



Voiko raskas tieliikenne siirtyä biokaasuun?

*Kalle Aro,^a Antti Rautiainen,^b Kim Talus,^c
Anna Pääkkönen,^b Pami Aalto,^a Matti Kojo,^a
ja Topi Rönkkö^b ¹*

a = Tampereen yliopisto

b = Tampereen teknillinen yliopisto

c = Itä-Suomen yliopisto

ISBN: 978-952-03-0879-7

1. Tiivistelmä

Raskas tieliikenne tuottaa vuosittain kolmasosan liikennesektorin päästöistä. Raskaan liikenteen CO₂-päästöt eivät ole viimeisen kymmenen vuoden aikana laskeneet merkittävästi, ja nykyiset päästötoimet liikennesektorilla painottuvat pitkälti henkilöautoihin. Raskaan liikenteen päästövähennystoimien onkin arvioitu jäävän suurilta osin biopolttoaineiden sekoitevelvoitteen varaan. CO₂-päästövähennyksien saavuttamiseksi on kuitenkin selvää, että raskaan tieliikenteen on pian siirryttävä henkilöautojen tavoin kohti vaihtoehtoisia käyttövoimia osana ilmastollisesti kestävästä liikennestä.

Tässä analyysissä olemme selvittäneet, kuinka suuri osa raskaasta tieliikenteestä olisi mahdollista ylläpitää kotimaisista raaka-aineista tuotetulla biokaasulla². Kohdistamalla kaikki teknisesti ja taloudellisesti kerättävissä oleva raaka-aine liikennekäyttöön on kotimaisella biokaasulla mahdollista kattaa yli 40 % raskaan tieliikenteen energiankulutuksesta. Jo pienemmälläkin määrällä on mahdollista ylläpitää koko kotimainen kaupunkibussi ja linja-autoliikenne.

¹ Kiitämme kommentaista myös Fanni Mylläriä ja Jaakko Sorria.

Biokaasun käyttämisellä liikenteessä on monia hyötyjä. Kotimaisena polttoaineena biokaasu parantaa energiaomavaraisuutta ja auttaa Suomea EU:n ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Biokaasun hyödyt koskettavat myös perinteisen energiantuotannon ulkopuolisia toimijoita kuten maatiloja ja jätteenkäsittelyä, ja edistävät kierto- ja biotalouden tavoitteita.

Keskeisimpinä haasteina biokaasun käytön edistämiseksi raskaassa liikenteessä ovat kokonaisvaltaisen politiikkakehyksen ja selkeän toimintasuunnitelman puuttuminen. Kokonaiskuvan puute johtaa herkästi päätöksiin, joissa huomioidaan vain rajattua osaa biokaasun laajasta arvoketjusta, eikä biokaasun toimintaedellytyksiä näin ollen kehitetä kokonaisuutena. Liikennesektorilla keskeisimmät haasteet ovat raskaille ajoneuvoille soveltuvan kaasutankkausverkoston puute ja epävarmuus liikennekaasun tulevaisuudesta suhteessa muihin käyttövoimiin. Liikennebiokaasun asemaa voidaan edistää nostamalla sen käyttö uskottavaksi poliittiseksi tavoitteeksi, tukemalla biokaasuekosysteemien kehittymistä yhteistyössä paikallisten toimijoiden kanssa ja luomalla liikennekaasulle vakaa kysyntä esimerkiksi julkisilla hankinnoilla.

2. Ongelma: Voiko biokaasu toimia raskaan tieliikenteen käyttövoimana?

2.1 Tausta

Biokaasu on kotimainen ja uusiutuva energianlähde, jota voidaan käyttää energiantuotantoon tai puhdistettuna liikenteessä. Suomessa biokaasun liikennekäyttö on pitkään ollut pienimuotoista suhteessa esimerkiksi Ruotsiin, jossa yli puolet tuotetusta biokaasusta hyödynnetään liikenteessä (Mutikainen et al. 2016). Suomessa taas nykyinen käyttö kohdistuu lähes yksinomaan sähkön ja lämmön tuotantoon. Liikenteen käyttövoimana biokaasua käytetään pääasiallisesti henkilöautoissa.

Biokaasun mahdollisuuksia raskaan tieliikenteen polttoaineena on selvitetty ainakin Tanskassa, jossa kamppaillaan Suomen tapaan liikenteen

² Tässä analyysissä biokaasulla tarkoitetaan mädätysprosessissa tuotettua kaasua.

hiilidioksidipäästöjen kanssa. Jensen et al. (2017) vertasivat Tanskan biokaasupotentiaalia raskaan liikenteen energiankulutukseen kuudessa eri skenaariossa. Tulosten perusteella biokaasulla on huomattava potentiaali raskaan liikenteen käyttövoimana. Dieselpohjaisen autokannan edes osittainen siirtäminen biokaasulle auttaisi Tanskaa saavuttamaan sille asetetut liikennesektorin päästötavoitteet kasvihuonekaasujen osalta. Kohdistamalla koko biokaasun potentiaalin liikennesektorille kirjoittajat arvioivat Tanskan saavuttavan liikennesektorin päästötavoitteensa yksinomaan liikennebiokaasun käytöllä. Näiden tulosten valossa on mielekästä tarkastella biokaasun mahdollisuuksia Suomessa.

Liikennebiokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuuksia on Suomessa selvitetty pääasiassa paikallisella tasolla. Tutkimusta on tehty sekä tuotantoyksiköiden kannattavuuden että raaka-aineen alueellisen riittävyyden osalta. Vastaavasti kaasukäyttöisten kaupunkibussien, käyttömahdollisuuksia on tutkittu eri kaupungeissa. Näitä tuloksia ei ole kuitenkaan saatettu yhteen laajempaa tarkastelua varten. Kokonaisanalyysi koko Suomen mittakaavassa puuttuu vielä liikennekäytön osalta.

Suomessa biokaasun tuottamiseen soveltuva raaka-ainepohja on suuri, ja käytöstä saatavat hyödyt merkittäviä myös perinteisen energiasektorin ulkopuolella. Biokaasulla on selkeitä seurannaishyötyjä koko arvoketjua tarkasteltaessa. Biokaasun tuotanto synnyttää uutta kotimaista liiketoimintaa, työpaikkoja ja monipuolistaa esimerkiksi maatalousyrittäjien ansaintalogiikkaa. Kotimaisena raaka-aineena biokaasu edesauttaa myös Sipilän hallituksen tavoitteiden, kuten omavaraisuusasteen noston ja biotalousstrategian toteutumista (Valtioneuvosto 2017). Tältä pohjalta tarkastelemme, millaiset ovat biokaasun mahdollisuudet ja edellytykset toimia raskaan tieliikenteen käyttövoimana. Potentiaalia havainnollistamaan olemme luoneet kolme skenaariota biokaasun käytölle, joita vertaamme raskaan liikenteen energiankulutukseen. Tarkastelu tehdään tietoisesti ottamatta kantaa biokaasun taloudellisiin edellytyksiin ja raaka-

aineen maantieteelliseen sijaintiin. Vastaamme seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Kuinka suuri osa raskaan liikenteen energiankulutuksesta Suomessa olisi mahdollista kattaa kotimaisella biokaasulla?
- 2) Minkälaisia esteitä liikennebiokaasun tuotannolla on tällä hetkellä, ja miten niitä voidaan raivata?

2.2 Aineisto

Analyysi pohjautuu aiemman kirjallisuuden sekä julkisesti saatavilla olevien tilastojen ja lukujen yhteenvetoon, jota täydennämme taustaselvityksillä. Biokaasun liiketoimintamahdollisuuksien tarkastelussa on hyödynnetty muun muassa Sitran, Valtioneuvoston ja Luonnonvarakeskuksen julkaisuja. Raskaan liikenteen tietojen osalta keskeiset julkaisut ovat Liikenneviraston tuottamia. Tiedot raskaan tieliikenteen energiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä on noudettu VTT:n³ ylläpitämästä LIPASTO-laskentajärjestelmästä. Vastaavasti teoreettisia ajoneuvojen määriä laskettaessa on hyödynnetty LIPASTO-järjestelmän tietoja.

3. Raskaan liikenteen biokaasuskenaariot

3.1 Raskaan tieliikenteen kehitys

Kuorma-auto- ja bussiliikenne tuottavat yhdessä noin kolmasosan tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöistä. Vuonna 2016 Suomen teillä kulki 94 341 kuorma-autoa ja 12 500 linja-autoa, joiden päästökertymä oli 4,2 miljoonaa CO₂-ekvivalenttitonnia. (VTT 2018). Kuorma-autoliikenteen osalta päästövähennystoimiksi on *Suomen keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa* KAISUssa mainittu kuljetuskokojen nostaminen, energiatehokkuuden lisääminen, fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla polttoaineilla ja vaihtoehtoisten käyttövoimien lisääminen (Valtioneuvosto 2017).

Raskaan tieliikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on kuitenkin käytännössä huomattu haastavaksi, eivätkä päästöt ole laskeneet merkittävästi viimeisen kymmenen vuoden aikana. Samaan aikaan raskaan tieliikenteen energiankulutuksen oletetaan

³ VTT = Teknologian tutkimuskeskus VTT oy.

jatkavan kasvuaan (VTT 2018). Suomen ilmastonpaneeli arvioikin toteutuvien hiilidioksidivähennysten jäävän suurilta osin biodieselin sekoitevelvoitteen nostamiseen 30 % tasolle raskaan liikenteen polttoaineissa. Muiden KAISUssa mainittujen toimien täysimääräistä toteutumista pidetään kohtalaisena tai – suurilta osin – hyvin epätodennäköisenä. (Liimatainen & Viri 2017). Raskaan tieliikenteen osuus liikenteen hiilidioksidipäästöistä on huomattava, ja näiden tavoitteiden jääminen vajavaiseksi luo voimakasta painetta vähentää päästöjä muilla taakanjakosektorin alueilla.

Nopeaa tarvetta muutokselle osoittavat myös Euroopan komission viimeaikaiset ehdotukset raskaalle liikenteelle kohdistetuista sitovista päästokiintiöistä (Euroopan komissio 2018). Vaihtoehtoiset käyttövoimat kuten sähkö, maakaasu ja biokaasu on KAISUssa listattu osaksi raskaiden ajoneuvojen päästötoimia. (Valtioneuvosto 2017). Näiden vaikutusten on oletettu jäävän paitsi vähäiseksi, myös epätodennäköisiksi toteuttaa merkittävässä mittakaavassa (Liimatainen & Viri 2017). On kuitenkin selvää, että raskaassa tieliikenteessä on ennen pitkää siirryttävä henkilöautojen tavoin kohti vaihtoehtoisia käyttövoimia. Liikenne- ja viestintäministeriö onkin huomionnut tämän kehityskulun tarkastellessaan vähähiilisen liikenteen mahdollisuuksia Suomessa (Särkijärvi et al. 2018).

Kestävien päästövähennysten saavuttaminen raskaassa liikenteessä vaatii erilaisia keinoja kuin henkilöautoliikenteessä. Sähköauto- ja akkuteknologian kehitys on ollut viimeisen viiden vuoden aikana ripeää, ja sähkö tarjoaa jo nyt toimivan – joskaan ei vielä suomalaisia kovinkaan kiinnostavan (Ruostetsaari et al. 2016) – vaihtoehdon henkilöautoliikenteen nestemäisille polttoaineille. Tästä on kuitenkin vielä matkaa siihen, että teknologia olisi tarpeeksi kypsä raskaan liikenteen sähköistämiseksi. Raskaan tieliikenteen suuri vuosisuorite ja runsas energiankulutus peräänkuuluttavat polttoainetta, joka on vähäpäästöinen ja samalla taloudellisesti houkutteleva.

Raskaan tieliikenteen osalta sähköistymisen potentiaali vaihtelee huomattavasti liikennemuodoittain. Kaupungeissa sähköbussit

ovat erittäin potentiaalinen sähköistymisen kohde, koska kaupunkibussit ajavat suhteellisen lyhyitä reittejä, jotka ovat aikatauluineen hyvin tarkasti ennakkoon tiedossa. Tämä mahdollistaa kaluston ja latausinfrastruktuurin tehokkaan optimoinnin. Pitkän matkan bussiliikenne ja sekä kuorma-auto- ja rekkaliikenne ovat taas luonteeltaan toisenlaisia. Matka ovat pitkiä, ja erityisesti rekkaliikenteessä liikuteltavat massat suuria. Nämä seikat asettavat suuria vaatimuksia sähköistämiseksi sekä sähkön varastoinnin että latausinfrastruktuurin osalta. Tosin viime vuosina myös tällä saralla yritykset ovat aktivoituneet, joista mainittakoon esimerkiksi Tesla, joka julkisti marraskuussa 2017 oman sähköisen "Semi truck" -autonsa (Tesla 2018). Teslan mukaan Semi truck on kymmenien tonnien kuormien keskipitkien matkojen (satoja kilometrejä yhdellä latauksella) kuljettamiseen sopiva ajoneuvo, jonka kokonaiskustannusten sanotaan olevan diesel-ajoneuvoyhdistelmiä alemmat. Tällaisten ajoneuvojen todellista toimivuutta ja kustannustasoa ei kuitenkaan ole vielä käytännössä osoitettu, ja myös niiden saatavuuden voidaan olettaa olevan pitkään hyvin rajoitettu. Tämän vuoksi biokaasu tarjoaa raskaalle liikenteelle potentiaalisen vaihtoehdon edellyttäen, että korkeatasoista, kestävästi tuotettua ja kustannuksiltaan kilpailukykyistä biokaasua on saatavilla riittävän paljon ja kaasun jakelu on riittävän laajaa.

2.2 Biokaasun nykytila ja potentiaali Suomessa

Yksityiskohtainen ja useissa selvityksissä käytetty arvio Suomen biokaasupotentiaalista on Hanne Tähden ja Jukka Rintalan arvio vuodelta 2010. Heidän arviossaan biokaasun raaka-aineiksi on laskettu 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 (Tähti & Rintala 2010). Käytännössä koko tätä potentiaalia on kuitenkin mahdotonta hyödyntää sijainnin ja taloudellisten kustannusten takia. Tähti ja Rintala (2010) arvioivat Suomen teknisesti ja taloudellisesti kerättävissä olevan biokaasupotentiaalinen energiasisällöksi 9,2 TWh.

Biokaasun tuotanto on Suomessa vähäistä, ja nykyisellään lähes kaikki käyttö kohdistuu lämmön ja sähkön tuotantoon. Suomessa biokaasusta tuotettiin vuonna 2016 sähköä ja lämpöä ainoastaan 620 GWh, mikä vastaa vain seitsemää prosenttia koko biokaasun teknistaloudellisesta potentiaalista. Liikennekäyttöön puhdistetun biokaasun käyttö oli vain 20 GWh, vaikka kotimainen tuotantokapasiteetti oli tähän verrattuna kymmenkertainen. (Huttunen & Kuittinen 2017). Liikenteessä käytetyn biokaasun määrä oli huomattavan pieni suhteessa käytettävissä olevaan teknistaloudelliseen raaka-ainepohjaan (0,2 %), ja vain 3% kaikesta käytetystä biokaasusta vuonna 2016.

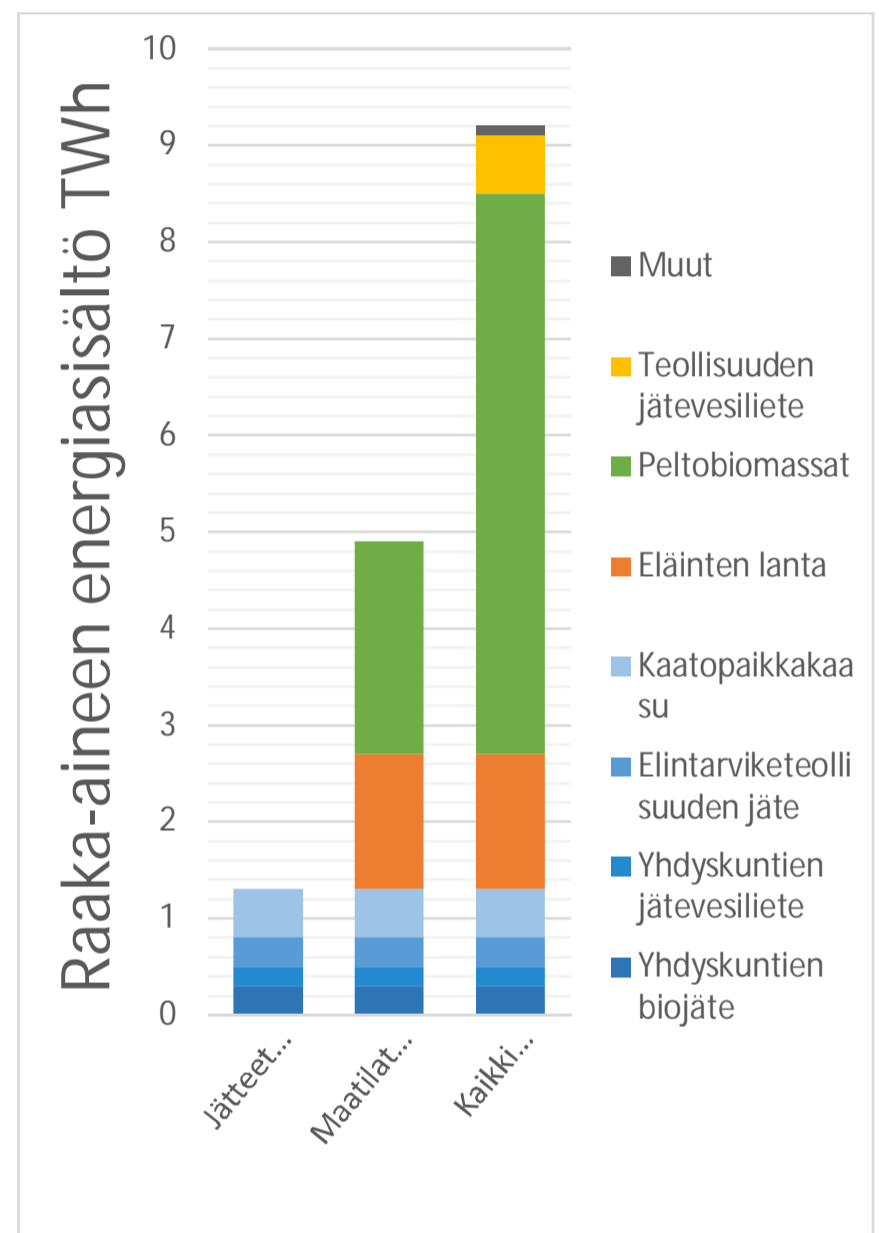
2.3 Skenaarioiden luonti

Tarkastelua varten olemme luoneet biokaasun tuotannolle kolme skenaariota, joiden avulla pyrimme havainnollistamaan liikennebiokaasun riittävyttä suhteessa raskaan tieliikenteen energiankulutukseen. Skenaariot on nimetty kuvaamaan biokaasuliiketoiminnan keskittymistä eri skenaarioissa. Skenaariot pienimmästä suurimpaan ovat: *Jätteet biokaasuksi – Maatilat biokaasuntuotannossa – Kaikki biokaasuun*. Skenaarioiden sisältämät jakeet on eroteltu kuvassa 1.

Jätteet biokaasuksi -skenaariossa tarkastellaan ainoastaan porttimaksullisten jakeiden potentiaalia. Porttimaksulliset jakeet käsittävät yhdyskuntien biojätteet, jätevesilietteet ja elintarviketeollisuuden jätteet. Suomessa nämä jakeet muodostavat jo tällä hetkellä merkittävän osan biokaasuntuotannosta (Pöyry 2017). Tämän vuoksi ne on arvioitu käytettäväksi kokonaisuudessaan jokaisessa skenaariossa. Porttimaksulliset jakeet on merkitty sinisellä kuvaan 1.

Maatilat biokaasuntuotannossa –skenaariossa tarkastellaan porttimaksullisten jakeiden lisäksi maataloilla sijaitsevaa potentiaalia. Maatalouden biomassoista parhaiten biokaasun tuotantoon sopii kotieläinten lanta, jonka arvioitu energiapotentiaali on jo yksinään suurempi kuin kaikkien porttimaksullisten jakeiden yhteenlaskettu määrä. Lanta on maatalojen ensisijainen raaka-aine biokaasun tuotantoon, sillä sen kerääminen onnistuu suoraan

karjasuojista tai varastoista (Winqvist et al. 2015). Laajamittaiseen lannan käyttöön sisältyy paljon oletuksia tukimekanismien, lainsäädännön ja liikennekaasun kysynnän kannalta. Näin ollen voidaan olettaa, että siirryttäessä *Jätteet biokaasuksi* -skenaariosta kohti *Maatilat biokaasuntuotannossa* -skenaariota vaaditaan merkittäviä lisätoimia biokaasuliiketoiminnan kehittämiseksi. *Maatilat biokaasuntuotannossa* ja *Kaikki biokaasuun* –skenaarioissa koko lantapotentiaali on oletettu käytettäväksi.



Kuva 1. Raaka-aineiden energiasisältö eri skenaarioissa.

Yli puolet biokaasun teknistaloudellisesta potentiaalista muodostuu peltobiomassoista. Tärkeimpiä peltobiomassoja ovat viljantuotannossa syntyvä olki ja viljeltävät energiakasvit kuten nurmi. Peltobiomassojen on oletettu olevan viimeinen biokaasun tuotantoon käytettävä jae, sillä porttimaksulliset jakeet ja lanta ovat tehokkaammin kerättävissä biokaasun tuotantoon. Peltobiomassojen käyttö kohdistuisi erityisesti maataloille ja niiden läheisyyteen, joissa voidaan hyödyntää pelloilta kerättäviä energiakasveja ja pilaantuneita viljaerä

lisäämään biokaasun tuotantoa. Myös peltobiomassojen sopimustuotanto keskitettyjen laitosten kanssa on mahdollista, mutta suomalaiset viljelijät eivät ole lämmenneet ajatukselle (Seppälä et al. 2014).

Peltobiomassojen potentiaalia tarkastellaan *Maatilat biokaasuntuotannossa ja Kaikki biokaasuun* –skenaarioissa. *Maatilat biokaasuntuotannossa* -skenaariossa peltobiomassojen määrää on havainnollistamismielessä nostettu siten, että lannan ja peltobiomassojen yhteenlaskettu määrä on 50 % maatilojen potentiaalista. Koska kotieläinten lanta oletetaan hyödynnettäväksi kokonaisuudessaan, asettuu peltobiomassojen käyttö 2,2 TWh tasolle.

Kaikki biokaasuun –skenaariossa tarkastellaan koko teknistaloudellista potentiaalia. Näin ollen potentiaaliin on laskettu kaikki porttimaksulliset jakeet, kotieläinten lanta ja peltobiomassat sekä teollisuuden jätevesiliete ja muut biokaasun tuotantoon soveltuvat raaka-aineet.

2.4 Laskennan oletukset

Raskas tieliikenne on tarkastelua varten jaettu kuorma-autoihin ja joukkoliikenteeseen. Kummallekin luokalle olemme luoneet laskennallisen ajoneuvon, jota käytämme tarkastelussa. Ajoneuvojen vuosittainen kulutus on laskettu LIPASTOn yksikköpäästöt-tietokannan perustella, vuoden 2016 tietojen mukaisesti. (VTT 2018).

Kuorma-autojen keskimääräinen paino on kasvanut viime vuosien aikana, ja trendin voidaan olettaa jatkuvan myös tulevaisuudessa (Tilastokeskus 2018). Oletamme kaasukäyttöisten ajoneuvojen korvaavan ensisijaisesti raskainta kalustoa, ja näin ollen esimerkiksi valitsemamme kuorma-auto on 60t täysperävaunuyhdistelmä. Vuoden 2016 tietilastojen perusteella oletamme kuorma-auton ajavan 80 % suoritteestaan maanteilla ja 20 % katuajossa (Liikennevirasto 2017b). Lisäksi kuorma-auton oletetaan ajavan 70 % matkastaan täydessä lastissa, ja loppuosan tyhjänä. Näin huomioidaan myös vajaasta kuormauksesta syntyvää vaihtelua. Kuorma-

auton kulutuksen on laskennan perusteella arvioitu olevan 526,2 kWh/100 km.

Raskaan kuorma-auton vuosisuoritteeksi on yhdistelmän koko huomioon ottaen arvioitu 80 000 kilometriä, mikä asettuu lähelle Liikenneviraston arvioimaa suoritetta vuodelle 2015.⁴ Huomioitavaa on, että laskennassa käytävä kuorma-auto ei edusta keskimääräistä ajoneuvoa painonsa tai suoritteensa puolesta. Tämän vuoksi teoreettisia ajoneuvojen määriä täytyy tarkastella suuntaa-antavina erityisesti *Kaikki biokaasuun* -skenaariossa. Kohdistamalla liikennebiokaasua kevyemmille kuorma-autoille ajoneuvojen määrä voisi olla huomattavasti tässä analyysissä esitettyjä lukuja suurempi.

Joukkoliikenteen ajoneuvoille, linja-autoille ja kaupunkibusseille, on laskettu yhteinen kulutus ja suorite. Linja-autojen osuus esimerkiajoneuvon suoritteesta on LIPASTOn keskiarvon mukaisesti 38 % ja kaupunkibussien 62 %. Kulutustietoina on käytetty ajoneuvon keskiarvoistettua kulutusta. (VTT 2018.) Kuormausaste ei ole joukkoliikenteen ajoneuvoille yhtä merkittävä muuttuja, joten sen vaikutusta kulutukseen ei ole huomioitu. Joukkoliikenteen ajoneuvon kulutuksen on laskettu olevan 339,2 kWh/100 km.

Joukkoliikenteen ajoneuvon vuosisuorite on laskettu jakamalla LIPASTOn ilmoittama kokonaissuorite liikennekäytössä olevien ajoneuvojen määrällä. Tämän perusteella saadaan keskimääräiseksi suoritteeksi 50 000 kilometriä vuodessa.

Tähti ja Rintala arvioivat liikennebiokaasun vuosittaiseksi määräksi 7,59 TWh, jos koko teknistaloudellinen potentiaali saadaan hyödynnettyä. Käyttämällä samoja oletuksia laskemme liikennebiokaasun määrän luomillemme skenaarioille. Näin ollen laskennassa on oletettu, että biokaasun tuotantoprosessin tarvitsema energiamäärä ja häviöt ovat yhteensä 15 % raaka-aineen energiasäällöstä (Berglund & Börjesson 2006 teoksessa Tähti & Rintala 2010). Polttoaineen puhdistuksen hyötysuhteen on oletettu olevan

keskimäärin 73 358 kilometriä yhtä yhdistelmää kohden (Niinkoski & Moilanen 2017).

⁴ Liikenneviraston arvion mukaan varsinaisten täysperävaunuyhdistelmien vuosisuorite oli

97% (Tähti & Rintala 2010). Laskelmissa käytetyt taustaoletukset on tiivistetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Laskelmien taustaoletukset

15 % energiasta biokaasuprosessiin Polttoaineen puhdistuksen hyötysuhde 97 %
Suurikokoinen kuorma-auto (60 t) Vuosisuorite: 80 000 km Kulutus: 526,2 kWh/100 km
Linja-auto/kaupunkibussi Vuosisuorite: 50 000 km Kulutus: 339,2 kWh/100 km

4. Tulokset

4.1 Biokaasun riittävyys

Raskaan tieliikenteen energiankulutus vuonna 2016 oli 16,46 TWh. Linja-autot ja kaupunkibussit käyttivät tästä määrästä 2,24 TWh, ja kuorma-autot 14,22 TWh. (VTT 2018). Vähentämällä biokaasun teknistaloudellisesta energiapotentiaalista mädätysprosessin häviöt ja polttoaineen hyötysuhteen, Tähti ja Rintala arvioivat liikennebiokaasun teoreettiseksi määräksi 7,59 TWh. Tämä tarkoittaa lähes puolta (46 %) kaikesta raskaan tieliikenteen kuluttamasta energiasta vuonna 2016. Tätä mahdollisuutta on havainnollistettu *Kaikki biokaasuun* -skenaariossa. LIPASTOn arvioima kulutus vuodelle 2030 on 18,30 TWh. Tästä määrästä liikennebiokaasulla olisi mahdollista kattaa 41 %.

Jätteen biokaasuksi -skenaariossa

biokaasuntuotanto keskittyy porttimaksullisten jakeiden hyödyntämiseen. Pelkästään porttimaksullisia jakeita käyttämällä olisi mahdollista tuottaa vuosittain 1,07 TWh liikennebiokaasua. Tällä määrällä on teoreettisesti mahdollista ylläpitää 2 500 kuorma-autoa tai 6 300 linja-autoa. Linja-autojen ja kaupunkibussien energiankulutuksesta olisi mahdollista kattaa lähes puolet. Energiämääränä tämä tarkoittaa 7 % raskaan tieliikenteen energiantarpeesta vuonna 2016, ja 6 % vuoden 2030 ennustetusta kulutuksesta.

Maatilat biokaasuntuotannossa -skenaariossa porttimaksulliset jakeiden lisäksi tuotantoon on

oletettu ohjautuvan kaikki teknisesti ja taloudellisesti kerättävissä oleva lanta ja merkittävä määrä peltobiomassoja. Tässä skenaariossa liikennekaasua olisi mahdollista tuottaa vuosittain 4,04 TWh, mikä mahdollistaa koko Suomen linja-auto- ja kaupunkibussiliikenteen ylläpitämisen. Lisäksi joukkoliikenteestä ylijäävä polttoaine riittäisi 4 300 raskaalle kuorma-autolle. Jos kaikki polttoaine kohdistetaan kuorma-autoille, on teoreettisesti mahdollista ylläpitää hieman alle 9 600 raskaan kokoluokan kuorma-autoa. Kuorma-autojen määrä voisi todellisuudessa olla huomattavasti esittämäämme suurempikin, sillä esimerkkinä käytettävä auto ei edusta kuorma-autojen keskimääräistä kokoa. Raskaan tieliikenteen vuosittaisesta energiankulutuksesta tässä skenaariossa tuotetun liikennebiokaasun energiasältö vastaa neljäsosaa. Vuoden 2030 ennakoidusta energiankäytöstä voitaisiin kattaa 22 %. Maatilojen peltobiomassojen käyttö mahdollistaa biokaasun tuotannon lisäksi myös merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia kierrätyslannoitteiden valmistamisen muodossa.

Kaikki biokaasuun -skenaariossa koko peltobiomassapotentiaalin lisääminen biokaasun tuotantoon kasvattaa liikennekaasun määrää merkittävästi. Tähtien ja Rintalan arvioima 7,59 TWh liikennebiokaasua riittää kaikelle tiellä kulkevalle joukkoliikenteelle ja lisäksi 12 700 raskaalle kuorma-autolle. Pelkkiä täysperävaunullisia kuorma-autoja on mahdollista ylläpitää liikenteessä vuosittain yli 18 000. Koko biokaasupotentiaalin hyödyntäminen on suuri yhteiskunnallinen ponnistus, mikä vaatii työtä tankkausinfrastruktuurin kehittämisessä sekä pitkäjänteistä yhteistyötä valtion ja paikallisen tason toimijoiden välillä.

4.2 Biokaasun hyödyt ilmastolle

Biokaasu on uusiutuva energianlähde, jonka kasvihuonekaasupäästöjä ei huomioida nykyilmasäädännön mukaisessa päästöinventaarissa. Liikennebiokaasun käytöllä on suuri potentiaali niillä liikennesektorin osaluilla, joita ei voida vielä sähköistää.

Raskaan tieliikenteen päästöt olivat vuonna 2016 4,2 Mt CO₂-ekv. Käyttämällä koko biokaasun teknistaloudellinen potentiaali korvaamaan

dieselpolttoainetta raskaassa liikenteessä, on mahdollista saavuttaa merkittävä CO₂-päästövähennys liikennesektorille. Huomion arvoista on myös se, että kaasumoottoreiden pienhiukkaspäästöt on todettu useissa tutkimuksissa alhaisiksi, kun niitä on verrattu muihin raskaissa ajoneuvoissa käytettyihin tekniikoihin (Uusitalo ym. 2013, 139). Tästä johtuen erityisesti kaupunkialueiden raskaassa liikenteessä biokaasun käytöllä voi olla myös merkittävä positiivinen ilmanlaatuvaikutus.

Liikenteen lisäksi biokaasun käyttö voi alentaa myös maataloussektorin päästöjä. Lannan päästämä metaani on maataloilla merkittävä päästölähde, sillä metaani on hiilidioksidia 20 kertaa haitallisempi kasvihuonekaasu. Tämän vuoksi biokaasun tuotantoketjun metaanivuodoilla on suuri merkitys määriteltäessä biokaasun ilmastovaikutuksia. Lannasta tuotettu biokaasu vähentää kasvihuonekaasuja sekä maataloudessa että liikennesektorilla korvatesaan fossiilisia polttoaineita. Taakanjakosektorin kumuloituva kasvihuonekaasupäästövähennys voi täten olla huomattava, kunhan metaanivuodot pidetään pieninä.

5. Mikä jarruttaa biokaasun käyttöä Suomessa?

5.1 Kokonaiskuvan puuttuminen

Huolimatta laajasta raaka-ainepohjasta biokaasun liikennekäyttö ei ole lisääntynyt merkittävästi viimeisen kymmenen vuoden aikana (Huttunen & Kuittinen 2017). Syitä hitaalle kehitykselle on pystytty tunnistamaan useita, mutta niiden ratkaisemista hankaloittaa biokaasuliiketoiminnan moniulotteinen luonne. Biokaasun arvoketju on laaja, ja sen keskeisiä toimijoita sijoittuu myös perinteisen energiantuotantosektorin ulkopuolelle. Tämän vuoksi biokaasun arvoketjulle osuu päällekkäisiä politiikkakehyksiä, jotka eivät onnistu käsittelemään biokaasun mahdollisuuksia kokonaisuutena (Kampman et al. 2016). Vaikka biokaasun käytön edistäminen on mainittu useissa poliittisissa ohjelmissa, kokonaiskuva on jäänyt himmeäksi ja biokaasun edistämiseen tähtäävät toimet irrallisiksi toisistaan.

Biokaasuliiketoiminnan kehittymisen edellytyksenä onkin, että sitä aletaan käsitellä laajemmassa mittakaavassa huomioiden sen

moninaiset hyödyt ja ottaen paikalliseen tason toimijoita huomioon nykyistä paremmin. Biokaasua arvoitettaessa on otettava huomioon energiankäytön ja liikenteen hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös kiertotaloustavoitteet, parantunut jätteidenkäsittely, sulkeutuvat ravinnekierrot sekä positiiviset vaikutukset aluetaloudelle ja maaseudulle. (Kampman et al. 2016). Toimivia esimerkkejä on nähtävissä esimerkiksi Ruotsissa, missä valtio, kunnat, maatilat, energiayhtiöt ja kuluttajat ovat yhdessä luoneet toimivia ja kannattavia ekosysteemejä biokaasuliiketoiminnan ylläpitämiseksi. Yhdessä toimivien kannustimien, kuten biokaasulle kohdistettujen tukien, ja julkisten hankintojen avulla biokaasu on Ruotsissa vakiinnuttanut paikkansa liikenteen käyttövoimana (Mutikainen et al. 2016). Ekosysteemien syntyminen edellytyksenä on pitkäjänteinen politiikka ja toimijoiden sitoutuminen yhteisiin tavoitteisiin.

Osana EU:n energiaunionin tavoitteita on myös vähäpäästöinen liikenne (Euroopan komissio 2015, 13-14). EU:n tasolla onkin jo käynnissä monta lainsäädännön muutoksiin tähtäävää prosessia, jotka tukevat tätä tavoitetta (Talus ym. 2017). Kesäkuussa 2018 tehty budjettipäätös tukee liikenteen infrastruktuurirakentamista myös biokaasun osalta.

Tämän lisäksi on kuitenkin mietittävä muita tukimuotoja, kuten verotuskeinoja (esimerkiksi käyttövoimaveron määräytymistä biokaasua käyttävältä liikenteeltä), muunto- tai konversiotuen laajentamista myös raskaaseen liikenteeseen, hankintatuen laajentamista sähköautoista myös biokaasulla toimiviin autoihin, jne. Vaikka mikään käyttövoima ei yksinään riitä liikenteen ratkaisuksi vielä vuosikymmeniin, voidaan ohjauskeinojen painopistettä siirtää sähköautoiluun henkilöautoliikenteessä (Kotilainen ym. 2018) ja biopolttoaineisiin raskaassa liikenteessä.

5.2 Rajallinen jakeluinfrastruktuuri

Infrastruktuurin rakentamisen tukeminen on yksi merkittävimmistä tukimuodoista biokaasukäyttöisten ajoneuvojen käytön yleistymiselle, mukaan lukien raskasliikenne. Vuoden 2018 alussa Suomessa oli 42 liikennekaasun tankkausasemaa, joista vain neljä

on suunniteltu raskaan liikenteen käyttöön (Gasum 2018). Kaasutankkausverkosto painottuu voimakkaasti Etelä-Suomeen, missä Gasumin maakaasuverkko mahdollistaa kaasun kustannustehokkaan kuljettamisen. Nesteytetyn biokaasun ja maakaasun avulla on mahdollista laajentaa liikennekaasun jakeluverkostoa jatkossa myös maakaasuverkon ulkopuolelle, erityisesti Pohjois-Suomeen ja rannikkoalueille. Suomen ensimmäinen nesteytetyn maakaasun terminaali avattiin vuonna 2016 Poriin. Lisäksi uusia terminaalihankkeita on käynnissä Turussa, Torniossa ja Haminassa.



Kuva 2. Raskaan tieliikenteen keskeiset yhteydet. (koostettu lähteistä Liikennevirasto 2017a; Ristikartano et al. 2014)

Kuvassa 2 on esitetty raskaan tieliikenteen keskeiset yhteydet. Liikennevirasto arvioi punaisella merkittyjen teiden olevan tärkeimpiä raskaan liikenteen reittejä vuonna 2030 (Ristikartano et al. 2014). Vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden infrastruktuuridirektiivi (2014/94/EU) edellyttää koko EU:n kattavan metaanitankkausverkon rakentamista. Direktiivin mukaisesti vuonna 2020 mennessä tankkausverkon täytyy kattaa liikenteen pääväylät sekä suurimmat kaupungit. Uudet

kaasutankkausasemat tulisi näin ollen rakentaa raskaan liikenteen runkoyhteyksien tärkeimpiin solmukohtiin, ja Euroopan unionin määrittelemän TEN-T -ydinverkon varrelle, jota Unioni priorisoi yleiseurooppalaisten liikenneverkkojen kehittämisessä ja erityisesti EU-rahoituksessa (Liikennevirasto 2018).

Jotta biokaasun käyttö olisi realistinen vaihtoehto raskaan tieliikenteen käyttövoimaksi, on erityisesti nesteytetyn kaasun tankkausasemien määrää kasvatettava merkittävästi. Raskaan liikenteen tankkausasemia on tällä hetkellä olemassa pääkaupunkiseudulla, Turussa ja Jyväskylässä (Gasum 2018). Lisäasemia tarvittaisiin täten ainakin Tampereelle, Vaasaan, Ouluun, Kuopioon ja Lappeenrantaan.

5.3 Kannattavuus ja liiketoimintamallit

Liikennebiokaasun on monessa yhteydessä todettu olevan taloudellisesti kannattavin tapa hyödyntää biokaasua sekä suurissa että pienemmissä yksiköissä (Winquist et al. 2015; Pöyry 2017.) Heikot kannustimet, epävarmuus biokaasun kysynnästä ja jakeluinfrastruktuurin puute ovat yhdessä luoneet tilanteen, jossa liikennebiokaasun tuotanto ei ole houkutteleva vaihtoehto. Edistämällä kaasukäyttöisten ajoneuvojen yleistymistä ja takaamalla liikennebiokaasulle jatkuva kysyntä esimerkiksi julkisten hankintojen avulla biokaasun tuotanto olisi kannattava tulonlähde sekä suuremmille biokaasun tuotantolaitoksille että maataloille ja osuuskunnille.

Porttimaksullisten jakeiden täysimittainen hyödyntäminen voidaan saavuttaa markkinaehtoisesti, edellyttäen että biokaasulle saadaan luotua vakaa kysyntä (Pöyry 2017). Siinä missä porttimaksullisten jakeiden hyödyntäminen ei tarvitse merkittävästi tukea, lannan ja erityisesti peltobiomassojen saattamiseksi biokaasuntuotantoon tarvitaan suoria kannustimia (Seppälä et al. 2014). Maataloille tarvitaan myös kohdistettua viestintää helpottamaan biokaasuntuotannon kannattavuuden ja tuotannon mitoittamisen arviointia.

Uudenlaisia liiketoimintamalleja tarvitaan samoin. Yhdistämällä biokaasun tuotantoon esimerkiksi kierrätyslannoitteiden valmistusta ja

jälleenmyyntiä on mahdollista luoda taloudellisesti kannattavia ja kestäviä kokonaisuuksia, joilla on arvoa koko biokaasun laajalle arvoketjulle ja sen moninaisille toimijoille (Mutikainen et al. 2017). Näiden paikallisten biokaasuekosysteemien kehittämistä täytyy tukea määrätietoisesti, jos biokaasun tuotantoa ja käyttöä halutaan lisätä. Valmis ja elinvoimainen ekosysteemi vetää puoleensa uusia toimijoita, mikä vahvistaa ja vakiinnuttaa biokaasun käyttöä entisestään.

6. Johtopäätökset

Biokaasun potentiaali Suomessa on merkittävä. Pelkästään kotimaista raaka-ainetta hyödyntämällä on laskennallisesti mahdollista ylläpitää yli 40 % raskaasta tieliikenteestä vuonna 2030. Biokaasun käytöllä on mahdollista saavuttaa merkittäviä kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä samoin kuin parantaa paikallista ilmanlaatua pienhiukkaspäästöjä vähentämällä. Lisäksi kansantaloudelliset ja yhteiskunnalliset hyödyt ovat merkittäviä.

6.1 Suositukset päätöksentekijöille

- Biokaasuliiketoimintaa pitäisi alkaa tarkastella laajemmassa kehityksessä, ottaen huomioon sen moninaiset ulottuvuudet. Poliitiikkaa tehdessä tulee energiantuotannon lisäksi arvottaa biokaasun hyödyt aluetaloudelle, maatalolle, ilmastolle, jätteenkäsittelylle ja sulkeutuville ravinnekierroille. Biokaasun liikennekäyttö kaipaa omaa selkeää toimintasuunnitelmaansa, jonka avulla on mahdollista luoda tavoitteellista ja johdonmukaista politiikkaa. Biokaasun edistäminen ei voi jäädä mainitsemisen ja yksittäisten toimien tasolle.
- Tarvitaan vakaa, ennustettava ja kannustava investointiympäristö biokaasun liikennekäytön edistämiseksi. Jos biokaasun käyttöä halutaan edistää, tulee se nostaa uskottavaksi poliittiseksi tavoitteeksi, ja sen käyttöä edistää suunnitelmallisesti yhteistyössä alueellisten ja paikallisten toimijoiden kanssa. Halukkaat toimijat täytyy saattaa yhteen, ja ekosysteemien kehittymistä

tulee tukea pitkäjänteisesti. Hyvien käytäntöjä leviämistä täytyy edistää.

- Biokaasuliiketoiminnan edistämässä olennaista ovat toimivat esimerkit sekä biokaasun tuotannon että ajoneuvojen osalta. Julkiset hankinnat esimerkiksi kaupunkien bussi- ja jätehuollon liikenteessä luovat vakaata kysyntää paikallisille biokaasun tuottajille ja lisäävät biokaasun näkyvyyttä katukuvassa. Raskaan liikenteen siirtäminen biokaasuun kannattaakin aloittaa kaupunkien sisäisestä liikenteestä alueilla, joissa biokaasun saatavuus ja jakelu ovat jo kunnossa.
- Raskaan liikenteen kaasutankkausverkostoa täytyisi kehittää edelleen kattamaan raskaan liikenteen runkoyhteyksiä. Nesteytettyä maa- ja biokaasua voidaan käyttää alueilla, minne maakaasuverkko ei ylety. Maakaasun ja biokaasun rinnakkainen käyttö parantaa liikennekaasun saatavuutta. Liikennebiokaasun kotimaisuusastetta on mahdollisuus lisätä käyttämällä puun kaasutuksesta saatavaa synteettistä kaasua. Puukaasun potentiaali on huomattavasti pienempi kuin mädätysbiokaasun, vain joitakin terawattitunteja, koska puuaineksesta kilpailevat myös muut teollisuudenhaarat. Puusta saatava synteetikaasu voisi olla merkittävä erityisesti Keski- ja Pohjois-Suomen kaasutankkausverkoston kannalta, koska näillä alueilla puuta on runsaasti saatavilla.
- Lisätutkimusta olisi hyvä tehdä ekosysteemien syntyminen kannalta lupaavimpien sijaintien sekä sopivien, myös lannoitekemikaalien tuotannon huomioivien tuotantoprosessien tunnistamiseksi. Yhdistämällä uusi tutkimus jo olemassa oleviin selvityksiin on mahdollista muodostaa laajempi kokonaiskuva biokaasun käyttömahdollisuuksista suomalaisen liikennesektorin näkökulmasta.

Lähteet

EUR-Lex 'Directive on Clean Transport Infrastructure 2014/94/EU'.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>

Euroopan komissio (2015) Energy Union Package: A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy. Brussels, 25.2.2015 COM(2015) 80 final.

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/FOR%20WEB%20energyunion_with%20annex_en.pdf

Euroopan komissio (2018) Proposal for a setting CO2 emission performance standards for new heavy-duty vehicles. Brussels, 3.7.2018 COM(2018) 284 final/2.

https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:93c5b96c-7ed6-11e8-ac6a-01aa75ed71a1.0022.02/DOC_1&format=PDF

Gasum (2018) Kaasutankkausasemat. Noudettu: 10.4.2018.

<https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaus/kaasua/tankkausasemat/>

Huttunen, M., Kuittinen, V. (2017) 'Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 20. Tiedot vuodelta 2016'.

Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta / Metsätieteiden osasto. Itä-Suomen yliopisto. http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-2553-4/urn_isbn_978-952-61-2553-4.pdf

Jensen, S., Winther, M., Jørgensen U., Møller, H. (2017) 'Scenarios for use of biogas for heavy-duty vehicles in Denmark and related GHG emission impacts'. Trafikdage.

http://www.trafikdage.dk/papers_2017/483_SteenSolvangJensen.pdf

Kampman, B., Leguijt, C., Scholten, T., Tallat-Kelpsaite, J., Brückmann, R., Maroulis, G., Lesschen, J.P., Meesters, K., Sikirica, N., Elbersen, B. (2016) 'Optimal use of biogas from waste streams – An assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020'. Euroopan Komissio.

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ce_delft_3g84_biogas_beyond_2020_final_report.pdf

Kotilainen, K., Haukkala, T., Aalto, P., Rautiainen, A. & Kojo, M. (2018) Sähköautopolitiikat Pohjoismaissa – mitä keinoja Suomi voi hyödyntää? EL-TRAN –analyysi 5/2018. <https://el-tran.fi/analyysit/>

Liikennevirasto (2018) 'Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T'.

<https://www.liikennevirasto.fi/liikennejarjestelma/ten-t#.W5uQw3puZaQ>

Liikennevirasto (2017a) 'Keskeisen päätieverkon toimintalinjat' Liikenneviraston toimintalinjoja 1/2017.

https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lto_2017-01_keskeisen_paatieverkon_web.pdf

Liikennevirasto (2017b) 'Tietilasto 2016'.

Liikenneviraston tilastoja 4/2017.

https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti_2017-04_tietilasto_2016_web.pdf

Liimatainen, H., Viri, R. (2017) 'Liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen 2030 – Poliittikkatoimenpiteiden tarkastelu'. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2017. Suomen ilmastopaneeli.

http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Ilmastopaneeli_Liikenne_2017.pdf

Mutikainen, M., Sormunen, K., Paavola, H., Haikonen, T., Väisänen, M. (2016) 'Biokaasusta kasvua – Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet'. Sitran selvityksiä 11. Sitra: Helsinki.

<https://www.sitra.fi/julkaisut/biokaasusta-kasvua/>

Niinikoski, M., Moilanen, P. (2017) 'Tieliikenteen suoritelaskennan kehittäminen'. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2017. Liikennevirasto.

https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-49_tieliikenteen_sooritelaskennan_web.pdf

Pöyry Management Consulting Oy (2017) 'Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa'.

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 5/2017. Valtioneuvoston kanslia.

<http://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=16603>

Ristikartano, J., Iikkanen, P., Tervonen, J., Lapp, T. (2014) 'Valtakunnallinen tieliikenne-ennuste 2030'. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2014. Liikennevirasto.

https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2014-13_valtakunnallinen_tieliikenne-ennuste_web.pdf

Ruostetsaari, I., Aalto, P., Kallioharju, K., Kojo, M., Rautiainen, A., Toivanen, P. (2016) 'Suomalaiset eivät lämpene sähköautoille – miten kiinnostus sytytetään?' EL-TRAN analyysi 6/2016.

<https://tt.eduuni.fi/sites/EL-TRAN/Julkiset%20tiedostot/Ruostetsaari,%20Ilkka%20>

[et%20al.%20Suomalaiset%20eiv%C3%A4t%20l%C3%A4mpene%20s%C3%A4hk%C3%B6autoille.pdf](http://www.el-tran.fi/bitstream/handle/10024/484391/luopuolesta%20al.%20Suomalaiset%20eiv%C3%A4t%20l%C3%A4mpene%20s%C3%A4hk%C3%B6autoille.pdf)

Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winqvist, E., Luostarinen, S., Paavola, T. (2014) 'Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. Bionurmi-hankkeen loppuraportti'. MTT Raportti 151. MTT - Luonnonvarakeskus.
<http://jukuri.luke.fi/handle/10024/484391>

Särkijärvi, J., Jääskeläinen S., Lohko-Soner, K. (toim.) (2018) 'Hiiletön liikenne 2045 - polkuja päästöttömään tulevaisuuteen. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän väliraportti'. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 9/2018. Liikenne- ja viestintäministeriö: Helsinki.
http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161029/LVM_09_2018_Liikenteen_Ilmastopolitiikan_valiraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Talus, K., Penttinen, S-L., Aalto, P., Holttinen, H. & Toivanen, P. (2017) Energy Union, renewable energy and the 'Winter Package'. EL-TRAN –analyysi 2/2017.
<https://el-tran.fi/analyysit/>

Tesla (2018) 'Semi truck'
<http://www.tesla.com/semi>

Tilastokeskus (2018) 'Kuorma-autoilla kuljetettiin tavaroita vuonna 2017 hieman edellisvuotta enemmän, ajoneuvoyhdistelmien kokonaispainot kasvussa'. Noudettu: 8.5.2018.
https://www.stat.fi/til/kttav/2017/kttav_2017_2018-04-26_tie_001_fi.html

Tähti, H., Rintala, J. (2010) 'Biometaanin ja –vedyn tuotantopotentiaali Suomessa'. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 90. Jyväskylän yliopisto: Jyväskylä.
<https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/37062>

Uusitalo, V., Soukka, R., Horttanainen, M., Niskanen, A. & Havukainen, J. (2013) 'Economics and greenhouse gas balance of biogas use systems in the Finnish transportation sector', *Renewable Energy* 51: 131-140.

Valtioneuvosto (2017) 'Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030'. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. Työ- ja elinkeinoministeriö: Helsinki.

VTT [Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy]. LIPASTO liikenteen päästöt -tietokanta. Noudettu: 11.9.2018.
<http://lipasto.vtt.fi/>

Winqvist, E., Luostarinen, S., Kässi, P., Pyykkönen, V., Regina, K. (2015) 'Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuonekaasujen päästövähennys'. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015. Luonnonvarakeskus.
https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/486091/luke_luobio_36_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y

EL-TRAN -konsortio tutkii, mitä resurssitehokas sähköjärjestelmä tarkoittaa, miten se toteutetaan, millaisia politiikkaongelmia sen toteutuksessa kohtaamme ja kuinka lopulta ratkomme niitä. Hanketta koordinoi Tampereen yliopisto, ja siinä ovat mukana Itä-Suomen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Turun yliopisto, VTT ja Tampereen ammattikorkeakoulu.

Aiemmat EL-TRAN -analyysit

1/2016	Miten toteutetaan resurssitehokkaampi ja ilmastoneutraali sähköenergiajärjestelmä?
2/2016	Miten sähkön siirtohintoja voidaan korottaa? Kansainvälisen investointioikeuden näkökulma
3/2016	Yksilö energiapolitiikan keskiössä – aurinkoenergian sääntelystä Suomessa
4/2016	Pohjoismaiden energiapolitiikka 2030: hiilineutraalimpaan energiajärjestelmään osin yhdessä, osin eri polkuja pitkin
5/2016	Resurssitehokkaampi ja ilmastoneutraalimpi energiajärjestelmä, mutta miten? Suomalaiset avaintoimijat vastaavat
6/2016	Suomalaiset eivät lämpene sähköautoille – miten kiinnostus sytytetään?
7/2016	Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016? Miten tehoa hallitaan paremmin jatkossa?
1/2017	Edellytykset kysyntäjoustop toteutumiselle kiinteistöissä
2/2017	Energy Union, renewable energy and the 'Winter Package'
1/2018	EL-TRAN – konsortion yhteiskunnallinen vaikuttavuus 2015–2017
2/2018	Miten sähköautopolitiikalla edistetään joustavampaa sähköjärjestelmää?
3/2018	Mikroverkkojen vaikutuksesta sähkön toimituksen luotettavuuden parantajana
4/2018	Suomalaiset sähkön käyttäjinä ja tuottajina: valmius kysyntäjoustop ja omakohtaiseen sähköntuotantoon
5/2018	Sähköautopolitiikat Pohjoismaissa – mitä keinoja Suomi voi hyödyntää?
