja CBG-konttien täyttöaseman (emoasema) olemassa olevan biokaasuntankkausaseman lisäksi tankkausasemalle sijoitetaan biokaasuvarasto (CBG), joka on tilavuudeltaan 5 x 20 m³. Oulun biokaasulaitos on rakennettu vuonna 2015 ja sitä on laajennettu vuonna 2018. Laitos pystyy käsittelemään biomassaa 60 000 tonnia vuodessa. Gasum suunnittelee Oulun biokaasulaitoksen laajentamista n 30 % lisäkapasiteetilla. Laajennuksen tekninen suunnittelu ja ympäristöluvitukset on meneillään.

Gasumin ja Oulun Energian kesken on suunnitteilla myös yhteishanke biokaasun tuotannosta polttokelpoisesta sekajätteestä. Toteutus päätös tehdään vuoden 2020 aikana ja arvioitu biokaasun tuotanto polttokelpoisesta jätteestä olisi n. 40 GWh vuodessa. Laitoksen yhteyteen on suunnitteilla biometaanin nesteytysyksikkö (Suomilampi 2019).

Oulun seudulla toimii Gasumin laitoksen lisäksi kolme muuta biokaasulaitosta; Kempeleessä Petteri Heikkisen lypsykarjatilalla on BioMeta Oy:n toteuttama biotuotelaitos, Limingassa toimii Jahotec Oy:n toteuttama biokaasulaitos ja Utajärvellä toimii Demeca Oy:n toteuttama biokaasulaitos Mty Salosen maatilalla. Koko Pohjois-Pohjanmaalla toimii tällä hetkellä kaikkiaan kahdeksan biokaasulaitosta ja lisäksi Ylivieskan kaatopaikalla on keräysputkistot kaatopaikkakaasulle. Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsee useita biokaasuteknologiaa kehittäviä ja alan liiketoimintaa harjoittavia yrityksiä; Demeca Oy, Jahotec Oy, BioMeta Oy, ElBio Ky ja Gasum Oy.

Polttomoottoriajoneuvojen muunnostöitä bensiini- ja dieselkäyttöisistä kaasukäyttöisiksi tekee Oulun seudulla tällä hetkellä ainakin Autosähkö-Huoltoliike Kimmo Väärälä Kiimingissä, Terragas Oulu ja Terragas Muhos. Myös Koulutuskuntayhtymä OSAOlla, ElBio Ky:llä ja Oulun ammattikorkeakoululla on alan osaamista.

Oulun seuduksi on tässä selvityksessä määritetty Oulu sekä sen naapurikunnat. Oulun seuduksi tässä selvityksessä käsitetään siis Hailuoto, Ii, Kempele, Liminka, Lumijoki, Muhos, Oulu, Pudasjärvi, Tyrnävä ja Utajärvi.

4 Biometaanin käyttöympäristö Turussa

Turun alueella kaasun liikennekäyttö on lisääntymässä. Turun satama-alueen lähettyvillä on tällä hetkellä Gasumin omistama kaasun tankkausaste. Sataman tankkausasemalta (Tuontiväylä) on saatavilla sekä nesteytettyä että paineistettua metaanikaasua. Toinen Turun alueen tankkausaste sijaitsee tällä hetkellä Raision Ikean vieressä (tilanne marraskuussa 2019). Lisää on Gasumin mukaan suunnitteilla Turun alueelle. Paraisilla toimiva Qvidja Kraft kertoo kehittäneensä edistyksellisen mikrobiologisen menetelmän, jolla biometaanin voidaan tuottaa huomattavasti perinteisiä menetelmiä tehokkaammin (Biotalous.fi 2017). Qvidja Kraftin toimitilojen yhteyteen rakennetaan myös biokaasun tankkausmahdollisuus, mutta kirjoitushetkellä tankkausaste ei vielä ollut toiminnassa. Turun seudulla kaasuauton omistaja tai sellaisen hankintaa suunnittelevaa varmasti koskettaa myös tieto siitä, että Helsinkiin päin mentäessä Salon Piihovista löytyy kaasun tankkausaste. Turussa oli 30.9.2019 227 rekisteröityä kaasuautoa (kaasuautoilu.fi). Teollisuudessa biometaanin käyttöä ei ole, mutta muutamissa kasvihuoneissa biokaasulaitosten sivutuotteita hyödynnetään.

Biokaasun tuotantoa Turun alueella on Topinojan biokaasulaitoksessa, johon on vuosina 2017–2019 toteutettu mittava laajennus- ja modernisointihanke (Gasum c). Hankkeen toimenpiteitä ovat muun muassa jälkikäsitteilykapasiteetin laajentaminen sekä biokaasun jalostus, nesteytys ja paineistus. Gasumin mukaan tämä lisää mahdollisuuksia jalostaa biokaasun jakelua raskaan maantieliikenteen sekä merenkulun polttoaineeksi. Laajennuksen valmistumisen jälkeen laitoksen nesteytyskapasiteetti vastaa noin 125 raskaan ajoneuvon vuosittaista polttoaineen kulutusta (Gasum).

Gasumin laitos pystyy käynnissä olevan laitoksen modernisoinnin ja laajennuksen jälkeen ottamaan vastaan 110 000 tonnia syötettä vuodessa. Syöteinä käytetään Turun Kakolan jätevedenpuhdistamolta tulevaa lietettä, erilliskerättyä biojätettä ja

teollisuuden sivuvirtoja. Kaikki laitoksesta tuleva kaasu tullaan nesteyttämään liikennekäyttöön. Kaatopaikkakaasua kerätään talteen entisiltä kaatopaikoilta Raision Isosuon sekä Turun Topinojan jätekeskuksissa. Topinojan kaasu toimitetaan Turku Energialle kaukolämmön tuotantoon, Isosuon kaasu poltetaan soihdussa.

Pienimuotoista tuotantoa Turun alueella on lisäksi joillakin yksittäisillä maatalouden toimijoilla. Qvidjan laitoksen lisäksi Ruskolla käynnistyi maatilakoon biokaasulaitos. Lisäksi myös Ammattiopisto Livian Tuorlan (Piikkiö) toimipisteessä on käytössä biokaasulaitos, jossa kaasutetaan monipuolisesti nestemäisiä ja kiinteitä maatalan jätteitä. Biokaasutus tapahtuu 360 m³ reaktorissa ja 360 m³ jälkikaasutusaltaassa. Kaasua ei toistaiseksi jalosteta polttoainelaatuiseksi, vaan se käytetään tilan omassa CHP-laitoksessa. Vuosittainen energiantuotto on 1200 MWh, joka vastaa noin 80 omakotitalon vuosittaista energiantarvetta. Prosessissa syntynyt kuivajäte käytetään myös hyödyksi tilan omassa toiminnassa, jossa sillä voidaan korvata teollisesti valmistettuja fosfori- ja typpilannoitteita. (Kiertotalouden Varsinais-Suomi).

Turun Kakolassa toimii Turun seudun puhdistamo Oy, joka puhdistaa 14 kunnan jätevedet. Puhdistamolla jätevedestä erotettu liete toimitetaan kaasukäyttöisellä kuorma-autolla Gasumin Topinojan biokaasulaitokselle, josta siitä tehdään biokaasua. Lietettä syntyy n. 50 000 tonnia vuodessa (Turun seudun puhdistamo), josta saadaan energiaa biokaasun muodossa n. 20 GWh.

Turussa on paljon elintarviketeollisuutta, josta syntyy sivuvirtoja, joita voidaan käyttää biokaasun tuotannossa. Osa tästä käytetään Topinojan biokaasulaitoksella. Turussa taloyhtiön on järjestettävä biojätteen erilliskeräys, mikäli yhtiössä on vähintään 10 taloutta. Pienemmät yksiköt voivat osallistua erilliskeräykseen, mikäli ne sijaitsevat olemassa olevalla keräilyreitillä. Turussa kerätty biojäte toimitetaan Uuteenkaupunkiin Biolinja Oy:n biokaasulaitokseen. Lisäksi Turun alueella ja etenkin muualla Varsinais-Suomessa on maataloutta, josta syntyy erilaista lantaa, säilörehua, yms., jota voidaan käyttää biokaasun tuotannossa.

Turun alueeksi on tässä selvityksessä määritetty Turku, sekä sen naapurikunnat, joiden kanssa Turulla on yli kilometri yhteistä rajaa. Täten alueeksi muodostuu Turku, Aura, Kaarina, Lieto, Naantali, Parainen, Raisio ja Rusko.

5 Ajoneuvoluokittelu ja käyttövoimat

Suomessa tieliikenteen ajoneuvot on jaoteltu Traficomien tilastoissa eri luokkiin seuraavasti:

- henkilöautot
- linja-autot
- pakettiautot
- kuorma-autot
- erikoisautot
- moottoripyörät
- kolmi- ja nelipyörät L5/L5e
- mopot
- kevyet nelipyörät L6e
- nelipyörät L7e
- moottorikelkat
- traktorit
- moottorityökoneet.

Liikenteen ajoneuvoista Suomessa suurin osa käyttää käyttövoimanaan bensiiniä. Vaihtoehtoiset energiamuodot ajoneuvoissa lisääntyvät uusien vähähiilisyystavoitteiden myötä. Ladattavia hybridejä oli liikennekäytössä vuoden 2019 lopussa noin 24 750, täyssähköautoja noin 7 300 ja kaasuautoja tai kaasua ja bensiiniä tai kaasua ja dieseliä käyttäviä ajoneuvoja noin 10 360 kappaletta. Kaasukäyttöisten henkilöautojen määrä on noussut vuonna 2019 lähes 9 400 kappaleeseen.

Taulukko 1. Suomessa rekisteröidyt kaasukäyttöiset ajoneuvot vuosina 2018 ja 2019.

Liikennekäytössä olevat ajoneuvot ja kaasukäyttöiset ajoneuvot Suomessa 2018 ja 2019						
	Ajoneuvot yhteensä			Maakaasu ja biometaaniajoneuvot		
	2018	2019	Muutos%	2018	2019	Muutos %
Yhteensä	5037230	5074793	0,7	6304	10358	64,3
Kaikki autot	3132997	3160755	0,9	6299	10350	64,3
Henkilöautot	2696334	2720307	0,9	5599	9378	67,5
Pakettiautot	325656	330671	1,5	522	741	42,0
Kuorma-autot	96169	95141	-1,1	131	177	35,1
Linja-autot	12481	12577	0,8	47	54	14,9
Erikoisautot	2357	2059	-12,6	0	0	
Moottoripyörät	153647	148656	-3,2	0	0	
Mopot	125381	114745	-8,5	0	0	
Moottorikelkat	75383	76388	1,3	0	0	
Traktorit	408547	415786	1,8	1	3	200,0
Moottorityökoneet	54493	56223	3,2	4	5	25,0
Kolmi- tai nelipyörät L5/L5e	676	662	-2,1	0	0	
Kevyet nelipyörät L6/L6e	7976	6264	-21,5	0	0	
Nelipyörät L7/L7e	7371	6755	-8,4	0	0	

Kaasukäyttöisten ajoneuvojen määrä ajoneuvojen kokonaismäärästä on vielä pieni, mutta niiden määrä kasvaa vuosittain ja kasvu kiihtyy joka vuosi. Kaasukäyttöisten henkilöautojen ja pakettiautojen määrät ovat määrällisesti nousseet eniten. Kaasukäyttöisiä kuorma-autoja on tullut useita kymmeniä lisää. Kaasuautojen osuus uusien autojen kaupasta oli vuoden 2019 tammi-syyskuussa 1,5 %. Kaasukäyttöisiä työkoneita ja traktoreita on Traficomien rekisteriin merkitty vielä vain muutama, mutta huomionarvoista on se, että traktoreita on vuonna 2019 rekisteriin merkitty kolme, kun lukema on monta vuotta peräkkäin ollut tasan yksi.

Vesiliikenteessä nesteytettyä maakaasua (LNG) käyttää tällä hetkellä viisi Suomen lipun alla purjehtivaa alusta. Kaasumootoreilla varustettujen veneiden osuus on Suomen venekannasta vielä vähäinen.

Satamista Porissa, Torniossa, Hamina-Kotkassa ja Helsingissä tehdään jo nesteytetyn kaasun tankkauksia aluksiin. Myös Turkuun ja Raumalle on tulossa LNG-termiinaalit.

6 Kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston hankinta

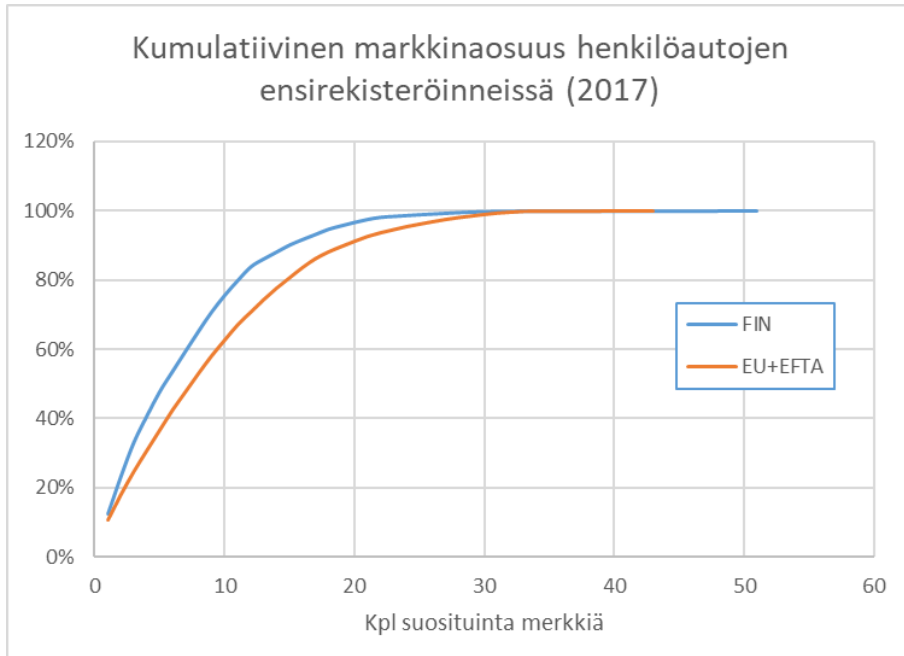
Liikennebiokaasun käytön yleistymisen perusedellytyksenä on, että mikäli lisätään tuotantopotentiaalia voimakkaasti, tiedossa pitäisi olla myös jokin suurehko käyttäjäryhmä, joka pystyy ottamaan tuotetun kaasun vastaan. Kunnallinen joukkoliikenne olisi periaatteessa ihanteellinen käyttäjäryhmä, ja aiheesta on Turussa tehty aiempia selvityksiä. Sittemmin Turun kaupunki on kuitenkin tehnyt päätöksen, että joukkoliikenteen osalta keskitytään toistaiseksi edistämään täyssähköisiä ratkaisuja. Joukkoliikenteen lisäksi esim. jätehuollon ajoneuvot soveltuisivat hyvin testialustaksi, sillä jäteautot ajavat vakioreittejä, jolloin polttoaineen tarve ja tankkauslogistiikka on helppo ennustaa.

Ajoneuvokaluston saatavuus asettaa myös omat rajoitteensa kaasukäyttöisen liikenteen yleistymiselle. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että mahdollisuuksia kyllä löytyy eri ajoneuvoluokista, mutta tyypillisesti esim. mallivalikoima on rajoitetumpi kuin perinteisillä polttoaineilla, mikä voi karsia ostajakuntaa. Seuraavassa käsitellään uusien henkilöautojen, pakettiautojen, raskaiden ajoneuvojen sekä maatalouden työkojen saatavuutta kaasukäyttöisinä versioina.

6.1 Henkilöautot

Suomessa merkkikohtainen suosituimmuusjärjestys henkilöautojen ensirekisteröinneissä noudattelee päälinjaultaan eurooppalaista trendiä – 20 suosituimman auton joukosta peräti 19 on samoja merkkejä molemmilla markkina-alueilla. Samanaikaisesti 20 suosituinta automerkkiä muodostaa peräti 96 % markkinaosuuden kaikista kotimaassa tehdyistä henkilöautojen ensirekisteröinneistä sekä 91 % EU-tasolla (kuva 10), joten tämä osajoukko muodostaa mielekkään kokonaisuuden tarkastelulle. Kiintoisa yksityiskohta on, että kumulatiivinen osuus näyttäisi nousevan hieman

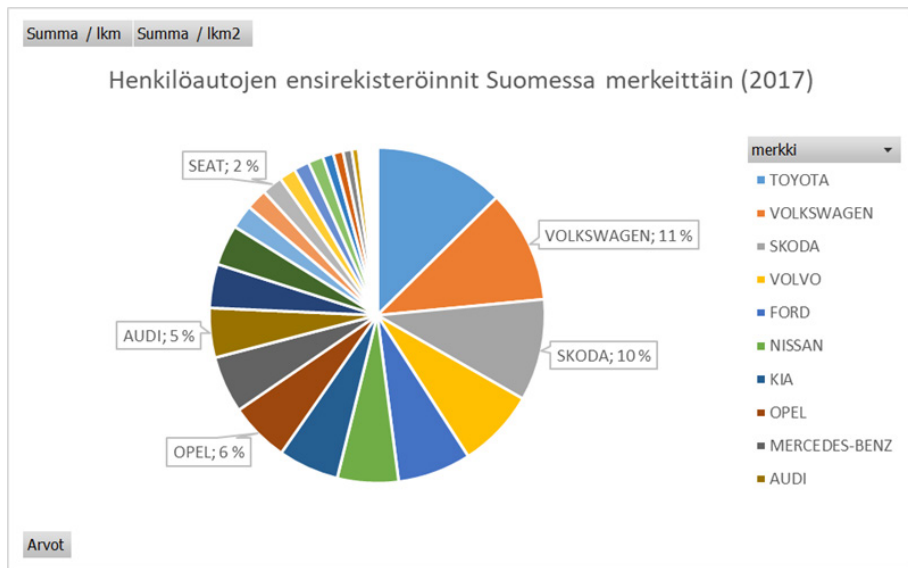
yrkemmin Suomessa kuin koko EU-tasolla – tämä mahdollistaa tulkinnan, että kotimaassa autokauppa on hieman EU-tasoa keskittyneempää.



Kuva 9. Henkilöautojen ensirekisteröinnit Suomessa; suosituimpien merkien markkinaosuus.

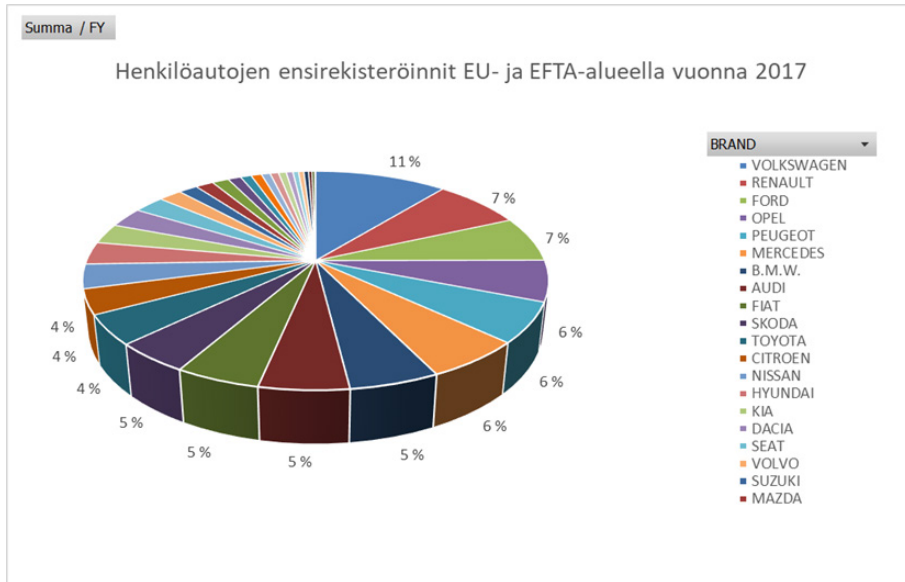
Yksi keino lisätä kaasuautoilun houkuttelevuutta voi olla tehdasvalmisteisten kaasuautojen saatavuuden ja valikoiman parantaminen. Erityisen mielenkiintoista tulevan kehityksen kannalta on tarkastella sellaisia automerkkejä, jotka ovat korkealla sekä kotimaisissa että EU:n myyntitilastoissa, koska Suomi yksinään on liian pieni markkina-alue globaalin autoteollisuuden näkökulmasta, jotta merkittäviä kehityspanoksia lähdetäisiin tekemään. Taulukossa 2 esitetään yhteenveto 20 suosituimmasta automerkistä vuoden 2017 tilastotietojen pohjalta. Jokaiselle automerkille esitetään taulukossa sijoitus Suomen ensirekisteröintitilastoissa, sijoitus EU:n ensirekisteröintitilastoissa sekä edellä mainittujen keskiarvo.

on vielä tällä hetkellä rajatumpi kuin perinteisillä polttoaineilla, mikä karsinee jonkin verran potentiaalista ostajakuntaa. Samaan päätelmään ovat päätyneet omassa tuoreessa katsauksessaan Pihlatie ym. (Pihlatie et al. 2019). Esimerkiksi Skodalta on kaasuversiona saatavilla lippulaivamalli Octavia ja lisäksi Citigo ja Kamiq, mutta ei esimerkiksi huomattavasti Citigoa suosittumpaa Fabiaa (Gasum b). Volkswagenin markkinointimateriaalien mukaan saatavilla bifuel-malleina ovat Suomessa Golfin eri variaatiot, Polo sekä Caddy, mutta esimerkiksi varsin suosittu Passat loistaa poisalollaan (Volkswagen).



Kuva 10. Henkilöautojen ensirekisteröinnin Suomessa merkeittäin (2017).

Suomalaisittain kiinnostava merkki on Volvo, joka panosti 1990–2000-luvuilla voimakkaasti kaasuautokehitykseen, mutta jonka sittemmin on uutisoitu pääosin luopuneen uudistuotannosta (Kaleva). Volvon markkinoinnissa korostetaan vahvasti sähkö- ja hybridiratkaisuja, mikä antanee osiittaa yrityksen tekemistä strategisista valinnoista (Volvo Cars). Tehdasvalmisteisia Kaasu-Volvoja liikkuu lisäksi jonkin verran käytettynä ja mikäli onnistuu löytämään suhteellisen tuoreen ja vähän ajettun yksilön, voi sillä yksittäisen kuluttajan näkökulmasta saada edullisia ja ympäristöystävällisiä kilometrejä pitkäksi aikaa (Nettiauto). On kuitenkin selvää, että autokannan uusiutumisen vaihtautokaupalla ei juurikaan ole vaikutusta pidemmällä tähtäimellä.



Kuva 11.
Henkilöautojen ensirekisteröintien merkkijaukama EU-alueella.

6.2 Pakettiautot

Pakettiautoja- ja pienpakettiautoja (Light Commercial Vehicle, ajoneuvoluokka N1) on NGVA:n selvityksen mukaan kaasuversiona saatavilla Fiatilta, Opelilta, Volkswagenilta, Ivecolta ja Mercedeseltä (NGVA 2017). Nämä ovat siinä mielessä poikkeuksellisia ratkaisuja, että tyypillisesti etenkin isomman kokoluokan pakettiautoja on totuttu näkemään dieselkäyttöisenä, mutta kaasua käyttämään kykenevät yksilöt ovatkin nimenomaan bensiini-kaasu-bifueleita. USA:n markkinoilla Ford tarjoaa osaan hyötyajoneuvomallistoaan lisäoptiona uuden dieselajoneuvon jälkikonvertointia kaasukäyttöiseksi. Kyseessä on liiketoimintamalli, jossa auto tulee tuotantolinjalta ulos bensiiniversiona, jonka jälkeen asiakkaan lisätilauksesta tehdään Fordin valtuuttamalla alirakoitsijalla kaasulaitteiden asennus (Ford Fleet) (Forbes). Tämä kuvastanee tyypillistä tämänhetkistä tilannetta autonvalmistajan näkökulmasta: CNG-ajoneuvoille nähdään riittävä potentiaali, jotta tällainen vaihtoehto halutaan tarjota sitä haluaville asiakassegmenteille, mutta massatuotanto lähtee kuitenkin selkeästi edelleen perinteisistä polttoaineista. Nämä edellä mainitut Fordin tuotteet ovat tosin pääasiassa pickup-tyyppisiä avolava-autoja, joille ei Euroopan markkinoilla liene suurta kysyntää.

6.3 Kuorma-autot

Raskaisiin ajoneuvoihin siirryttäessä alkavat kaasukäyttöisten ajoneuvojen todelliset mahdollisuudet ja toisaalta myös heikkoudet tulla esiin. Nämä ovat ajoneuvoja, joilta tehtävänsä vuoksi vaaditaan korkeaa suorituskykyä, polttoainetaloudellisuutta ja luotettavuutta. Kuorma-autoja ja rekan vetureita (ajoneuvoluokat N2, N3) on saatavilla kaasukäyttöisinä ainakin Ivecolta, Mercedekseltä (sekä ilmeisesti myös muiden Daimler-konsernin merkkien alta), Renaultilta, Scaniaalta ja Volvolla (NGVA 2017) (Daimler 2018). Osa näistä operoi paineistetulla (CNG) ja osa nesteytetyllä (LNG) kaasulla, ja osassa on valittavana molemmat vaihtoehdot. Nestemäisen polttoaineen rinnakkaiskäyttömahdollisuutta ei raskaissa kaasujoneuvoissa tyypillisesti ole. Ne ovat monofuel-ajoneuvoja, jonka ostaessaan liikennöitsijä käytännössä sitoutuu myös operoimallaan alueella olevaan kaasun tankkausinfrastruktuuriin. Ainoana poikkeuksena Volvon ratkaisu toimii dual fuel-periaatteella, jossa kaasumainen polttoaine sytytetään pienellä pilot-dieseluiskulla (Volvo Trucks) (Gabl).

Raskaita yli 18 tonnin kuorma-autoja rekisteröitiin vuonna 2019 yhteensä 2843 kappaletta, joista vaihtoehtoisille polttoaineilla toimivia oli 67 kuorma-autoa. Näistä lähes kaikki olivat biokaasukäyttöisiä, joko paineistetulla tai nesteytetyllä biokaasulla toimivia kuorma-autoja. Myös yksi bioetanolia käyttävä kuorma-auto rekisteröitiin Lahdessa. (Ammattilehti)

Kaasumainen polttoaine säilötään ajoneuvossa joko paineistettuna 200–300 bariin paineeseen, jolloin siitä käytetään nimitystä CNG tai CBG (Compressed Natural Gas / Compressed Biogas) tai alhaisen lämpötilan avulla nesteytettynä (LNG/LBG). Kun biokaasu jalostetaan ja puhdistetaan liikennelaatuiseksi, voidaan sitä kohdella ”drop in” -polttoaineena, jota voidaan käyttää rinnakkain fossiilisen vastineensa, maakaasun, kanssa samaan tapaan kuin nestemäisiin polttoaineisiin seostetaan biokomponentteja.

LNG-ratkaisu on teknisesti haastavampi ja kalliimpi toteuttaa niin ajoneuvojen kuin tankkausinfrastruktuurinkin osalta. Metaani nesteytyy jäädyttämällä se -163 °C lämpötilaan, mikä vaatii tankkauslaitteistolta ja autojen polttoainetankeilta erityisominaisuuksia. Positiivisena puolena saavutetaan kuitenkin polttoaineella erittäin suuri energiatiheys, mikä mahdollistaa ajoneuvolle pitkän toimintasäteen. Tämä tekee LNG:stä ja LBG:stä houkuttelevan polttoainevaihtoehdon erityisesti pitkän matkan raskaassa liikenteessä.

Se, kannattaako valita LNG- vai CNG-auto raskaaseen liikenteeseen, on pitkälti kiinni ajoneuvolle suunnitellusta ajotehtävästä. LNG-ratkaisu on kalliimpi, joten se sopii hyvin lähinnä erittäin raskaisiin rekkavetureihin, joiden kilometrisuorite saadaan riittävän suureksi. Koska LNG-tankkausasemia ei – etenkin Suomessa – ole vielä kovin tiheästi, on edullista, mikäli ajoneuvolla ajetaan mahdollisimman vakioitua reittiä. Boil off -ilmiön vuoksi liikennöinnin pitäisi olla myös säännöllistä siten, että ajoneuvo ei seiso käyttämättömänä pitkiä aikoja, jolloin metaania joudutaan loppujen lopuksi vapauttamaan ilmakehään tankista. Itse LNG-tankkausasema on myös merkittävä investointi, mikä johtaa muna-kana-ilmiöön: Kun ei ole valmista käyttäjäkuntaa, ei synny tankkausasemia ja kun ei ole tankkausasemia, ei ole kysyntää kaasuautoillekaan.

Kansainvälisesti kiinnostavana näkökulmana on syytä mainita, että tavaraliikenteen määrä kasvaa tällä hetkellä voimakkaasti erityisesti kehittyvissä talouksissa kuten Kiinassa ja Intiassa. Samalla kasvavat myös uusien raskaiden ajoneuvojen myyntimäärät. Kiintoisa näkökulma kaasujoneuvojen tarjonnan lisääntymiseen raskaassa liikenteessä onkin, että todennäköisesti toimijat kuten China FAW, China National Heavy Duty Group Kiinassa sekä Tata Intiassa, pyrkivät keskipitkällä aikavälillä hakemaan jalansijaa myös kansainvälisiltä markkinoilta (IEA). Tämä voi tuoda LNG- ja CNG-ratkaisut laajemmin myös niiden toimijoiden ulottuville, joilla ei ole kykyä tai halua investoida ”premium-brändien” tuotteisiin.

6.4 Linja-autot

Kaukoliikenteen linja-autojen valinta kaasukäyttöisiksi voidaan perustella pääsääntöisesti samoin argumentein kuin raskaan tavaraliikenteenkin kohdalla. Avainsanoja tässä ovat vakioidut reitit, hyvä polttoainetarpeen ennustettavuus, suuret kilometrisuoritteet, jotka mahdollistavat alhaiset yksikkökustannukset. Pitkän matkan bussien tulevaisuuden käyttövoimavaihtoehtoja on käsitelty laajasti IRU:n (International Road Transport Union) tuoreessa raportissa. Selvityksen perusteella pitkän matkan bussiliikenteessä voitaisiin nopeallakin aikataululla siirtyä käyttämään pääasiallisena polttoaineena ”bio-LNG:tä”, eli maa- ja biokaasun nesteytettyä seosta suhteella 80 %/20 %. Raportti tosin painottaa, että ajoneuvokannan uusiutumiseen pitää poliittisen päätöksenteon puitteissa varata riittävästi aikaa (IRU 2019).

Kaupunkiliikenteessä kaasubussien taival on kotimaassa ollut kivinen, mutta viime aikoina on tapahtunut käänös parempaan. Ensimmäiset maakaasubussit tulivat

käyttöön Helsingin sisäiseen liikenteeseen Tammelundin Liikenteellä vuonna 1996 (Tammelundin liikenne 2019) (Lahtinen 2011) (Lampinen 2008). Vuotta myöhemmin käyttö laajeni edelleen Helsingin sisäisen linjan 62 kilpailutuksen myötä. Kyseisestä kilpailutuksesta muodostui eräänlainen ennakkotapaus, sillä tarjouskilpailutuksen kaasubussitarjouksellaan voittanut yritys ei ollut hankintahinnaltaan halvin, vaan valintakriteerinä painotettiin mm. typenoksidipäästöjä (Lahtinen 2011) (Lampinen 2008).

Kaupunkikaasubussien lukumäärällinen piikki ajoittuu noin vuosien 2005–2013 tienoille, jolloin käytössä oli n. 100 kpl busseja (Pihlatie et al. 2019) (Lahtinen 2011) (Nylund, Hulkkonen, and Pyrrö 2006). 2010-luvun alkupuoliskolla suosio alkoi laskea usean tekijän summana. Eräänä vaikuttavana tekijänä on ollut dieselpako-kaasun jälkikäsitteilylaitteistojen kehittyminen, jolloin kaasubusseilla ei enää saavuteta vastaavaa etua dieselbusseihin nähden ns. säänneltyjen päästökomponenttien, etupäässä typenoksidien, osalta (Pihlatie et al. 2019). Aika ajoin myös turvallisuuskysymykset ovat leimanneet keskustelua ja saattaneet vähentää mielenkiintoa kaasubussitekniikkaa kohtaan. Kotimaassa tunnetuin esimerkki tästä lienee Kampin maanalainen terminaali, johon kaasubusseilla ei ole lainkaan pääsyä väitetyin paloja tai räjähdysriskin vuoksi (Kauppalehti 2005). Mallinuksissa on kuitenkin havaittu, että yleisessä keskustelussa esitetyt riskit vastaavaan dieselkalustoon nähden saattavat osin olla liioiteltuja (Raivio 2018).

Elpymistä kaupunkikaasubussien saralla on havaittavissa usean kaupungin toteuttaessa ja suunnitellessa kaasubussihankintoja. Tällä hetkellä kaasu/biokaasubusseja liikennöi Vaasan (Scania 2017), Lappeenrannan (Scania 2019), Helsingin (Gasum 2018), Jyväskylän, Lahden ja Hämeenlinnan kaupunkiliikenteessä. Myös Oulussa ja Mikkelissä tullaan kaupunkibussien linjoja toteuttamaan kaasubusseilla. Muutosta ajavana voimana lienee nimenomaan paikallisen biokaasun saatavuus sekä toisaalta myös linja-autovalmistajien sähköistysbuumista huolimatta verraten hyvät panostukset myös kaasukäyttöiseen kalustoon.

Kotimaassa linja-automarkkinat ovat käytännössä hyvin keskittyneet muutamalle isommalle toimijalle: Vuoden 2018 rekisteritietojen mukaan kolme suurinta valmistajaa Volvo, Mercedes-Benz, sekä Scania hallitsivat peräti noin 73 %:a liikenteessä olevasta linja-autokannasta (taulukko 3). Kolmesta suuresta Scanian lisäksi Mercedes markkinoi tällä hetkellä aktiivisesti kaasuvaihtoehtoja (Mercedes-Benz 2019). Volvon strateginen valinta poikkeaa kahdesta edellisestä; yhtiön linja-autotuotan-

non ylin johto on julkisesti kommentoinut heidän keskittyvän jatkossa kaupunki-liikenteessä täyssähköisiin sekä hybridiratkaisuihin sekä pitkänmatkan liikenteessä mm. nestemäisten biopolttoaineiden osuuden lisäämiseen (Sustainable Bus 2019).

Taulukko 3. Liikennekäytössä olevat linja-autot Suomessa [46].

Merkki	Liikennekäytössä 31.12.2018
VOLVO	3422
MERCEDES-BENZ	3155
SCANIA	2496
FORD	534
VOLKSWAGEN	528
VDL	502
IVECO	245
KABUS	179
SETRA	144
FIAT	136
Muut	1140
Yhteensä	12481

6.5 Biokaasun käyttö maataloudessa

Biokaasutus tarjoaa alueellisia ratkaisuja uusiutuviin energia- ja materiaalivirtoihin, ravinnekiertoon, kestävään kehitykseen sekä ilmastokysymyksiin liittyviin haasteisiin. Erityisesti Varsinais-Suomella on tärkeä rooli maatalouden innovaatioissa, sillä se edustaa maan kärkeä sekä viljelyssä pinta-alassa (293 559 ha) että maatilojen lukumäärässä (5717 kpl) (LUKE 2014). Suurin osa peltopinta-alasta tarvitaan ruoantuotantoon, mutta lantabiomassat mukaan lukien energiakäyttöön jää silti huomattava maatalouden sivuvirroista koostuva potentiaali.

Maatalouden biokaasuliiketoiminnan edistämiseksi on selkeät perusteet, sillä suurin arvonnisa raakabiokaasusta saadaan jalostamalla se liikennelaatuiseksi. Suomi on muiden EU-valtioiden rinnalla sitoutunut lisäämään merkittävästi jaeltavien polt-

toaineiden bio-osuuksia sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkauspisteitä. Esimerkiksi Ruotsissa merkittävä osa liikennepolttoaineista on jo korvattu biokaasulla, vähähiilisuuden periaatteita edistäen. Sivutuotteena biokaasuprosessista on korkea-hygieninen lannoite, jolla voidaan korvata teollista tuotantoa. Biokaasutus on myös tehokas keino vähentää viljelyn yhteydessä huuhtoutuneista ravinteista aiheutuvaa kuormaa vesistöille.

Hajautetun energiantuotannon periaatteella tarkoitetaan mallia, jossa yhä useampi energian kuluttaja voi tulevaisuudessa toimia myös sen tuottajana. Aiemmin Suomessa sekä mm. Ruotsissa toteutetuissa hankkeissa on havaittu, että yksittäisen viljelijän näkökulmasta liikennepolttoaineeksi jalostamiseen vaadittavat investoinnit ovat usein vielä liian suuria, jotta taloudellinen kannattavuus voitaisiin saavuttaa. Biomassan energiasisällön hyödyntämiseen sinänsä kohdistuu suuri kiinnostus viljelijöiden keskuudessa. Erääksi ratkaisuksi on ehdotettu useamman viljelijän yhteenliittymää, joka hallinnoisi keskitettyä alueellista jakelu- ja puhdistusasemaa. Tällaista mallia ei kuitenkaan konkreettisesti ole vielä Suomessa toteutettu.

Maatalousyritysten lukumäärä on ollut laskussa koko 2010-luvun ajan ja viljelijöiden keski-ikä on yli 50 vuotta (Luonnonvarakeskus 2014b). Globaalisti mm. viljakasvien ylituotanto on alentanut tuottajahintoja ja yritysten kannattavuutta. Kehitys on huolestuttavaa jo kansallisen huoltovarmuudenkin näkökulmasta.

Vuonna 2013 suomalaiset maatila- ja puutarhayritykset (n. 54 000 kpl) käyttivät yhteensä noin 10 TWh energiaa, josta hieman yli viidennes (2,3 TWh) oli työkonien polttoaineita fossiilisen moottoripolttoöljyn muodossa (Luonnonvarakeskus 2014a) (Luonnonvarakeskus 2018). Tämä on mahdollista korvata osittain uusiutuvalla biokaasulla, samalla mahdollistaen maaseutuelinkeinolle uuden tulovirran sekä parantaen tilojen energiaomavaraisuusastetta. Maatilakokoluokan investoinnit biokaasun työkone- ja liikennekäyttöön auttavat pitämään maaseudun elinvoimaisena, edistävät huoltovarmuutta, energiantuotannon hajautettua konseptia sekä kotimaista teknologiayrittäjyyttä. Se myös tuo osaratkaisun suurempaan yhteiskunnalliseen kysymykseen kestävästä liikkumisen järjestämisestä tulevaisuudessa.

ProAgria Pohjois-Karjala ry:n toteuttamassa Liikennebiokaasua energiailoilta-hankkeessa on esimerkiksi selvitetty kolmen kuntaseudun yhteistyönä toteutettavaa siirtokonteilla ja keskitetyllä kaasunjalostuksella toteutettavaa jakelujärjestelmää (Kuva 12). Toteutus voisi olla esim. osuuskuntamallinen, kuten hankkeen loppura-

portissa ehdotetaan (ProAgria Pohjois-Karjala ry 2015). Osakkaina voisivat olla niin maatilat (tuottajat), jakeluverkon haltija, käyttäjät/asiakkaat kuin teknologiayrityksetkin. Osuuskuntamallia puoltaisi sekin, että se on maataloussektorilla muutenkin yleisesti käytetty ja tunnettu erilaisten yhteenliittymien hallinnollisena järjestämistapana.

Investoinnin rahoitus (Julkisoikeudellinen toimija)



Kuva 12.

Biokaasutuotannon ja jakelun ehdotettu osuuskuntamalli (ProAgria Pohjois-Karjala ry 2015).

Maatalousalan toimijat voivat kehittää energiaomavaraisuuttaan paitsi lisäämällä biokaasutuotantoa, ottamalla käyttöön biokaasukäyttöisiä työkoneita. Kotimainen Valtra, joka nykyään on osa globaalia AGCO-konsernia, on valmistanut biokaasutraktoreita piensarjatuotantona vuodesta 2013. Tuotekehitysprojekti alkoi 2010 luvun alussa MEKA-projektin yhteydessä, jossa Valtra toimitti ruotsin Jordsbrukverketin testikäyttöön kolme kappaletta biokaasukäyttöisiä prototyyppitrak-

toreita. Projektin puitteissa havaittiin biokaasutraktorilla olevan hienoisesti pienemmät käyttökustannukset polttoaineen osalta. Lisäksi tutkimuksen yhteydessä havaittiin hyvin suunnitellun biokaasutraktorin voivan tuottaa jopa 40 % säästön hiilidioksidipäästöissä, mutta ensimmäisen sukupolven biokaasutraktoreissa tätä rajoitti kuitenkin merkittävästi palamisprosessista ulos tuleva ylijäämämetaani (Jordbruksverket 2015).

Biokaasutraktorikehityksen jarruna oli pitkään epäedullinen lainsäädäntö, jossa dual-fuel- käyttöisen moottorin erityispiirteitä hiilivety päästöjen osalta ei käytännössä huomioitu lainkaan. Käytännössä työkonvalmistajat pystyivät tällöin tuomaan markkinoille vain piensarjoja kaasukäyttöisistä traktoreista, koska tähän vaadittiin aina kansallisen valvontaviranomaisen (Traficom Suomessa) poikkeuslupa. Poikkeusluvan edellytyksenä on ollut mm. edistyksellisen teknologian kokeilu ja edistäminen. Suursarjatuotanto edellyttäisi mittavaa tuotekehitysprojektia, erityisesti polttoaineen syöttökomponenttien, moottorinohjauksjärjestelmän sekä pakokaasun jälkikäsitteilylaitteiston yhteensovittamisen osalta. Tähän valmistajat eivät ole olleet halukkaita ryhtymään vallitsevassa tilanteessa (Luonnonvarakeskus 2014).

Uudessa, vaiheittain vuosina 2019–2020 voimaan tulevassa EU-tason päästölainsäädännössä kaasukäyttöiset työkonemoottorit on huomioitu omana kohtanaan. Olennaisimpana muutoksena kyseiselle moottorityypille sallitaan hieman normaalia dieselmoottoria korkeammat hiilivetyjen päästötasot (Dieselnet 2019). Taustalla on ajatus, että käytännössä metaanin läpivuotoa on vaikea estää kokonaan, vaikka biokaasukäyttöiset ajoneuvot nähdään kuitenkin muilta osin ympäristövaikutuksiltaan positiivisina. Liian tiukat päästörajat voisivat tukahduttaa kehityksen kokonaan, mutta ennen lainsäädännön voimaantuloa valmistajat elivät pitkään epätietoisessa tilanteessa sen suhteen mihin rajat tarkalleen asettuvat, jolloin mittavia tuotekehitysprojekteja ei käynnistetty (Kemppainen).

Lainsäädännön osalta tilanne on siis nyt muuttunut, mutta mittava biokaasutraktorien esiinmarssi odottaa edelleen tuloaan. Valtra ei viime vuosina ole kovinkaan aktiivisesti tuonut julkisuuteen aikeitaan uusien biokaasuun liittyvien tuotekehitysprojektien suhteen, vaikka piensarjatuotettuja traktoreita edelleen markkinoidaan-kin tietyille markkina-alueille. Sen sijaan New Holland julkisti Agritechnica 2019 -näyttelyssä maailman ensimmäisen metaanikäyttöisen T6-tuotantotraktorin. Alkuvaiheessa pääasiallisia markkina-alueita tulevat olemaan tiheään kaasuverkon maat kuten Saksa ja Italia (Maaseudun Tulevaisuus 2018). Olennainen ero Valtran dual-

fuel-ratkaisuun on siinä, että New Hollandin moottori on kipinäsytytteinen, joten nestemäistä dieseliä ei siinä voida käyttää lainkaan. Tämä todennäköisesti aiheuttaa rajoitteita traktorin käyttöön, mutta traktori on omiaan ympäristössä, jossa biometaanina on helposti saatavissa.

New Holland traktoreiden tuotepäällikkö Sean Lennon toteaa: “Agritechnicassa esitelly metaanikäyttöinen T6-traktori on ensimmäinen tuotantoyksikkömme. Sama tekniikka on asiakkaidemme käytettävissä vuonna 2020, kun ensimmäiset kaupalliset yksiköt saadaan myyntiin. Taloudellisten ja käytännöllisten etujen lisäksi erityistä hyötyä saadaan käyttäessä biometaanina. Odotamme paljon kiinnostusta biokaasulaitosten käyttäjiltä ja valmistajilta sekä tietysti myös maanviljelijöiltä. Myös kunnat ja kaupungit ovat osoittaneet suurta kiinnostusta saada traktorit mukaan maakaasujoneuvojen verkostoon, jotta hiilijalanjälkeä voidaan edelleen vähentää.”

New Hollandin kanssa samaan Case-konserniin kuuluva Steyr kehitti niin ikään 2010-luvun alkupuolella omaa monofuel-ratkaisuaan (Kruczynski et al. 2013). Vuonna 2011 Agritechnicassa nähtiin esillä biokaasutraktori, Steyrin malli 2015. Steyrissä on moottorina Profi 4135 Natural Power erityisellä Fiat Powertrainin kaasun polttoteknologialla. 3-litraisessa moottorissa on 135 hevosvoiman nimellisteho. Steyrin biokaasutraktori toimii monofuel-tekniikalla. Itävaltalainen Steyr esiteli traktorin prototyypin, joka käyttää 100 %:sti biokaasua polttoaineenaan. Tämä on jatkoa vuoden 2009 biokaasutraktoriin, joka käytti dieseliä ja kaasua suhteessa 50:50. Profi 4135 Natural Powerissa on maakaasumoottori sekä yhteensä yhdeksän biokaasun polttoainesäiliötä, joista kolme on ohjaamon takana, kaksi kumpaisella puolella moottoria ja neljä konepellin alla. Kaasu riittää traktorissa 5–7 tunniksi. Lisäksi on varalta 15-litrainen bensiinisäiliö (Kruczynski et al. 2013).

7 Olemassa olevan ajoneuvokaluston muunnostyöt biokaasukäyttöön

Ajoneuvon moottorin käyttämän polttoaineen mukaan maa- tai biokaasua käyttävät ajoneuvot ovat bi-fuel-, dual-fuel- tai mono-fuel-ajoneuvoja. Bi-fuel-ajoneuvossa on kaksi polttoainetankkia, joista toisessa on bensiiniä ja toisessa maa- tai biokaasua tai näiden seosta. Erillisiä kaasutankkeja voi ajoneuvossa myös olla useita. Bi-fuel-ajoneuvon käyttää kerrallaan yleensä joko bensiiniä tai kaasua. Dual-fuel-ajoneuvossa on myös kaksi polttoainetankkia, joista toisessa on dieseliä tai polttoöljyä ja toisessa maa- tai biokaasua tai näiden seosta. Dual-fuel-ajoneuvo käyttää polttoainena yhtä aikaa sekä dieseliä tai polttoöljyä että maa- tai biokaasua (tai niiden seosta). Yleensä dieselin ja kaasun suhde on lähellä 1:1. Mono-fuel-ajoneuvossa on yksi polttoainetankki ja se käyttää polttoainena pelkästään yhtä polttoainetta.

Useat bensiini- ja dieselpolttomootorit tai nestekaasumootorit voidaan muuttaa käyttämään joko pelkästään metaania tai metaanin ja korvattavan polttoaineen seosta. Kaasumuunnostöitä eli konversioita on tehty Suomessa henkilö-, paketti-, linja- ja kuorma-autoille sekä traktoreille, moottorikelkoille, trukeille ja yksi muunnos on tietävästi suunnitteilla Paraisilla moottoriveneelle.

Yleisimmin kaasumuunnoksissa polttomoottori muunnetaan käyttämään joko osittain tai kokonaan paineistettua kaasua. Nesteytetyn kaasun käyttö on erityisesti raskaassa liikenteessä mahdollista, mutta sitä ei kannata ajatella polttomoottoriin, jota ei käytetä lähes ympärivuorokautisesti, koska pysyäkseen nesteytetyssä muodossa kaasu tarvitsee -163°C asteen lämpötilan. Lämpimämmässä nesteytetty kaasu pyrkii kaasumaiseen muotoon.

Yleisimmin kaasumuunnoksia tehdään kipinäsytytteisiin ottomoottoreihin. Otto-moottori soveltuu hyvin biokaasumoottoriksi: se voi käyttää polttoaineenaan pelkkää biokaasua. Sen polttoaineeksi soveltuu myös biometaanin ja maakaasu. Ainoat välttämättömät muutokset verrattuna bensiniä käyttävään moottoriin liittyvät polttoaineen syöttöjärjestelmään.

Biokaasu soveltuu myös puristussytytteisen dieselmoottorin polttoaineeksi. Tässä tapauksessa muutoksia moottoriin tarvitaan enemmän, koska biokaasun käyttäminen vaatii kaksi yhtä aikaa toimivaa, rinnakkaista polttoainejärjestelmää, toinen kaasulle ja toinen dieselille. Biokaasu ei syty puristettaessa kuten dieselöljy. Siksi sylinterissä olevaan korkeapaineiseen biokaasun ja ilman seokseen ruiskutetaan dieseliä. Syttyessään dieselöljy sytyttää myös biokaasun.

7.1 Henkilöautot

Auton kaasumuunnokseen on saatavilla markkinoilta valmiita muunnossarjoja, jotka kytetään auton oman polttoainejärjestelmän rinnalle tai tilalle. Muunnostyössä autoon asennetaan kaasujärjestelmälle ohjainlaite, kaasusäiliö, säiliöventtiili, tankkausventtiili, paineensäädin, paine/lämpötilatunnistin, kaasulinjat, kaasusuuttimet ja valintakytkin. Ohjainlaite on järjestelmän sydän ja se ohjaa kaasujärjestelmän toimintoja. Ohjainlaite kytetään johtosarjalla auton oman järjestelmän rinnalle.

Ohjainlaite tarvitsee autosta käyttövirran, tiedon polttoainesuuttimilta, imusarjan painetiedon ja lambda-arvon. Bi-fuel-muunnoksessa auton oma polttoaineensyöttö katkaistaan releellä, jota ohjainlaite ohjaa. Ohjainlaitteen johtosarjaan kytetään myös säiliöventtiili ja paineensäädin.

Polttoaineen varastointiin käytetään tavaratilaan asennettua säiliötä, johon kaasu varastoidaan noin 200 barin paineeseen. Kaasusäiliön tilavuus vaikuttaa auton toimintasäteeseen kaasua käytettäessä. Kaasusäiliöstä kaasu johdetaan erillistä putkea pitkin auton konetilaan asennettuun paineensäätimeen. Kaasusäiliöön kiinnitetään lisäksi venttiili, jolla ohjataan kaasun virtausta paineensäätimelle tai vikatilanteessa ulkoilmaan erillisen suojaputken kautta. Venttiilistä saadaan myös suljettua järjestelmä huoltotöiden ajaksi. Kaasun tankkausventtiili voidaan sijoittaa joko auton ulkopuolelle tai moottoritilaan. Tankkausliitin on standardoitu, ja kaasun tankkaaminen onnistuu Suomessa kaikilla kaasuasemilla.

Paineensäädin voidaan sijoittaa auton moottoritilaan, jotta säätimelle voidaan kytkeä jäähdytinnestekierto. Paineen nopea pudottaminen aiheuttaa jäätymistä ja tämä ehkäistään lisäämällä moottorin jäähdytynestekierto säätimelle. Säiliössä oleva 200 bar:n paine pudotetaan säätimellä 2–4 barin paineeseen, jotta kaasua voidaan anostella moottoriin. Paineensäätimeltä kaasu johdetaan matalapainepuolen tunnistimelle, joka mittaa kaasun painetta, imusarjan painetta ja kaasun lämpötilaa. Anturilta kaasu matkaa suodattimen läpi jakotukille, jossa kaasulinjat haarautuvat sylinterille. Jokaiselle sylinterille asennetaan oma kaasusuutin ja suuttimet kytketään auton omien polttoainesuuttimien rinnalle, kun kyseessä on bi-fuel- tai dual-fuel-muunnos.

Ohjainlaite ottaa tietoa suuttimien avautumisesta ja laskee kaasusuuttimien avautumista ja kiinnimenoa. Auton omaan imusarjaan asennetaan erilliset nipat, jotta kaasu saadaan johdettua suuttimilta moottoriin. Auton ohjaamoon lisätään vielä kytkin, jolla voidaan vaihtaa käytettävää polttoainetta, ja josta näkee säiliössä olevan kaasun määrän. Asennustyön päätteeksi muodostetaan tietokoneella yhteys ohjainlaitteeseen ja tehdään tarvittavat säätötyöt, jotta auto toimii oikein.

Auton muuttaminen on luvanvaraista ja asennustyön tekevällä henkilöllä tulee olla turvallisuus- ja kemikaaliviraston myöntämä p-kaasuasennuslupa. Laitteiston komponenteille ja niiden asentamiselle löytyy myös omat vaatimukset Euroopan komission määrittämistä ECE- r110- ja r115 -sääöksistä.

Suomessa muutossarjoja voi ostaa niitä maahantuovilta yrityksiltä ja myytävät komponentit on hyväksytty käytettäväksi kaasumuunnoksissa. Muutettu ajoneuvo tulee muutostarkastaa, ja Traficom on antanut ohjeistuksen kaasuautojen vaatimuksista.

Katsastuksessa on esitettävä laitteiston hyväksyntätodistus ja asennustodistus. Katsastuksessa kaasulinjoille tehdään vuotomittaus, komponenttien kiinnitys tarkastetaan ja auton pakokaasupäästöt mitataan. Pakokaasupäästöjen on pysyttävä auton valmistusvuoden määrittelemissä arvoissa ja kaikki OBD-järjestelmän osat testit tulee läpäistä. Hyväksytyin muutostarkastuksen jälkeen ajoneuvo on tieliikennepöinen.

Henkilöauton muunnostyöhön voi hakea jälkikäteen Traficomilta muuntotukea. Vuoteen 2021 saakka muuntotukea on mahdollista saada ajoneuvokohtaisesti 1 000 €. Muuntotuki voidaan maksaa vain kerran samasta autosta ja samalle henkilöl-

le enintään kerran kalenterivuodessa. Muuntotuen hakija pitää olla auton omistaja tai haltija. Syyskuuhun 2019 mennessä muuntotukea on haettu 214 henkilöautoon.

Auton muunnoskustannukset riippuvat auton merkistä ja mallista. Joihinkin autoihin muunnostyö on yksinkertaisempi toteuttaa kuin toisiin. Muunnostyön hintaan vaikuttavat muunnostyöhön kuluva aika ja tarvittavien osien kustannus. Asennus- töitä tekevien liikkeiden hinnat muunnostyölle lähtevät 2 000 €:sta ylöspäin.

Muunnoskatsastetulle ajoneuvolle määrätään maksettavaksi vuotuinen käyttövoimaveron, joka metaanikäyttöisille autoille on 0,031 €/päivä/alkava 100 kg auton kokonaismassaa. Jos ajoneuvon kokonaismassa on 2500 kg, on käyttövoimaveron määrä 282 € vuodessa.

Bio- ja maakaasu on bensiiniä ja dieseliä edullisempi polttoaine ja muunnostyö maksaa itsensä takaisin polttoainekuluissa. Takaisinmaksuaika riippuu vuotuisesta ajomäärästä ja muunnostyön kustannuksista (Jäkäläniemi 2019).

CircVol-hankkeessa Oulun ammattikorkeakoululla yhteistyössä ElBio Ky:n ja Koulutuskuntayhtymä OSAO:n kanssa on toteutettu kaasumuunnostyö bensiinikäyttöiselle maastoajoneuvolle. Jere Jäkäläniemi on tehnyt muunnostyöstä opinnäytetyön¹. Muunnostyöstä toteutettiin myös kaasumuunnosta kuvaava video².



Kuva 13.
Biokaasumuunnos maasturille tekeillä.
Kuva: Ritva Impola.

1 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019122127819>

2 <https://www.youtube.com/watch?v=5-NANyxKi-I>



Kuva 14.
Konvertointi vuodelta 2014. Kuva: Ritva Impola.



Kuva 15.
1989 Fleetside 4,3V6 TBI konvertoitu. Kuva: CNGHouse.

7.2 Kuorma- ja pakettiautot

Kuorma- ja pakettiautoja on saatavissa kaasukäyttöisinä sekä uusina että käytettyjä. Kolmas vaihtoehto on muuntaa ajoneuvo kaasukäyttöiseksi. Näitä muunnoksia on tehty vähemmän, koska suurin osa kuorma- ja pakettiautoista on dieselmääräisiä. Dieselmääräisen ajoneuvon muuttaminen on jonkin verran työlämpi ja muunnostyön jälkeenkin ajoneuvo tulee käyttämään kaasun rinnalla dieseliä. Muunnostyön jälkeen dieselajoneuvonkin polttoainekustannukset ja päästöt laskevat.

Bensiinikäyttöisen pakettiauton muunnos kaasukäyttöiseksi on samanlainen prosessi kuin henkilöautonkin muunnos. Esimerkkinä tästä on vuoden 1987 Astro 4,3 V6 TBI, jonka muunnoksesta kaasukäyttöiseksi voi tutustua osoitteessa <http://www.cnghouse.fi>.



Kuva 16.
1987 Astro 4,3V6 TBI konvertoitu Kuva: CNGHouse.

7.3 Linja-autot

Käytössä olevista kaasukäyttöisistä linja-autoista lähes kaikki ovat tehdasvalmisteisia kaasujoneuvoja. Linja-autoja voidaan kuitenkin muuntaa kaasua käyttäviksi samoin perustein kuin muitakin moottoriajoneuvoja.

Suomen Bioauto teki muunnoksen yksityiskäytössä olevaan linja-autoon. Suomalaisen biobussin polttoaineessa 40 prosenttia on biokaasua ja loput dieseliä. Seoksella voi ajaa 700 kilometriä, jonka jälkeen matkaa voi jatkaa pelkällä dieselillä.



Kuva 17.

Suomen Bioauton konvertoima linja-auto. Kuva: Ritva Impola.

7.4 Moottorityökoneet

Suurin osa käytössä olevista työkoneista on dieselkäyttöisiä, joko ajettavia tai siirrettäviä koneita. Osa työkoneista käyttää polttoaineenaan joko bensiiniä tai nestekaasua. Näiden muutos kaasukäyttöisiksi on harkittava tapauskohtaisesti. Rajoittavin tekijä on tankkausmahdollisuuden olemassaolo. Moottorityökoneiden muunnos on perusteltua, jos tankkausasema on työkoneelle helposti saavutettavissa tai konetta käytetään tiloissa, jossa dieselin pakokaasuja halutaan vähentää, esimerkiksi kaivoksissa tai sisätiloissa. Muunnettaviksi työkoneiksi soveltuvat esimerkiksi traktorikäyttöiset työkoneet, kaivinkoneet, kuormaajat, kurottajat, kaivoskoneet, kiinteistötraktorit, trukit, moottorikelkat ja moottorivenet.

Moottorityökoneista kaasukäyttöisiksi on esimerkiksi TerraGasilla muunnettu mm. trukkeja ja moottorikelkka. Muunnettavat trukit ovat olleet alun perin nestekaasukäyttöisiä. Kaasumuunnostyö trukeille käsittää yleensä nestekaasujärjestelmän poistamisen ja säiliön, tankkausliittimen, paineenalentimen ja kaasun määrän näytön asentamisen.



Kuva 18.

Kaasukäyttöiseksi konvertoitu trukki.
Kuva: TerraGas.

7.5 Traktorit

Valtra on suomalainen traktorivalmistaja. Se on osa kansainvälistä AGCO-konsernia. Konserniin kuuluu myös suomalainen moottorivalmistaja AGCO Power.

Valtra on valmistanut pienen koesarjan biokaasutraktoreita. Ne on valmistettu mallin N101 pohjalta. Käyttökohteiksi on suunniteltu maatiloja, urakoitsijoita ja kuntia. Traktori käyttää polttoaineenaan paineistettua biometaania ja dieseliä. Moottori on tavallinen dieselmoottori, johon on lisätty erillinen polttoainejärjestelmä kaasulle. Moottorin käyttämästä polttoaineesta noin 80 % on biometaania ja noin 20 % dieseliä. Kun käynnistetään kylmä moottori, käytetään pelkkää dieseliä. Normaalissa käyttötilanteessa biometaani syötetään imuilman mukana sylinteriin. Männän liikkeessä sylinterin paine kasvaa, jolloin moottoriin ruiskutetaan dieseliä, joka syttyy korkean paineen ja lämpötilan vaikutuksesta. Dieselin palaminen sytyttää sylinterissä olevan biometaanin, joka ei syty puristettaessa samalla tavalla kuin diesel (Kempainen).



Kuva 19.
Valtran biokaasutraktori.
Kuva: Ritva Impola.

Käytössä olevia traktoreita on Suomessa muunnettu kaasukäyttöisiksi vasta muutamia. Tämä siitä huolimatta, että maatalouden investointitukea on mahdollista saada muunnostyöhön ja siihen tarvittaviin laitteisiin ympäristöinvestointina. Tuki on avustusta 35 % tukikelpoisista kustannuksista. Toistaiseksi tukea ei ole haettu. Suurimpana syynä mahdollisesti on se, että biokaasun tankkausasemia on toistaiseksi vasta muutamalla tilalla. Näistä tiloista mm. Suupohjan koulutus kuntayhtymällä Kauhajoella, Palopuron tilalla Hyvinkäällä ja Kalmarin tilalla Laukaalla on tehdasvalmisteiset Valtra biokaasutraktorit.

Ammattiopisto Livian Tuorlan opiskelijat ovat toteuttaneet kaasumuunnoksen Valmet 20 traktoriin opinnäytetyönään. Myös Kalmarin tilalla on käytössä traktori, jolle on tehty kaasumuunnos.



Kuva 20.
Ammattiopisto Livian biokaasutraktori ja polttoainetuotantoyksikkö. (ravinneenergia.fi)

Traktoreiden muunnoksia biokaasukäyttöisiksi kannattaisi harkita julkisten toimijoiden ja urakoitsijoiden toimesta esimerkiksi kiinteistö- ja väylähuollossa niissä kunnissa, joissa ajoneuvojen tankkaus kaasulla on mahdollista.

Oulun ammattikorkeakoulun, Koulutus kuntayhtymä OSAOn ja Centria-ammattikorkeakoulun yhteisessä Biokaasua ja biometaania maataloilta -hankkeessa on tekeillä biokaasukonversio OSAOn Muhoksen yksikön traktoriin.

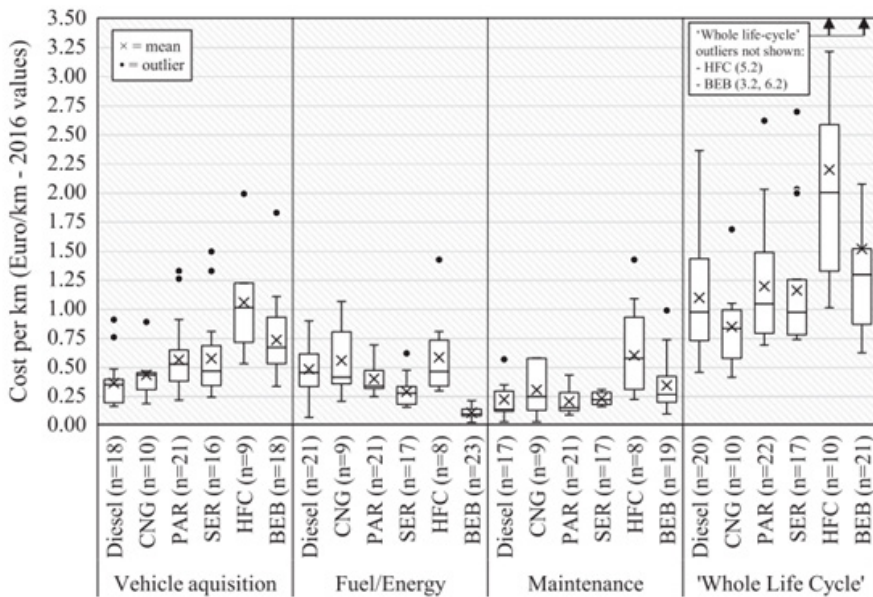
8 Kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston taloudellinen kannattavuus

8.1 Kannattavuus julkisessa liikenteessä

Kokonaiskustannusajattelu on saanut jalansijaa etenkin julkishallinnossa, sillä se ohjaa tehokkaasti ajattelua pois perinteisesti tarjouskilpailuprosesseja hallinneista suorista hankintakustannuksista. Se tarjoaa mahdollisuuden läpinäkyvään ja objektiiviseen vaihtoehtoisten investointien tarkasteluun. Hankintalainsäädäntö ohjaa vahvasti hankintayksiköitä suosimaan tarjouskilpailussa yksinkertaisesti halvimman hankintahinnan antanutta yritystä. Mahdolliset muut valintakriteerit on kyettävä tarkasti erittelemään jo tarjouspyyntövaiheessa, mihin TCO-laskenta (Total Cost of Ownership) tarjoaa käytännöllisiä työkaluja. Parhaassa tapauksessa myyjäyritys omaksuu myös asiakkaan näkökulman, ja kommunikointi ostajan ja myyjän välillä helpottuu. Ostoprosessi helpottuu, kun tietyn toimialan sisällä hinnoittelumallit konvergoituvat kohti yhtenäistä standardia, ja tämä säästää työtunteja sekä ostavassa että myyvässä yrityksessä.

Tarkkojen laskelmien saamiseksi on olennaista ymmärtää syvällisesti tutkittavien ilmiöiden luonne, kustannuskomponenttien keskinäiset suhteet sekä herkkyydet muutoksille. Toisin kuin esimerkiksi täyssähköisten bussien tapauksessa, kaasulinja-auton operointi ja liiketoimintamallit muistuttavat olennaisilta perinteistä dieselkalustoa, mutta eri kustannuskomponenttien painotukset ovat kuitenkin teknologioiden välillä hyvinkin erilaiset.

Arvioita CNG-käyttöisen kaupunkibussin elinkaaren aikaisista kustannuksista on tutkimuskirjallisuudessa käsitelty laajasti, ks. esim (Topal and Nakir 2018), (Sheth and Sarkar 2019), (Kivekäs et al.), (Lajunen 2014, 1-15), (Ercan and Tatari 2015, 1213–1231), (McKenzie and Durango-Cohen 2012, 39-47), (Harris et al. 2018, 569–579), (Ally and Pryor 2016, 285–294). Kenties laaja-alaisin viimeaikainen yhteenvedo on kuitenkin esitetty lähteessä (Harris et al. 2018, 569–579). Kuvassa 21 on esitetty meta-analyysin tuloksena syntynyt esitys eri käyttövoimavaihtoehtojen kustannuksista kilometriä kohti, hankintakustannukset, muut kustannukset sekä kokonaiskustannukset huomioiden.



Kuva 21.

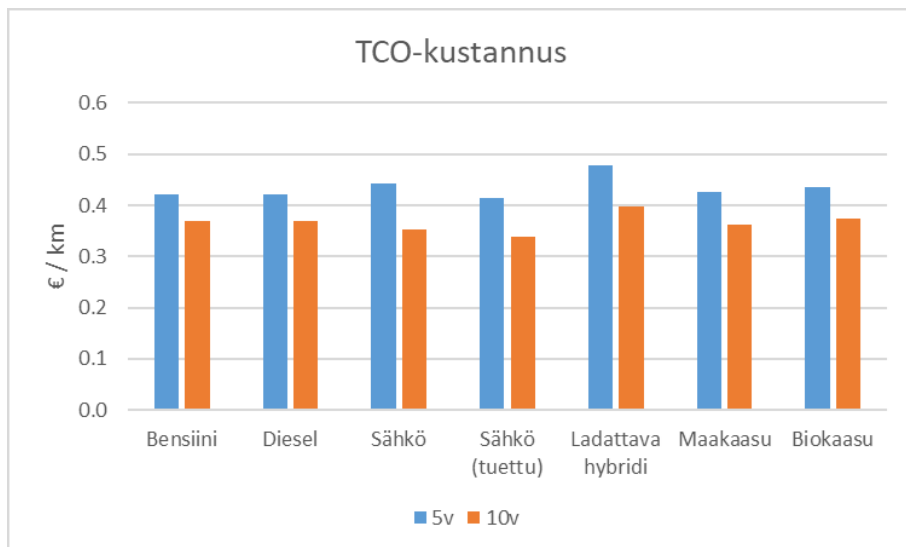
Erialaisten linja-auton käyttövoimien elinkaaren aikaiset käyttökustannukset. CNG=Compressed Natural Gas, PAR=Rinnakkaishybridi, SER=Sarjahybridi, HFC=Vetytollttockenno, BEB=Akkutäyssähkö (Harris et al. 2018, 569–579).

Vaikka tuloksia voidaankin pitää lähinnä suuntaa antavina, yleisesti ottaen kuitenkin havaitaan, että teknologioiden välinen taloudellinen paremmuus ei ole lainkaan selkeä. Esimerkiksi tutkijoiden keskuudessa näyttäisi kyllä vallitsevan melko hyvä yksimielisyys siitä, että täyssähköisten linja-autojen tapauksessa käytönaikaiset energiakustannukset ovat alhaisemmat kuin muilla teknologioilla, mikä selittyikin pit-

kähti sähkömoottorin yliveraisen hyötysuhteen ansiosta. Sitä vastoin kokonaislin-
kaarikustannuksia vertailtaessa ero ei ole läheskään yhtä selkeä (Harris et al. 2018,
569–579).

8.2 Kannattavuus henkilöautoliikenteessä

Henkilöautojen puolella tilanne on samankaltainen, eli kokonaislin-
kaarikustannusten paremmuutta on hankala aukottomasti osoittaa toteen suuntaan tai toiseen
eri käyttövoimavaihtoehtojen välillä. Kirjallisuudessa on esitetty aiheesta runsaasti
erilaisia vertailulaskelmia, esimerkiksi lähteissä (Traficom 2019a) (Traficom 2019b).
Valtion vuosina 2018–2021 myöntämä 1000 euron suuruinen konversiotuki voi
jonkin verran lisätä vanhan auton biokaasukäyttöiseksi muuttamisen taloudellista
houkuttelevuutta, mutta toimenpiteen vaikutuksia voidaan luonnollisesti arvioida
vasta määräaikaisen tukikampanjan päättymisen jälkeen. Ajoneuvokannan uusiu-
tumisen kannalta olennainen kysymys kaikkien vaihtoehtojen voimanlähteiden
osalta olisi kuitenkin saada nimenomaan uusien autojen hankintahinnat mahdolli-
simman lähelle perinteisiä diesel- ja bensiiniautoja, sillä monissa tapauksissa käytön
aikaiset kustannukset ovat jo verraten edullisella tasolla.



Kuva 22.

Henkilöautojen omistamisen yksikkökustannus eri käyttövoimille, muokattu lähteestä
(Traficom 2019).

Yleisellä tasolla tarkkojen laskelmien tekeminen on hyvin hankalaa monien tuntemattomien reunaehtojen vaikuttaessa ajamisen kokonaiskustannuksiin. Esimerkinomainen laskelma on esitetty kuvassa 16, jossa lähteenä käytetty Vernen materiaalia (Traficom 2019).

Erot käyttövoimien välillä ovat lopulta melko pieniä, ja varmuudella voidaan sanoa lähinnä ajosuoritteen kasvamisen sekä investoinnin pitoajan alentavan ajamisen yksikkökustannuksia. Myös tukipolitiikan kehitys vaikuttaa kannattavuuteen, mutta lopulta kaasukäyttöisten henkilöautojenkin pitäisi tulla markkinaehtoisesti riittävän houkuttelevaksi, jotta ne lähtisivät yleistymään. Eräs taloudelliseen analyysiin liittyvä seikka on myös kaasukäyttöiseen ajoneuvon jälleenmyyntiarvoon liittyvä kysymys, sillä käytettyjen autojen markkinasta on toistaiseksi saatavilla vasta rajoitetusti dataa (Traficom 2019).

9 Oulun ammattikorkeakoulun biokaasukontin testien keskeiset tulokset ja soveltaminen käytäntöön

Oulun ammattikorkeakoulun Auto- ja moottorilaboratoriossa on ollut liikuteltava, konttiin rakennettu, hajautetun energiantuotannon tutkimusyksikkö (CHP-voimalaitoskontti), joka koostuu polttomoottorista, generaattorista sekä sähköenergian verkkoonsyöttöyksiköstä. CircVol-hankkeessa tämän voimalaitoskontin yhteyteen rakennettiin koeympäristö, jossa liikenteen monipolttoaineratkaisuja voidaan testata erityisesti moottoritekniikan, -ohjauksen ja -säätöjen osalta.

Tutkimusyksikössä on kehittyneet mittaus- ja analysointijärjestelmät, joilla voidaan määrittää energiantuotto-prosessin kokonaishyötysuhde. Myös kaasumaisia päästöjä on mahdollista testata. Lisäksi mittautustietoja voidaan käyttää apuna ohjausjärjestelmän säätöparametrien asettamisessa, jolla optimoidaan päästöjä, laitoksen hyötysuhdetta ja laitoksen toimintaa kulloinkin käytettävissä oleville polttoainevaihtoehdoille. Laitteistoa voidaan käyttää varastoidulla, puhdistetulla ja paineistetulla bio- ja maakaasulla. Kokeellisen testauksen avulla voidaan kerätä tietotaitoa ja osaamista monipolttoainekäyttöjen suunnittelusta, toteutuksesta ja käytöstä.

Testausympäristön kehittämisen tuloksena saatiin koeympäristö monipolttoaineratkaisujen testaamiseksi voimalaitoskäyttönä, joka hyödyntää paikallisesti tuotettua biokaasua. Kuljetus- ja moottoritekniikan alan yrityksille tätä koeympäristöä esiteltiin yritystilaisuudessa 17.10.2019.

Hankkeen toimeksiantona on myös teetetty opinnäytetyö, jossa muutostyön perusteita on tarkemmin kuvattu. Työn tarkoituksena oli selvittää pakokaasupäästöjen muuttuminen siirryttäessä dieselmoottorista biokaasumoottoriin. Päästöihin voidaan järjestelmässä vaikuttaa säätötekniikan keinoin sytytyksen ja polttoaineensyötön ohjauksen muutoksilla. Sytytystä on käyttöönoton yhteydessä säädetty palopaineantureilla ja samaa tekniikkaa hyödyntäen voidaan myös analysoida polttomoottorin hyötysuhde. Niilas Kivelä toteutti aiheesta opinnäytetyön Oulun ammattikorkeakoulussa.³

9.1 Koeympäristön yleiskuvaus

Hankkeen aikana muunnettu järjestelmä on mobilisoitu yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon voimalaitoskontti (CHP) (kuva 23). Järjestelmän pääkomponentit ovat polttomoottori, generaattori ja sähkön verkkoonsyöttöyksikkö. Energianlähteenä käytetään biokaasua, jota saadaan kaasuasemilta. Global Boiler Works Oy tarjosi mahdollisuuden sijoittaa kontin toimitilojensa pihamaalle ja kytkeä järjestelmän sähköisesti kyseiseen kiinteistöön. Sijoituspaikka on vakiintunut ja järjestelyyn on oltu tyytyväisiä.



Kuva 23.
CHP-kontti.

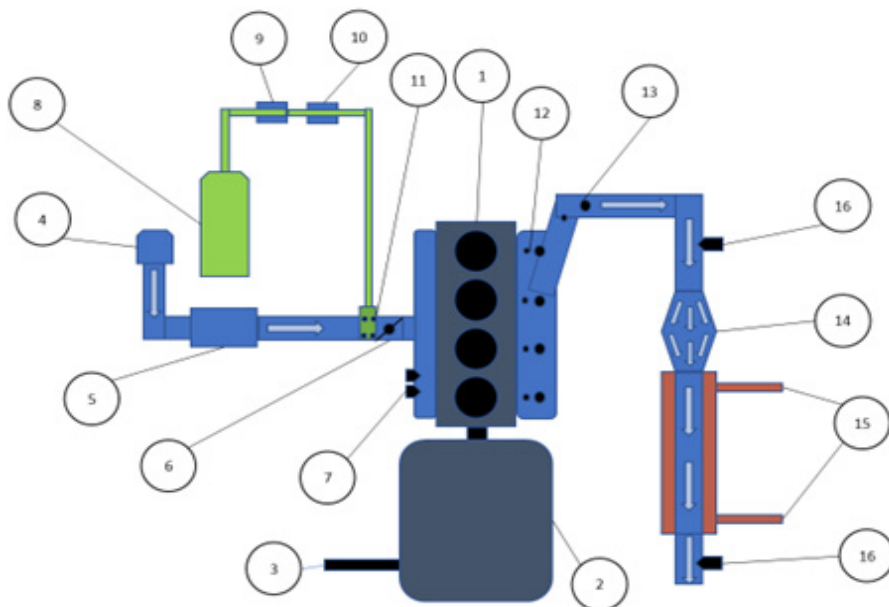
3 <https://oamk.finna.fi/Record/leevi.218138>

Koeympäristöä käytettäessä järjestelmä ottaa käynnistymiseen tarvitsemansa sähkön verkosta. Tämän jälkeen polttomoottori käynnistää generoinnin sähkömoottorissa, ja verkkoonsyöttöyksikkö vaiheistaa tuotetun sähkön sähköverkkoon. Polttomoottorin toimintaperiaatteen mukaisesti suurin osa energiasta kuluu lämmöntuottoon ja tässä järjestelmä moottorin tuottama lämpö kerätään lämmönvaihtimella järjestelmän nestekierto. Tähän kiertoon on mahdollista kytkeä esimerkiksi kiinteistön lattialämmitys. Koekäytössä lämpöä voidaan myös puhaltaa ulos hukkalämpöpuhaltimen kautta, mikäli muuta kohdetta lämpöenergialle ei ole saatavilla.

Polttomoottori on AGCO Powerin valmistama ja alun perin se käyttää energianlähteenään dieselpolttoöljyä. Puristussuhdetta on laskettu vaihtamalla moottoriin mitoitukseltaan alkuperäisestä poikkeavat männät. Kipinäsytytys on lisätty korvaamalla polttoainesuuttimet sytytystulpilla. Kaasukäyttöön soveltuvat polttoainesuuttimet on kohdistettu imusarjaan ennen kaasuläppää. Generaattorina toimii tyyppilinen nimellisteholtaan 45 kW:n vaihtovirtamoottori. Verkkoonsyöttöyksikkö on ABB:n teollisuuskäyttöön tarkoitettu välipiirillinen taajuusmuuttaja. Hankkeessa järjeistettiin kontissa olevia mittaus- ja tiedonkeruujärjestelyjä.

9.2. Järjestelmä ja rakennekaavio

CHP-kontin laitejärjestelmä koostuu AGCO Powerin valmistama Sisu Power 49g -polttomoottorista, ACS800-11-taajuusmuuttajasta ja ATB:n valmistama AF 225M/4K-kolmivaihe-sähkömoottorista. Järjestelmän mittauslaitteistoon kuuluu ohjausjärjestelmä, massavirtamittari ilmalle, massavirtamittari polttoaineelle, Kistler KiBox -palopaineen mittausjärjestelmä ja Bosch-pakokaasuanalysointilaite.



1. Polttomoottori
2. Generaattori
3. Generaattorin syöttökaapeli
4. Imuilmansuodatin
5. Ilmamassamittari
6. Kaasuläppä
7. Imulämpö- ja paineanturi
8. Biokaasusäiliö
9. Kaasuvirtausmittari
10. Paineenalennusventtiili 200bar - 4bar
11. Suihkutusruutit
12. Sylinterikohtaiset pakolämpö- ja lambda-anturit
13. Pakolämpö- ja lambda-anturi
14. Hapetuskatalysaattori
15. Hukkalämmön talteen otto

Kuva 24.

Koeympäristön rakennekaavio.

Kuvassa 24 on esitetty koeympäristön rakennekaavio. Rakennekaaviota on selkeyttämisen vuoksi yksinkertaistettu eikä siinä ole kuvattuna moottoriveden lämmön talteenottojärjestelmää.

9.3 Käyttöönoton yhteydessä suoritettu demonstraatio

Ennen mittausten tekoa moottorinohjauksen sytytys- ja suihkutuspärametrit säädettiin polttomoottorin palopaineen mittausjärjestelmän avulla. Tarkoituksena oli saattaa moottori toimimaan siten, että moottorinohjaukseen myöhemmin mahdollisesti tehtäviä muutoksia voitaisiin verrata johonkin kiinteään ja määriteltyyn lähtötilanteeseen. Käytännön tasolla tämä tehtiin siten, että yhden kierroksen aikana sylinterissä esiintyvä palamispaheen maksimi säädettiin esiintymään samassa kohdassa verrattuna männän ylimpään asentoon eli yläkuolokohtaan. Moottorin tarvitsema palamisilman määrä ja polttoainemäärä määritettiin teoreettiseen optimiarvoon, jossa kaikki moottoriin syötetty ilma käytetään polttoaineen palamiseen eikä palamattomia aineita teoriassa jää.

Toiminta-alue määritettiin kyseiselle säädölle ja toiminta-alueella tehtiin suorituskyky- ja hyötysuhdemittaukset, joita jäljempänä on avattu tarkemmin. Ennen mittausten suorittamista moottorin mekaaninen kunto tutkittiin puristuspahe- ohivuoto- ja endoskoopitutkimuksin. Moottorin todettiin olevan mekaanisesti lähes uutta vastaavassa kunnossa.

9.4 Hyötysuhde

Hyötysuhde voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen: Polttomoottorin hyötysuhdemittauksella nähdään, kuinka suuri osa polttoaineen energiasta saadaan muunnettua tehoksi polttomoottorin akselille. Sähköinen hyötysuhde kertoo, kuinka suuri osa CHP-järjestelmässä käytetystä energiasta voidaan käyttää järjestelmän ulkopuolella sähkönä. Sähköinen hyötysuhde voidaan todeta mittaamalla kussakin kuormituspisteessä järjestelmästä sähköverkkoon tuotettu teho. Lämpöhyötysuhde kertoo, kuinka suuri osa järjestelmän tuottamasta hukkalämmöstä voidaan ottaa talteen. Sähkö- ja lämpöhyötysuhteen summa on kokonaisyötysuhde, joka kertoo, kuinka paljon järjestelmässä käytetystä polttoaineen energiasta voidaan hyödyntää sähkö- ja lämpöenergiana.

Hyötysuhteet voidaan määrittää jokaiselle moottorin toimintapisteelle, eli kulloinkin käytössä olevalle kierrosluvulle ja kuormitukselle. Oheinen testimatriisi (taulukko 4) kuvaa käytetyn kierroslukualueen sekä moottorin kuormitusasteen koeympäristön suorituskyvyn suhteen. Matriisin arvot ilmaisevat kussakin mittapisteessä vallinneen todellisen kuormituksen, kun taas hyötysuhteita kuvaavat taulukot il-

maisevat kuormituksen noin-arvona esittämisen yksinkertaistamiseksi. Kierrosalueella 1100–1900 rpm moottorin tuottama maksimimomentti ja teho ylittävät generaattorille asetetut turvarajat, jolloin mittausta ei suoriteta rajan ylittävällä alueella. Matriisiin avulla siis esitetään, mitä polttomoottorin kierros lukua (rpm) ja järjestelmän kuormitusastetta (%) mitatut hyötysuhdepisteet vastaavat.

Taulukko 4. Testimatriisi.

		Kierros luku [rpm]					
		1100	1300	1500	1700	1800	1900
Moottorin kuormitus prosentteina		29,8	29,7	29,6	29,5	28,8	29,6
		39,8	39,6	39,4	39,3	38,4	39,4
		58,5	58,2	58	57,9	57,5	59,1
		80,7	80,2	80	79,8	75,5	78,9
		100	100	100	100	100	100

Polttomoottorin hyötysuhde (taulukko 5) laskettiin mittaamalla moottorin ominaiskulutus. Se ilmaisee, kuinka paljon polttoainetta mekaanisen energian tuottoon kuluu.

Sähköinen hyötysuhde (taulukko 6) laskettiin mittaamalla sähköverkkoon keskimäärin syötettävä teho. Sähköinen hyötysuhde ei ole vakio, koska koeympäristön sähkönkuluttajat, kuten esimerkiksi mittalaitteet, lämmityspatterit ja puhaltimet käyttävät sähköä eri tavoin olosuhteista riippuen. Tällöin myös tuotetun sähkön määrä vaihtelee, koska järjestelmän sähkönkulutus syö osan tuotetusta sähköenergiasta. Muita sähköiseen hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sähkögeneraattorin kokonaishyötysuhde ja taajuusmuuttajan hyötysuhde.

Lämpöhyötysuhdetta ei tässä demonstraatioissa mitattu, koska pakokaasun lämpöenergiaa ei puutteellisen lämpöeristyksen vuoksi saada kunnolla talteen. Lämpöhyötysuhde riippuu siitä, kuinka paljon järjestelmän tuottamasta lämpöenergiasta saadaan otettua talteen. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa järjestelmän lämmönvaihtimien tehokkuus sekä energian siirron tehokkuus ulos järjestelmästä. Tässä järjestelmässä lämmön talteenottoon ei ole kiinnitetty juurikaan huomiota. Lyhyesti voidaan todeta, että energia, joka ei muutu sähköenergiaksi, muuttuu lämpöenergiaksi ja merkittävä osa siitä voidaan periaatteessa hyödyntää laitoksen ulkopuolella.

Taulukko 5. Polttomoottorin hyötysuhde [%].

Kuormitus %	Kierrokset [rpm]					
	1100	1300	1500	1700	1800	1900
30	19,7	19,4	19,3	18,9	18,1	16,4
40	22,0	21,9	21,9	21,6	20,7	19,1
60	25,5	25,4	25,4	25,2	24,4	22,8
80	28,0	27,9	27,9	27,6	26,4	25,2
100	29,3	29,2	29,1	28,9	28,3	26,8

Taulukko 6. Järjestelmän sähköinen hyötysuhde [%].

Kuormitus %	Kierrokset [rpm]					
	1100	1300	1500	1700	1800	1900
30	12,0	12,6	13,1	13,4	12,6	11,3
40	14,7	15,4	16,0	16,1	15,3	13,9
60	18,8	19,3	19,7	19,9	19,1	17,6
80	21,7	22,1	22,4	22,4	21,3	20,2
100	23,3	23,6	23,8	23,8	23,2	21,9

Polttomoottorin hyötysuhteen voidaan arvioida olevan ottomoottorille tyypillinen. Toisaalta kyseisen kokoluokan dieselmoottorissa hyötysuhde on hieman korkeampi tähän demonstraatioon verrattuna. Järjestelmässä käytetään polttoaineena kaasumaista polttoainetta, joka olomuotonsa vuoksi syrjäyttää osan moottoriin imettävästä ilmatilavuudesta. Koska seoksen on oltava optimaalinen palamisen mahdollistamiseksi, sylinterin ilmatäytös jää täten pienemmäksi ja polttoaineseosta voidaan polttaa dieseliin verrattuna vähemmän. Siten yhden työkierron aikana moottorin kitkan ja vastusten voittamiseksi voidaan tuottaa vähemmän hyötyenergiaa. Lisäksi biokaasun nakutuskestävyys eli itsesyttymiseen vaikuttava puristuskestävyys on pienempi. Puristussuhdetta on pienennettävä nakutuksen ehkäisemiseksi, jolloin polttomoottorin hyötysuhde myös heikkenee.

Toisaalta biokaasun alempi lämpöarvo on dieseliä korkeampi, eli samasta massasta biokaasua saadaan enemmän energiaa kuin dieselistä. Lisäksi täysin optimoimattomassa systeemissä, kuten tämä demonstraatio, hyötysuhteeseen voidaan vaikuttaa moottoriparametrien säädöllä ja tehtyjä parametrimuutoksia ja niiden vaikutuksia voidaan verrata tämän demonstraation alkupisteeseen, joka oli kiinteäksi määritelty. Moottorin hyötysuhteeseen vaikuttaa merkittävästi palotapahtuman tasaisuus, palotapahtuman ilmakerroin eli käytetyn ilman suhde polttoaineeseen sekä sytytysajankohta.

9.5 Päästöt

Päästömittauksia tehtiin ennen katalysaattoria (taulukko 7) ja katalysaattorin jälkeen (Taulukko 8). Ensinnäkin päästömittauksilla voidaan todeta katalysaattorin toiminta ja hyödyllisyys päästöjen kontrolloinnissa, mutta lisäksi päästöjen mittaaminen on ympäristön kuormittamisen kannalta erittäin tärkeä testauskohde. Mittauksin voidaan myös todentaa polttomoottorin optimaalinen toiminta päästöjen kannalta, koska optimaalinen palotapahtuma tuottaa puhtaat päästöt verrattuna epäoptimaaliseen palamiseen. Tässä demonstraatiossa päästömittauksen suorittamisen tarkoitus oli todeta moottorin haluttu toiminta ja verrata päästöjä esimerkiksi henkilöliikenteen katsastuksessa vaadittuihin päästötärvoihin.

Taulukko 7. Päästöt ennen katalysaattoria.

	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)	NO (ppm)	T (Nm)	n (rpm)
Mittaus 1	0,535	12,11	0,53	189	2894	264,9	1300
Mittaus 2	0,423	12,21	0,55	171	3083	265,9	1500
Mittaus 3	0,461	12,25	0,36	161	3184	266,4	1700
Mittaus 4	0,433	12,17	0,53	190	3154	212,6	1500

Taulukko 8. Päästöt katalysaattorin jälkeen.

	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)	NO (ppm)	T (Nm)	n (rpm)
Mittaus 1	0,104	12,67	0,2	142	769	264,9	1300
Mittaus 2	0,159	12,54	0,23	142	1619	265,9	1500
Mittaus 3	0,07	12,74	0,15	117	1234	266,4	1700
Mittaus 4	0,04	12,73	0,13	128	1234	212,6	1500

Päästöjen ennen katalysaattoria voidaan todeta olevan biometaanin poltolle varsin ominaiset. Esimerkiksi puhtaan metaanin puhtaassa poltossa hiilidioksidia CO₂ syntyy 12 prosenttia, ja tehdyissä demonstraatiomittauksissa hiilidioksidia esiintyi tätä enemmän. Tämä selittyy sillä, että CO₂-päästöön vaikuttaa myös biokaasu-polttoaineen CO₂-pitoisuus, joka Kiertokaaren mukaan on heidän polttoaineessaan korkeintaan 1,5 prosenttia.

Kuten taulukkoja vertaamalla voidaan todeta, katalysaattori käyttää happea monoksidien muuttamiseen dioksideiksi, ja katalysaattorin jälkeen mitattuna voidaan to-

deta hiilimonoksidimäärän pudonneen varsin pieneksi verrattuna esimerkiksi moottorin valmistusaikaisiin katsastuksessa vaadittaviin arvoihin (taulukko 9), kun taas hiilidioksidin määrä on kohonnut suunnilleen samassa suhteessa. Kaikissa mittauksissa pakokaasurajoissa mainittu lambda-arvo oli tasan 1.

Taulukko 9. Henkilöautojen katsastuksen päästörajat.

Moottorityyppi tai auton käyttöönottoaika	Joutokäynti			Väh. 2000 r/min		
	OBD	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	Lambda
Ennen 1.10.1986	-	4,5	1000	-	-	-
1.10.1986 tai jälkeen	-	3,5	600	-	-	-
Varustettu kolmitoimisella katalysaattorilaitteistolla	-	0,5	100	0,3	100	1±0,03
Ey-tyyppihyväksytty direktiivin 98/69/Ey-mukaisesti (EURO 3 ja 4)	Tarkastus	-	-	0,2	100	1±0,03
1.7.2002 jälkeen	Tarkastus	-	-	0,2	100	1±0,03

Optimoinnilla ja erilaisia päästöjärjestelmiä käyttäen voidaan saavuttaa myös puhtaammat päästöt. Verrattaessa moottoria henkilöliikenteessä käytettyihin moottoreihin, joissa on samanlainen pakokaasujen käsittelyjärjestelmä, CO-päästöjen voidaan katsoa olevan oikein hyvät jo ilman optimointia. Hiilivetypäästöt ovat katalysaattorilla varustetulle moottorille keskivertoa korkeammat, koska moottorin palamistapahtumaa ei ole säätötekniikan keinoin juurikaan optimoitu. NO-päästöt ovat korkeahkot, mutta korkealle puristussuhteelle tyypilliset. Kokonais-NO_x-päästöjä ei voitu määrittää NO₂-anturin puuttuessa. Korkeita NO- ja HC-pitoisuuksia katalysaattorin jälkeen voidaan osaltaan selittää katalysaattorin ja pakokaasujärjestelmän puutteellisella lämmöneristyksellä, koska katalysaattori voi toimia oikein vasta riittävän korkeassa lämpötilassa.

9.6 Yhteenveto

CircVol-hankkeen yhtenä tarpeena oli tuottaa koeympäristö, jossa voidaan testata liikenteen monipolttoaineratkaisuja. Oulun ammattikorkeakoulun auto- ja moottorilaboratorion liikuteltava voimalaitoskontti muutettiin testaustarkoituksiin soveltuvaksi koeympäristöksi ja kontissa tehtiin demonstraatiomittaukset, joiden tarkoitus oli varmistaa järjestelmän toiminta ja soveltuvuus testaamiseen.

Järjestelmän kehittyneellä ohjaus- ja mittausjärjestelyllä todettiin olevan mahdollista analysoida polttomoottorikäytön ohjausta ja CHP-energiantuotantoa biokaasua käytettäessä. Polttomoottoriprosessin kaasumaisia päästöjä mitattiin demonstraatiomittauksessa, ja optimoimattoman systeemin todettiin tuottavan lupaavat päästöarvot. Polttomoottorin hyötysuhde mitattiin käytetyn tekniikan käyttökelpoisuuden analysoimiseksi ja sähköinen hyötysuhde mitattiin demonstraatiomielessä. Demonstraatiossa esiteltyjen mittausten perusteella polttomoottoria voidaan optimoida käyttäen ohjausjärjestelmän säätöparametreja. Kokeellisen testauksen avulla saatiin kerättyä tietotaitoa ja osaamista myös itse demonstraatiomittauksen aikana.

Järjestelmän toiminnan voitiin katsoa olevan selitettävissä niillä ominaisuuksilla, joita järjestelmässä tällä hetkellä on. Esimerkiksi pakokaasujärjestelmän todettiin kaipaavan päivitystä muun muassa lämmönerityksen osalta. Myös pakokaasuanalyysiiä varten järjestelmään olisi hyvä lisätä tasokas monikaasuanalysointitarkempien ja kuvaavampien mittaustulosten saavuttamiseksi. Järjestelmän kohtalaisen pieni polttoainevarasto olisi myös järkevää päivittää suuremmaksi.

Riippuen eri toimijoiden ja yhteistyökumppaneiden tarpeista, järjestelmää tullaan tulevaisuudessa edelleen kehittämään muun muassa mittausjärjestelyiden ja tehtävien testien osalta. Järjestelmän CAN-rajapinnan avulla järjestelmään voidaan liittää myös ulkoinen ohjausjärjestelmä. Myös tiedon analysointi pilvitietokannassa on yksi tulevaisuuden mahdollisuuksista. Toisaalta koko järjestelmän suurempia kokonaisuuksia, kuten polttomoottoria tai sähkömoottoria voidaan joko muuttaa tai vaihtaa tarpeista riippuen. Myös Live-etäohjauksen toteuttaminen on mielenkiintoinen testaamisen kohde, joka toisi käyttöön myös joustavuutta. Laajempaan visiona voidaan pitää olosuhdekontrollia, joka mahdollistaisi monipolttoainekäyttäjien testaamisen laajemmalla lämpötila-alueella.

Hankkeen tavoitteet saatiin työn yhteydessä täytettyä ja järjestelmä on tällä hetkellä käyttökunnossa ja sitä käytetään yhdessä yhteistyökumppaneiden kanssa erilaisten sovelluskohteiden testaamiseen ja tutkimiseen. Järjestelmän on todettu olevan myös järkevä oppimisympäristö, joten sitä voisi käyttää myös opetustarkoituksiin.

10 Biokaasun käytön mahdollisuudet Oulun Välimaan alustalla

Oulun Välimaa on tuleva kiertotalousalue, jolle on suunnitteilla erilaisten kiertotalousyritysten toiminta-alueita. Tällä hetkellä alueella operoi kaksi yritystä Lassila&Tikanoja Oyj sekä Kiertokaari Oy. Välimaan kiertotalousalue on yhteensä noin 150 hehtaarin kokoinen alue, jossa on toimintaedellytykset useammalle toimijalle. Alue sijaitsee Oulussa Kiimingintien (mt 849) varrella noin 7 km Kiimingin taajamasta pohjoiseen. Oulun keskustasta Välimaalalle on matkaa noin 28 km. Alueen kehittämisen lähtökohtana ovat materiaalitehokkuus sekä uudet innovatiiviset ratkaisut ja tuotteet.

Biokaasun hyödyntäminen alueella on ollut alueen suunnittelussa mukana alkumetreiltä saakka. Biokaasun tuotantoa alueelle ei suunnitella, mutta alueen energiantuotannossa tai alueen liikenteessä biokaasun hyödyntäminen on tavoiteltava vaihtoehto.

10.1 Ajoneuvomäärät Välimaalalla ja sinne johtavilla teillä

Lassila&Tikanojan Välimaan materiaalitehokkuuskeskuksen ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa (YVA) on kuvattu suunnitellun toiminnan vaikutuksia liikenteeseen kahdella toteutusvaihtoehdolla VE1 ja VE2. Pohjois-Suomen aluehallintovirasto myönsi Lassila&Tikanojalle ympäristöluvan toteutusvaihtoehdolle 2, jonka mukaisesti alueella toteutettavassa toiminnassa voidaan vastaanottaa ja käsitellä lupapäätöksen mukaisia jätteitä yhteensä 350 000 tonnia vuodessa (Envineer Oy 2018) (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2014).

Lassila&Tikanojan toiminnan myötä raskaan liikenteen määrä Välimaan kiertotalousalueelle tulee olemaan 70 ajoneuvoa (meno-paluu) vuorokaudessa. Henkilöliikenteen määrän on arvioitu olevan 40 edestakaista ajoneuvoa vuorokaudessa (Envineer Oy 2018).

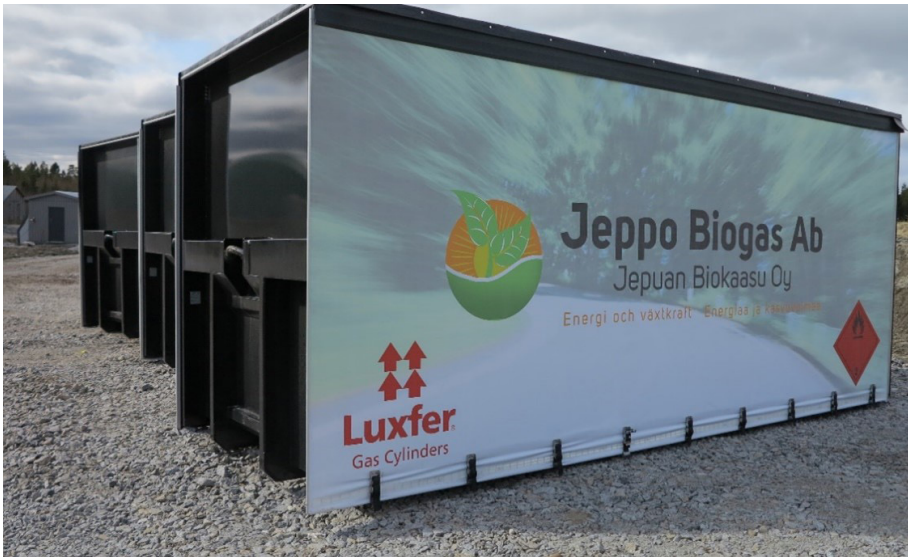
Kiertokaari Oy:llä on vireillä Välimaan käsittelykeskuksen toiminnan ympäristöluvan tarkistushakemus, johon odotetaan lupapäätöstä vuoden 2020 aikana. Lupa-hakemuksessa on esitetty, että käsittelykeskukseen vastaanotettaisiin jätteitä vuosittain 90 000 tonnia. Raskaan liikenteen määrä lisääntyisi tämän toiminnan seurauksena 18 ajoneuvolla vuorokaudessa, kun autoliikenteen arvioidaan tapahtuvan arkipäivien aikana (Ramboll Oy 2014). Henkilöliikenteen määrää ei ole tarkistushakemuksessa arvioitu.

Välimaan kiertotalousalueelle johtavalla Kiimingintiellä (maantie 849) liikenteen keskimääräinen kokonaismäärä vuonna 2018 välillä Kuusamontien risteys-Takalon-tien risteys oli 1 855 ajoneuvoa vuorokaudessa, joista 134 oli raskasta liikennettä. Välimaan risteyskohdalla liikennettä oli keskimäärin 939 autoa vuorokaudessa, joista 98 on raskaita ajoneuvoja. Kuusamontiellä (valtatie 20) välillä Kiimingintien risteys-Kiiminkijoentien risteys ajoneuvoja kulki vuonna 2018 keskimäärin 6 511 kappaletta vuorokaudessa, joista 597 oli raskaita ajoneuvoja (Väylä 2020).

Raskasta liikennettä alueen ympäristöluvituksen mukaan tulisi alueella olemaan n. 90 autoa ja 40 henkilöautoa. Kun ottaa huomioon Välimaan risteyskohdan liikennelaskennat vuodelta 2018, tulee alueella kulkemaan päivittäin n. 190 raskasta ajoneuvoa ja n. 1000 henkilöautoa.

10.2 Biokaasun käyttöedellytysten kehittäminen Välimaalla

Tässä selvityksessä Välimaan kiertotalousalueen biokaasun käyttöedellytyksiä arvioitiin kolmen erilaisen vaihtoehdon kautta. Koska biokaasun tuotantoa alueelle tai sen lähistölle ei ole suunnitteilla, alueella käytettävä biokaasu tultaisiin toimittamaan alueelle kuljetuskonteilla kauempaa.



Kuva 25.

Konttiratkaisu biokaasun kuljetukseen Kuva: Ritva Impola.

Konttiratkaisu toisi alueelle vaihtoehtoja biokaasun energiakäytössä. Liikennekäytön lisäksi biokaasua voidaan hyödyntää alueella työkonien polttoaineena sekä sähkön ja lämmön tuotannossa.

Selvityksessä tarkastellaan kolmea eritasoista liikennebiokaasun käytön vaihtoehtoa, jotka alueella olisi mahdollista toteuttaa.

Vaihtoehto 1. Ammattiliikenteelle suunnatun, mutta myös julkisessa käytössä olevan biometaanin tankkauspisteen perustaminen

Tässä vaihtoehdossa alueelle perustetaan biometaanin tankkauspiste, joka palvelee Välimaan alueen ammattiliikennettä mutta toimii myös julkisena tankkausasemana alueen ohi kulkevalle liikenteelle. Tankkauspiste sijoitetaan Välimaan alueen sisääntuloliittymän välittömään läheisyyteen, jotta käyttö sekä julkisena tankkausasemana että Välimaan alueen sisäisen liikenteen tankkausasemana ja kaasun hyödyntämismahdollisuutena toteutuu. Kaasu toimitetaan pullokonteissa tankkauspisteeseen. Tankkaus pisteessä on nopeatankkaus eli normaalin auton tankkaus kestää muutaman minuutin. Tankkaus maksetaan maksukortilla.

Vaihtoehdon investointi on karkealla arvioinnilla 400000–700000 €. Kannattavan tankkausaseman ylläpito 400000 € investoinnilla edellyttäisi noin 285 vuosittain 20000 km ajavaa henkilöautoa tai noin 70 vuosittain 60000 km ajavaa raskasta ajoneuvoa. Vastaavasti 700000 € kannattava investointi edellyttää noin 500 henkilöautoa tai noin 120 raskasta ajoneuvoa.

Kun tarkastellaan liikenne-ennusteita ja ympäristöluvituksen liikenne-arvioita Väliimaan alueella niin alemman, 400000 € investoinnin toteutuessa riittää, jos noin 14 % alueella liikennöivistä henkilöautoista ja noin 18 % raskaista ajoneuvoista käyttää biokaasua. Ylemmän, 700000 € investoinnin toteutuessa henkilöautoista noin 25 % ja raskaista ajoneuvoista noin 30 % tulisi käyttää biokaasua.

Vaihtoehto 2. Hitaamman tai pienemmän alueellisen biometaanin tankkaus-pisteen perustaminen

Tässä vaihtoehdossa toteutetaan alueellinen pienemmän kokoluokan tankkausase-ma, joka palvelee ensisijaisesti Väliimaan alueen ammattiliikennettä. Tankkaus-piste sijoitetaan Väliimaan alueen sisään, jotta käyttö Väliimaan alueen sisäisen liikenteen tankkausasemana ja kaasun hyödyntämismahdollisuutena mahdollisimman helpos-ti toteutuu. Kaasu toimitetaan pullokonteissa tankkaus-pisteeseen. Tankkaus-pisteessä on hidastankkaus eli normaalin auton tankkaus kestää n. 15 minuuttia.

Vaihtoehdon investointi on karkealla arvioinnilla 50000 €. Kannattavan tankkaus-aseman ylläpito tällä investoinnilla edellyttäisi noin 35 vuosittain 20000 km ajavaa henkilöautoa tai noin 8 vuosittain 60000 km ajavaa raskasta ajoneuvoa.

Kun tarkastellaan ympäristöluvituksen liikenne-arvioita Väliimaan alueella niin 50000 € investoinnin toteutuessa riittää, jos noin 10 % alueella liikennöivistä ras-kaista ajoneuvoista käyttää biokaasua.

Vaihtoehto 3. Kaasukäyttöisen ajoneuvokaluston käytön huomiointi (arvotta-minen) urakoitsijoiden kilpailutuksissa

Tässä vaihtoehdossa Väliimaan alueen liikenteen biometaanin käyttöä edistetään alueen hankinnoissa ja kilpailutuksissa. Alueella liikennöi ympäristöluvituksen lii-kennearvion mukaan noin 90 raskasta ajoneuvoa ja noin 40 henkilöautoa. Näis-tä raskaiden ajoneuvojen suuri osa liittyy maanrakennuskohteiden maa-ainesten lä-jitykseen ja puhdistukseen tai kierrätysmateriaalien kuljetukseen. Näihin ajoihin

kohdistuva liikenne on useimmiten kilpailutuksen kautta hankittua. Liikenne voidaan kilpailuttaa siten, että edellytetään käyttövoimana biometaania tai annetaan lisäpisteistä alemmista päästöistä. Näitä asioita on painotettu esimerkiksi Oulun joukkoliikenteen hankintojen kilpailutuksessa.

Tällä vaihtoehdolla vaikutetaan alueen liikenteen päästöjen määrään ja alueen imagoon. Liikenteen elinaikaiset päästöt (well to wheel) alueella vähenevät biometaanikäyttöisillä ajoneuvoilla 85–90 %.

11 Yhteenveto

Riippuvuuden vähentäminen fossiilisista polttoaineista ja kasvihuonekaasupäästöjen eliminoiminen on yhteiskuntamme kestävyuden kannalta ydinkysymyksiä lähivuosikymmeninä. Biomassaperäinen metaani (biometaani) on eräs lupaavimmista tulevaisuuden polttoaineista, jonka liikennekäytön edellytyksiä on mahdollista lisätä merkittävästi suhteellisen helpoin toimenpitein ja jolla on välitön vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen vähenemiseen.

Biometaanin laajempi hyödyntäminen palvelee myös pyrkimyksiä kiertotalouden toteutumiseen. Biometaani syntyy yhdyskuntien, teollisuuden ja maatalouden biojätteistä. Syntyprosessissa energia saadaan talteen ja lisäksi materiaali on prosessin jälkeen käytettävissä ravinteena kasveille. Fossiilisia polttoaineita säästyy sitäkin kautta lannoitevalmistuksen vähentyessä.

Julkisia hankintoja lähivuosina ohjaava puhtaiden ajoneuvojen direktiivin toteuttaminen vaikuttaa merkittävästi siihen, millaisia ajoneuvoja kunnat ja julkiset organisaatiot hankkivat. Biometaanikäyttöiset ajoneuvot toteuttavat osaltaan tämän direktiivin vaatimuksia, joilla pyritään saamaan liikenteeseen enemmän nolla- ja vähäpäästöisiä ajoneuvoja.

Kaasukäyttöisten ajoneuvojen määrä ajoneuvojen kokonaismäärästä on vielä pieni, mutta niiden määrä on kiihtyvässä kasvussa. Vuoden 2019 aikana Suomessa kaasukäyttöisten ajoneuvojen määrä kasvoi 64 prosentilla ja vuoden lopussa kaasukäyttöisiä ajoneuvoja oli jo 10 000 kappaletta. Tosin kaasukäyttöiset ajoneuvot voivat käyttää käyttövoimanaan niin biometaania kuin maakaasuakin, joka on fossiilinen polttoaine, mutta suuri osa tankatusta kaasusta on kierrätysraaka-aineista valmistettua biometaania.

Oulun ja Turun sekä niiden naapurikunnissa on tällä hetkellä kummallakin alueella jo satoja kaasujoneuvoja ja kummallakin alueella on biokaasun tuotantoa, sen jalostusta liikennekäyttöön ja alan teknologian kehitystyötä. Kaasujoneuvojen lisääntymisen edellytys, kattava tankkausverkosto, kehittyy kummallakin alueella. Tällä hetkellä Suomen pohjoisimmat kaasutankkausasemat sijaitsevat Oulussa.

Kaasukäyttöisiä henkilöautoja on saatavissa tällä hetkellä uusina ainakin Opel, Audi, Seat, Skoda ja Volkswagen merkeistä. Käytettyjen kaasukäyttöisten autojen valikoima on laajempi, koska osa autonvalmistajista on päätenyt kehittämään pääasiassa sähköautotekniikkaa. Esimerkiksi Volvo ei valitettavasti enää valmista uusia kaasukäyttöisiä autoja. Osaltaan tilanteeseen on johtanut kaasujoneuvojen päästöjen määrittysperusteet, joiden muutoksiin on kylläkin vireillä useita aloitteita.

Uusia kaasukäyttöisiä pakettiautoja on saatavissa ainakin Fiat, Opel, Volkswagen, Iveco ja Mercedes merkeissä. Kaasukäyttöisiä kuorma-autoja valmistavat ainakin Scania, Iveco, Mercedes, Renault ja Volvo. Linja-autoja kaasukäyttöisinä valmistavat ainakin Scania, Mercedes ja Volvo. Tehdasvalmisteisia biokaasulla toimivia traktoreita on tällä hetkellä saatavissa vain New Holland ja Steyr -merkeissä. Valtralla on ollut valmistuksessa piensarja biokaasutraktoreita, mutta varsinaista sarjatuotantoa Valtra ei ole aloittanut.

Kaasukonversiolla eli ajoneuvon muuntamisella, voidaan lähes mikä tahansa poltomoottori muuntaa kaasukäyttöiseksi. Suurin osa konversioista tehdään bensiinimoottoreille, mutta mahdollista se on myös dieselmootoreille. Muunnostyö on yksinkertaisempi, edullisempi ja kannattavampi bensiinikäyttöiseen ajoneuvoon. Muunnettavaan ajoneuvoon tai työkoneeseen asennetaan kaasujärjestelmälle ohjainlaite, kaasusäiliö, säiliöventtiili, tankkausventtiili, paineensäädin, paine/lämpötilatunnistin, kaasulinjat, kaasusuuttimet ja valintakytkin. Muunnostyön tekeminen liikennekäytössä olevaan ajoneuvoon on luvanvaraista ja sen voi tehdä tai tarkistaa vain henkilö, jolla on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston myöntämä p-kaasuasennuslupa. Kaasukonversioita tekevät muutamat huoltoliikkeet Suomessa. Henkilöauton muunnostyöhön voi hakea jälkikäteen Traficomilta muuntotukea. Vuoteen 2021 saakka muuntotukea on mahdollista saada ajoneuvokohtaisesti 1 000 €. Muuntotuki voidaan maksaa vain kerran samasta autosta ja samalle henkilölle enintään kerran kalenterivuodessa.

Ajoneuvojen polttoaineteknologioiden välinen taloudellinen paremmuus ei ole lainkaan selkeä. Kokonaiselinkaarikustannusten paremmuus on hankala aukottomasti osoittaa toteen suuntaan tai toiseen eri käyttövoimavaihtoehtojen välillä. Kirjallisuudessa on esitetty aiheesta runsaasti erilaisia vertailulaskelmia, mutta loppujen lopuksi ajoneuvon hankinnan tekijän harkinta ja arvotus määrittävät hankinnan taloudellisuuden.

Liikenteen monipolttoaineratkaisujen kehittäminen tarvitsee jatkuvaa tutkimusta ja tutkimusympäristöjä. Oulun Ammattikorkeakoulun Auto- ja moottorilaboratoriossa on ollut liikuteltava, konttiin rakennettu, hajautetun energiantuotannon tutkimusyksikkö (CHP-voimalaitoskontti), joka koostuu polttomoottorista, generaattorista sekä sähköenergian verkkoonsyöttöyksiköstä. CircVol-hankkeessa tämän voimalaitoskontin yhteyteen rakennettiin koeympäristö, jossa liikenteen monipolttoaineratkaisuja voidaan testata erityisesti moottoritekniikan, -ohjauksen ja -säätöjen osalta. Järjestelmän kehittyneellä ohjaus- ja mittausjärjestelyllä on mahdollista analysoida polttomoottorikäytön ohjausta ja CHP-energiantuotantoa biokaasua käytettäessä.

Biokaasun käytön mahdollisuudet uusilla yritysyeistyöalueilla, kuten Oulun Välimaan kiertotalousalueella, kiinnostavat kuntia ja yrityksiä. Kun biokaasun hyödyntäminen otetaan huomioon alueiden suunnittelun varhaisessa vaiheessa, on hyödyntäminen helpompaa ja kustannuksiltaan edullisempaa kuin jälkikäteen järjestettynä.

Biokaasun tuotantopotentiaali Suomessa on huomattavasti suurempi kuin sitä nyt hyödynnetään. Suomessa on vuosittain arviolta noin 23,2 TWh edestä lähes käytämätöntä raaka-ainepotentiaalia, joka sopii sekä energiantuotantoon että puhdistettuna biometaaniksi liikennekäyttöön. Kaikkea tästä potentiaalista ei ole mahdollista teknistaloudellisesti hyödyntää, mutta hyödynnettävissä olevaksi määräksi on arvioitu 9,2 TWh ja siitä biometaanin määräksi nykytekniikalla 7,59 TWh. Tällä hetkellä ollaan vielä alkumatkassa ja biometaanin käyttöön otettiin vuonna 2017 liikenteessä vasta 30,2 GWh, joka oli noin 0,4 % biometaanin potentiaalista. Biometaanin käyttö liikenteessä on kuitenkin hyvässä alussa ja se tuo mukanaan yhden vaihtoehdon vähäpäästöisempään liikenteeseen.

Lähteet

ABCNEWS, Toyota decides to give natural-gas cars another chance. Available: <https://abcnews.go.com/Business/story?id=5872939&page=1> [Mar 27, 2020].

ACEA, ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. Available: <https://www.acea.be/statistics/tag/category/by-manufacturer-registrations> [Mar 25, 2020].

ALLY and PRYOR, 2016. Life cycle costing of diesel, natural gas, hybrid and hydrogen fuel cell bus systems: An Australian case study. Energy Policy, vol. 94, , pp. 285–294.

AMMATTILEHTI, Metsäalan ammattilehti. Available: <https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?172075> [Mar 9, 2020].

AUTOALAN TIEDOTUSKESKUS, ensirekisteröinnit merkeittäin [Feb 22, 2019].

AYER, C.A., 2015. Forestry Reports. Journal of Forestry, 113(3), pp. 355-356.

BIOTALOUS.FI, -03-15T11:45:07+00:00, 2017, Qvidja Kraftin biometanointi mullistaa bioenergian tehokkuuden ja varastoinnin. Available: <https://www.biotalous.fi/qvidja-kraftin-biometanointi-mullistaa-bioenergian-tehokkuuden-ja-varastoinnin/> [Mar 25, 2020].

CEN, 2017. SFS-EN 16723-2:2017:en
Natural gas and biomethane for use in transport and biomethane for injection in the natural gas network. Part 2: Automotive fuels specification.

CEN, 2016. SFS-EN 16723-1:2016:en
Natural gas and biomethane for use in transport and biomethane for injection in the natural gas network. Part 1: Specifications for biomethane for injection in the natural gas network.

CEN, 1999. SFS-EN 1726-1 kumottu
Trukkien turvallisuus. Osa 1: Moottorikäyttöiset trukit, joiden nostokyky ei ylitä 10 000 kg ja vetotrukit, joiden vetokyky ei ylitä 20 000 N.

DAIMLER, 2018. Daimler Trucks At A Glance.

DIESELNET, 2019, Nonroad Engines Emission Standards. Available: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php> [Apr 20, 2020].

- ENVINEER OY, 2018. Välimaan materiaalitehokkuuskeskuksen YVA-selostus.
- ERCAN and TATARI, 2015. A hybrid life cycle assessment of public transportation buses with alternative fuel options. *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 20, no. 9, pp. 1213–1231.
- FORBES, ford-sees-growing-demand-for-natural-gas-vehicles-like-f-150. Available: <https://www.forbes.com/sites/joannmuller/2015/05/04/ford-sees-growing-demand-for-natural-gas-vehicles-like-f-150/#3eeaf03d5c11> [Mar 27, 2020].
- FORD FLEET, Sustainability & Alternative Fuels. Available: <https://www.fleet.ford.com/programs/resources-support/alternative-fuel-vehicles/> [Mar 27, 2020].
- GABL, T.A., LNG for Mobility Implications on heavy duty transportation.
- GASUM, 2018, Pääkaupunkiseudun joukkoliikenteelle lisää kaasubusseja. Available: <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2018/paakaupunkiseudun-joukkoliikenteelle-lisaa-kaasubusseja> [Mar 9, 2020].
- GASUM, a, Kaasuautomallit Suomessa. Available: <https://www.gasum.fi/yksityisille/valitse-kaasuauto/kaasuautomallit/> [Mar 25, 2020].
- GASUM, b, Kaasuautomallit Suomessa. Available: <https://www.gasum.fi/yksityisille/valitse-kaasuauto/kaasuautomallit/> [Mar 9, 2020].
- GASUM, c, Skoda-kaasuautot: Octavia ja Citigo. Available: <https://www.gasum.fi/yksityisille/valitse-kaasuauto/kaasuautomallit/skoda-yhteenveto/> [Mar 27, 2020].
- GASUM, d, Turun seudun biokaasulaitoksen laajennushanke etenee. Available: <https://www.gasum.fi/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2017/turun-seudun-biokaasulaitoksen-laajennushanke-etenee/> [Mar 25, 2020].
- GASUM, e, Turun seudun biokaasulaitoksen laajennushanke etenee. Available: <https://www.gasum.fi/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2017/turun-seudun-biokaasulaitoksen-laajennushanke-etenee/> [Mar 25, 2020].
- HARRIS, SOBAN, SMYTH and BEST, 2018. "Assessing life cycle impacts and the risk and uncertainty of alternative bus technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 97, pp. 569–579.
- HUTTUNEN and KUITTINEN, 2018. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 21. : Tiedot vuodelta 2017. Itä-Suomen yliopisto.
- IEA, The Future of Trucks - Implications for energy and the environment.
- IRU, 2019. Coach Of The Future.

JÄKÄLÄNIEMI, 2019. Bensiinikäyttöisen henkilöauton muuttaminen biokaasukäyttöiseksi.

JORDBRUKSVERKET, 2015. Biogasdrift i arbetsmaskiner.

KAASUAUTOILU.FI, Kaasuautoilu. Available: <https://kaasuautoilu.fi/> [May 6, 2020].

KALEVA, Volkswagen keskeytti kaasuautojen tuonnin Suomeen – Ei kerro miksi. Available: <https://www.kaleva.fi/uutiset/kotimaa/volkswagen-keskeytti-kaasuautojen-tuonnin-suomeen-ei-kerro-miksi/760372/> [Mar 27, 2020].

KAUPPALEHTI, 2005, Kampin maakaasubussien kieltö ihmetyttää Gasumia. Available: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/kampin-maakaasubussien-kielto-ihmetyttaa-gasumia/ab23302c-6e6e-3d9e-9e6e-0b01eb2939cc> [Mar 9, 2020].

KEMPPAINEN, J., Biokaasulla toimiva traktori.

KIERTOTALOUDEN VARSINAIS-SUOMI, Ammattiopisto Livialla on oma biokaasulaitos – Kiertotalous. Available: <https://kiertotaloudensuomi.fi/2017/04/06/ammattiopisto-livialla-on-oma-biokaasulaitos/> [Mar 25, 2020].

KIVEKÄS, K., LAJUNEN, A., VEPSÄLÄINEN, J. and TAMMI, K.I., City Bus Powertrain Comparison: Driving Cycle Variation and Passenger Load Sensitivity Analysis.

KRUCZYNSKI, S., PAWLAK, G., WOJS, M. and WOLOSZYN, R., 2013. BIOGAS AS A

PERSPECTIVE FUEL FOR AGRICULTURE TRACTORS.

LAHTINEN, A., 2011. Maakaasun ja biokaasun tieliikennekäyttö Natural gas and biogas in road traffic. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.

LAJUNEN, A., 2014. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. Transp. Res. Part C Emerg. Technol., vol. 38, , pp. 1-15.

LAMPINEN, A., 2008. Liikennebiokaasulainsäädäntö.

LUKE, 2014. Maatalous- ja puutarhayritysten keskimääräinen käytössä oleva maatalousmaa alueittain vuonna 2014.

LUONNONVARAKESKUS, 2018. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2016.

LUONNONVARAKESKUS, 2014a. Maa- ja puutarhayritysten lukumäärä 2010-2014.

LUONNONVARAKESKUS, 2014b. Viljelijöiden keski-ikä 2010-2014.

MAASEUDUN TULEVAISUUS, 2018, Biokaasu käyttöön: New Hollandin ensimmäiset metaanitraktorit markkinoille kahden tai kolmen vuoden kuluessa. Available: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.224815> [Jun 4, 2019].

MCKENZIE and DURANGO-COHEN, 2012. Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. Transp. Res. Part D Transp. Environ., vol. 17, no. 1, , pp. 39-47.

MERCEDES-BENZ, 2019, Citaro NGT. Available: https://www.mercedes-benz-bus.com/fi_FI/models/citaro-ngt.html [Jun 4, 2019].

MIELONEN, K., 2017. Biokaasun käyttö liikenteen polttoaineena, Oulu

NETTIAUTO, Myydään Volvo kaasuauto - Nettiauto. Available: <http://www.nettiauto.com/volvo/kaasu> [Mar 27, 2020].

NEW HOLLAND, 2017, NEW HOLLAND PRESENTS ITS CONCEPT TRACTOR POWERED BY METHANE AND ITS VISION FOR A SUSTAINABLE FUTURE OF AGRICULTURE AT FARM PROGRESS SHOW. Available: <https://agriculture.newholland.com/nar/en-us/about-us/whats-up/news-events/2017/alternative-fuel-concept> [Jun 4, 2020].

NGVA, 2017. Vehicle catalogue. Vehicle catalogue.

NYLUND, N.O., HULKKONEN, S. and PYRRÖ, S., 2006. Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot.

OULUN KAUPUNKI, 20.04. 08:42, 2017, Energia- ja ilmastokatsaukset. Available: <https://www.ouka.fi/fi/oulu/ilmasto/energia-ja-ilmastokatsaukset> [Mar 9, 2020].

PIHLATIE, PAAKKINEN, M.LAURIKKO, J.LAURIKKALA, M.YLÉN, P.PELTOLA, V. and

PYLSY, P.2019. Sähkö- ja kaasuautojen kustannustehokkaat edistämiskeinot - GASELLI loppuraportti.

POHJOIS-SUOMEN ALUEHALLINTOVIRASTO, 2014. Välimaan materiaalihokkuuskeskuksen ympäristölupa.

PROAGRIA POHJOIS-KARJALA RY, 2015. Liikennebiokaasua energiailtoilta. Loppuraportti.

RAIVIO, T.E.A., 2018. Selvitys metaanilla toimivien kaasuaajoneuvojen käyttörajoituksista maanalaisissa tiloissa.

RAMBOLL OY, 2014. Ympäristölupahakemus Välimaan käsittelykeskuksen ympäristöluvan tarkistamiseksi.

RAVINNEJAENERGIA.FI, Valmet 20 biokaasukäyttöiseksi Liviassa. Available: <http://ravinnejaenergia.fi/fi/valmet-20-biokaasukayttoiseksi-liviassa/> [May 8, 2020].

SCANIA, 2019, Scania toimittaa kaksi kaasubussia Lappeenrannan kaupunkiliikenteeseen. Available: <https://www.scania.com/fi/fi/home/experience-scania/features/2019/Lappeenrannan-kaasubussit.html> [Jun 4, 2019].

SCANIA, 2017, Vaasan kaupunki satsaa joukkoliikenteessään biokaasuun. Available: <https://www.scania.com/fi/fi/home/experience-scania/features/vaasan-kaupunki-satsaa-joukkoliikenteessaan-biokaasuun.html> [Jun 4, 2019].

SHETH, A. and SARKAR, D., 2019. Life Cycle Cost Analysis for Electric vs. Diesel Bus Transit in an Indian Scenario.

SUOMILAMMI, 2019. Biokaasua yritysten kuljetuksiin ja energian tuotantoon Oulun alueella.

SUSTAINABLE BUS, 2019, Sustainability according to Volvo Buses. Now and in the future. Available: <https://www.sustainable-bus.com/interview/volvo-buses-interview-hakan-agnevall-sustainability-electric-bus/> [Jun 4, 2019].

TÄHTI, H. and RINTALA, J., 2010. Biometaanin ja -vedyn tuotantopotentiaali Suomessa. Jyväskylän yliopisto.

TAJIMA, H. and TSURU, D., October 14, 2013 Reduction of Methane Slip from Gas Engines by O₂ Concentration Control using Gas Permeation Membrane, October 14, 2013.

TAMMELUNDIN LIIKENNE, 2019. Historia.

TOPAL, O. and NAKIR, I., 2018. Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for the Public Transport in Istanbul City.

TRAFICOM, 2019a, Liikennekäytössä olevat kuorma-, linja- ja erikoisautot merkeittäin ja malleittain 31.12.2018. Available: <https://www.traficom.fi/fi/ajoneuvokannan-tilastot> [Mar 27, 2019].

TRAFICOM, 2019b. VERNEn laskelma autoilun kustannuksista.

TRAFICOM, 2019c. VTT:n laskelma autoilun kustannuksista.

TRAFICOM, Liikennekäytössä olevat henkilöautot muuttujina Alue, Merkki, Käyttönoottovuosi ja Käyttövoima. Available: http://trafi2.stat.fi/PXWebPXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/010_kanta_tau_101.px/ [Mar 9, 2020].

TURUN SEUDUN PUHDISTAMO, Etusivu. Available: <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/> [Mar 25, 2020].

VÄYLÄ, 2020, Liikennemäärät. Available: <https://julkinen.vayla.fi/webgis-sovellukset/webgis/template.html?config=liikenne> [Jan 13, 2020].

VOLKSWAGEN, Kaasuautot | Volkswagen Suomi. Available: <https://www.volkswagen.fi/fi/tarjoukset-ja-tuotteet/auton-valinta/kaasuautot.html> [Mar 27, 2020].

VOLVO CARS, Hybridiautot. Available: <https://www.volvocars.com/fi/hybridiautot> [Mar 9, 2020].

VOLVO TRUCKS, Volvo LNG trucks. Available: <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/trucks/volvo-fh/volvo-fh-lng.html> [May 6, 2020]