



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Biokaasu ja raskas liikenne Suomessa

Verkoston analyysi ja uusien jakeluasemien sijoittaminen

Topias Jäppinen

Maantiede
Pro gradu -tutkielma
Laajuus: 30 op

16.6.2025

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

Pääaine: Maantiede

Tekijä: Topias Jäppinen

Otsikko: Biokaasu ja raskas liikenne Suomessa – Verkoston analyysi ja uusien jakeluasemien sijoittaminen

Ohjaaja: Risto Kalliola

Sivumäärä: 95 sivua + liitteet 12 sivua

Päivämäärä: 16.6.2025

Biopolttoaineilla, ja erityisesti biokaasulla, on merkittävä rooli siirtymisessä puhtaampaan liikenteeseen raskaassa liikenteessä. Biokaasu vähentää riippuvuutta fossiilisista tuontipolttoaineista ja edistää energiaomavaraisuutta. Suomessa biokaasun mahdollisuudet nähdään erityisesti raskaassa liikenteessä, jossa biokaasun kysynnän ennustetaan kasvavan jopa 30-kertaiseksi vuoteen 2040 mennessä. Näin ollen biokaasun jakeluinfraktuurin kehittäminen nousee keskeiseksi kysymykseksi kestävä liikenteen edistämisessä.

Tutkimukseni tavoitteena on selvittää, kuinka hyvin Suomen nykyinen biokaasun jakeluasemaverkosto palvelee raskaan liikenteen tarpeita ja mihin uusia jakeluasemia kannattaisi sijoittaa. Analysoin Suomen biokaasun jakeluinfraktuurin nykytilaa raskaan liikenteen osalta. Pyrin selvittämään jakeluverkoston kattavuutta ja tunnistamaan ne alueet, joille uusien jakeluasemien sijoittaminen olisi perusteltua. Hyödynnän paikkatietomenetelmiä ja yrityshaastatteluja kartoittaakseni reittien ja asemien vastaavuutta sekä yritysten näkemyksiä tankkausverkoston riittävydestä. Tulokset voivat tukea biokaasun käytön kasvua ja kestävä liikenteen tavoitteita Suomessa.

Aineistoina käytän väyläviraston päällystettyjen teiden liikennemäärätietoja, Digiroadin koko suomen tieverkostoa, sekä biokaasun jakeluasemien ja tuotantolaitosten sijainteja. Analyysimenetelmänä käytän verkostanalyysiä, jonka avulla arvioin jakeluasemien saavutettavuutta suhteessa raskaan liikenteen keskimääräisiin liikennemääriin. Tämän lisäksi tarkastelen laatimallani kyselyn avulla yritysten näkemyksiä ja kokemuksia biokaasun käytöstä. Analysoin yritysten vastaukset aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä. Tarkoitukseni on ymmärtää ja tunnistaa, mitkä tekijät vaikuttavat yritysten päätöksiin siirtyä biokaasun käyttöön raskaassa liikenteessä ja kuinka suurta painoarvoa eri tekijöille annetaan. Lopuksi yhdistän paikkatietoanalyysistä ja haastatteluista saadut vastaukset monikriteerisen päätöksenteon ja painotetun päällekkäisanalyysin avulla, Näin voin tunnistaa ne sijainnit, joissa uusien jakeluasemien perustaminen olisi liikennemäärien ja yritysten vastausten kannalta perusteltua.

Paikkatietoanalyysien perusteella jakeluasemaverkosto on varsin kattava Etelä-Suomessa, erityisesti pääteiden varsilla. Sen sijaan puutteita havaitaan länsirannikolla, Turun ja Tampereen välillä, Tampereen ja Jyväskylän välillä, Jyväskylän ja Oulun välillä sekä Itä-Suomessa. Näitä katvealueita vahvistaa yritysten vastaukset, joiden mukaan puutteita koetaan erityisesti juuri Itä-Suomessa ja länsirannikolla.

Yritysten vastauksissa korostuvat erityisesti ympäristötekijät, kuten päästöjen vähentäminen ja ekologisuuden merkitys asiakkaille. Lisäksi polttoaineen hinta ja toimiva jakeluverkosto nähdään keskeisinä, ja biokaasuinvestointien katsotaan riippuvan verkoston kehityksestä. Monet yritykset suunnittelevat biokaasuajoneuvojen hankintaa, mutta päätökset ovat kuitenkin sidoksissa jakeluinfraktuurin kattavuuteen ja luotettavuuteen.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että yritysten tärkeinä pitämät tieosuudet ovat hyvin linjassa nykyisen jakeluverkoston kanssa. Kuitenkin verkoston laajentaminen katvealueille, kuten länsirannikolle, Itä-Suomeen ja osittain Keski-Suomeen, parantaisi biokaasualan ennustettavuutta ja vakautta. Tämä kannustaisi yrityksiä investoimaan biokaasualustoon ja edistäisi kestävä liikenteen ilmastotavoitteita.

Avainsanat: Biokaasu, raskas liikenne, verkostanalyysi, aineistolähtöinen sisällönanalyysi

Master's thesis

Subject: Geography

Author: Topias Jäppinen

Title: Biogas and Heavy-Duty transport in Finland – Network analysis and siting of new filling stations

Supervisor: Risto Kalliola

Number of pages: 95 pages + 12 pages of appendixes

Date: 16.6.2025

Biofuels, and particularly biogas, play a significant role in the transition toward cleaner transport in the heavy-duty sector. Biogas reduces dependence on imported fossil fuels and promotes energy self-sufficiency. In Finland, biogas is seen as having the greatest potential in heavy transport, where demand is projected to increase up to thirtyfold by 2040. Hence, the development of biogas distribution infrastructure becomes a central issue in advancing sustainable transport.

The aim of this study is to examine how well Finland's current network of biogas refueling stations serves the needs of heavy traffic and to identify suitable locations for new stations. I analyze the present state of Finland's biogas infrastructure in relation to heavy-duty transport, seeking to evaluate the coverage of the distribution network and identify areas where new refueling stations would be justified. Network analysis and company interviews are used to assess the match between routes and stations, as well as companies' perceptions of the adequacy of the refueling network. The findings can support the growth of biogas usage and the broader goals of sustainable transport in Finland.

The data used includes traffic volume information on paved roads from the Finnish Transport Infrastructure Agency, the nationwide road network from Digiroad, and the locations of biogas filling stations and production facilities. The primary analysis method is network analysis, used to evaluate the accessibility of refueling stations in relation to average heavy traffic volumes. In addition, I use a survey to explore companies' views and experiences regarding the use of biogas. The survey responses are analyzed through data-driven content analysis. The aim is to understand and identify the factors influencing companies' decisions to adopt biogas in heavy transport and to determine the relative importance assigned to each factor. Finally, I combine the results from spatial analyses and interviews using multi-criteria decision-making and weighted overlay analysis. This approach allows for the identification of locations where establishing new refueling stations is justified based on both traffic data and company feedback.

Based on the spatial analyses, the distribution network is relatively comprehensive in Southern Finland, especially along major highways. However, gaps are identified along the west coast, between Turku and Tampere, Tampere and Jyväskylä, and between Jyväskylä and Oulu together with isolated blind spots that also appear in Eastern Finland. These findings are supported by company interviews, which indicate that shortcomings are particularly evident in Eastern Finland and along the west coast.

The companies' responses highlight especially environmental factors, such as emission reductions and the importance of ecological values to their customers. In addition, fuel price and a functional distribution network are seen as key factors, and biogas investments are considered to depend on the development of this network. Many companies are planning to acquire biogas vehicles, but these decisions are closely tied to the coverage and reliability of the refueling infrastructure.

In conclusion, the road sections that companies consider important generally align well with the current distribution network. However, expanding the network into blind spots, such as the west coast, Eastern Finland, and parts of Central Finland, would improve the predictability and stability of the biogas sector. This would encourage companies to invest in biogas, but especially in sustainable transportation.

Key words: Biogas, heavy-duty transport, network analysis, inductive content analysis

Lyhenneluettelo:

Lyhenne	Termi englanniksi	Termi Suomeksi
CBM	Compressed Biomethane	Kaasumainen Biometaani
CBG	Compressed Biogas	Biokaasu
CNG	Compressed Natural Gas	Maakaasu
HCT	High-Capacity Transport	HCT-ajoneuvoyhdistelmä
HRT	Hydraulic Retention Time	Hydraulinen viipymäaika
KVL	-	Keskimääräinen vuorokausiliikenne
LAM	-	Liikenteen automaattiset mittauspisteet
LBG	Liquified Biogas	Nesteytetty biokaasu
LBM	Liquified Biomethane	Nesteytetty biometaani
LNG	Liquified Natural Gas	Nesteytetty maakaasu
MCDM	Multiple-Criteria Descision-Making	Monikriteerinen päätöksentekomenetelmä
WLC	Weighted Linear Combination	Painotettu lineaarinen yhdistely
WOA	Weighted Overlay Analysis	Painotettu päällekkäisanalyysi
WTW	Well-to-wheel	Elinkaarianalyysi

Sisällysluettelo

1	Johdanto	7
2	Tutkimuksen tausta ja teoreettinen viitekehys	9
2.1	Biometaani ja sen valmistus	9
2.2	Nesteytetty biometaani	12
2.3	Biometaanin tuotantoketju	13
2.4	Biometaani polttoaineena ja liikennekäytössä	16
2.5	Biometaani raskaan liikenteen polttoaineena	17
2.6	Biometaanin ympäristövaikutukset liikenteessä	19
2.6.1	Raskaan liikenteen toimintamatkat	20
2.7	Biokaasun käyttö ja lainsäädäntö	21
2.7.1	Säätelytoimet ja historia Euroopan Unionissa	21
2.7.2	Säätelytoimet ja historia Suomessa	26
3	Aineistot ja menetelmät	28
3.1	Tutkimuksen yleinen kulku	28
3.2	Jakeluverkoston kattavuuden arviointi (Tutkimuskysymys 1)	30
3.2.1	Paikkatietoaineistot	30
3.2.2	Verkostoanalyysi	32
3.2.3	Tieverkkoon perustuvat etäisyys- ja saavutettavuusanalyysit	35
3.2.4	Ajoneuvojen etäisyysvalinnat haastatteluiden perusteella	37
3.3	Yritysten päätöksiin vaikuttavat tekijät (Tutkimuskysymys 2)	39
3.3.1	Yrityshaastatteluiden toteutus	39
3.3.2	Aineistolähtöinen sisällönanalyysi	39
3.4	Uusien jakeluasemien sijoittaminen (Tutkimuskysymys 3)	42
3.4.1	Kyselyn perusteella tieverkolle määritetyt merkitykset	42
3.4.2	Jakeluasemien ja tuotantolaitosten etäisyydet tieverkosta perustuen yrityshaastatteluihin	43
3.4.3	Painotusten analysointi pohjautuen yritysten vastauksiin	44
3.4.4	Kyselyn perusteella valitut kriteerit	46
4	Tulokset	51
4.1	Jakeluasemaverkoston nykyinen kattavuus	51
4.1.1	Jakeluasemien ja tuotantolaitosten sijoittuminen suhteessa raskaiden ajoneuvojen liikennemääriin	51

4.2	Yritysten biokaasun siirtymiseen vaikuttavat tekijät	57
4.2.1	Strukturoidun ja puolistrukturoidun kyselyn tulosten ryhmittely	57
4.2.2	Puolistrukturoidun kyselyn tulosten ryhmittely	60
4.3	Uusien jakeluasemien mahdollisten sijaintipaikkojen tarkastelu	64
4.3.1	Verkostoanalyysin ja yritysnäkökulmien yhdistäminen	64
4.3.2	Uusien jakeluasemien sijoittaminen	67
5	Keskustelu	76
5.1	Biokaasun jakeluasemaverkoston katvealueet	76
5.2	Biokaasuinfrastruktuurin, sääntelyn ja ympäristötekijöiden vaikutukset yritystoimintaan	78
5.3	Jakeluverkoston kehittäminen ja laajentaminen uusilla jakeluasemilla	81
6	Johtopäätökset	83
	Lähteet	85
	Liitteet	96
	Liite 1. Strukturoidut ja puolistrukturoidut kysymykset	96
	Liite 2. Puolistrukturoidut kysymykset	102

1 Johdanto

Liikenteen sähköistäminen nähdään keskeisenä osana kestävästä liikennejärjestelmästä, mutta se ei ole ainoa vaihtoehto ympäristön kannalta kestäviin kulkumuotoihin (Winqvist ym. 2019). Biopolttoaineilla, ja erityisesti biokaasulla, on merkittävä rooli siirtymisessä puhtaampaan liikenteeseen, etenkin raskaassa liikenteessä. Biokaasu vähentää riippuvuutta fossiilisista tuontipolttoaineista, edistää energiaomavaraisuutta ja hyödyntää jätteitä (Gustafsson & Anderberg 2021).

Biokaasun käyttö vähentää myös liikenteen hiilidioksidipäästöjä, sillä biokaasu on uusiutuva energianlähde (Jameel ym. 2024). Biokaasun polttaminen ei lisää ilmakehän hiilidioksidimäärää biomassan sitoman hiilen ansiosta. Lisäksi biokaasun laajamittainen käyttöönotto tukee työllisyyttä ja innovaatioita maailmanlaajuisesti sekä Suomessa. Näin ollen biokaasu tarjoaa liikenteelle kestävämmän polttoainevaihtoehdon, joka vastaa niin ympäristö- kuin taloudellisiin haasteisiin.

Biokaasulla on merkittävä rooli kestävästä liikenteestä polttoaineena ja sen käyttöä edistetään niin kansallisella kuin EU-tasollakin (Winqvist 2021). EU on sitoutunut biokaasun käyttöä edistävään politiikkaan, mikä ilmenee esimerkiksi vuonna 2014 voimaan tulleesta direktiivistä, joka ohjaa uusiutuvien polttoaineiden infrastruktuurin kehittämistä. Winqvist ym. (2021) mukaan tämä direktiivi tukee EU:n "Kestävästä ja älykkään liikkuvuuden strategiaa", jonka tavoitteena on vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä jopa 90 % vuoteen 2050 mennessä.

Suomessa biokaasun potentiaali nähdään erityisesti raskaassa liikenteessä, jossa biokaasun kysynnän ennustetaan kasvavan jopa 30-kertaiseksi vuoteen 2040 mennessä (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2024). Biokaasun taloudellinen kilpailukyky ja sen käyttöön liittyvän teknologian kehittyminen ovat tässä avainasemassa. Samaan aikaan myös kaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen yleistymisen tukevat tätä kasvua. Lisäksi biokaasun jakeluverkoston laajentuminen nähdään keskeisenä tekijänä biokaasun käytön yleistymiselle. Laaja ja kattava jakeluverkosto tekee biokaasusta houkuttelevamman vaihtoehdon etenkin yrityksille (Bumharter ym. 2023).

Vaikka biokaasun potentiaali ja sen hyödyt tiedostetaan hyvin, monia avoimia kysymyksiä liittyy nykyisen jakeluverkoston kattavuuteen ja tehokkuuteen raskaassa liikenteessä (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2024). On vielä epäselvää, missä määrin nykyinen biokaasun

jakeluinfrastruktuuri Suomessa kattaa raskaan liikenteen tarpeet ja vastaa tulevaisuuden kysynnän kasvuun. Suomessa biokaasun jakeluasemien maantieteellinen sijoittelu voi olla epätasapainossa raskaan liikenteen kulkureittien kanssa. Tietyillä alueilla voi olla pulaa jakelupisteistä, mikä hidastaa biokaasun käytön laajentumista (Tsvetkova ym. 2015). Lisäksi on epäselvää, miten hyvin jakeluasemat palvelevat raskaan liikenteen päivittäisiä logistisia tarpeita. Esimerkiksi miten hyvin jakeluasemat ja verkosto tukevat ajoreittejä alueilla, joilla biokaasun kysyntä on vielä vähäistä. Tsvetkova ym. (2015) mukaan tämä tiedon puute koskee erityisesti pienempiä paikkakuntia, joissa biokaasun kulutusta on haastavampaa ennakoita ja perustella taloudellisista näkökulmista.

Tässä työssäni pyrin analysoimaan Suomen biokaasun jakeluinfrastruktuurin nykytilaa raskaan liikenteen näkökulmasta. Tavoitteenani on tarkastella, kuinka hyvin nykyinen verkosto kattaa raskaan liikenteen tarpeet ja millä alueilla on puutteita. Hyödynnän paikkatietomenetelmiä, joilla selvitän jakeluasemien sijaintien ja raskaan liikenteen kulkureittien vastaavuutta. Lisäksi kartoitan yritysten ja logistiikkatoimijoiden näkemyksiä biokaasun käytöstä ja tankkausverkoston riittävydestä. Analysoimalla verkoston kattavuutta pyrin tunnistamaan ne alueet, joissa uusien jakeluasemien sijoittaminen olisi kannattavinta raskaiden ajoneuvojen näkökulmasta. Näin tutkimus voi osaltaan edistää biokaasun käyttöä ja tukea Suomen kestävästä liikenteen tavoitteiden saavuttamista.

Tutkimuskysymykset:

1. Kuinka kattava ja riittävä Suomen nykyinen kaasujakeluverkosto on raskaalle liikenteelle ja miten se vastaa raskaan liikenteen tarpeisiin?
2. Miten poliittiset, taloudelliset ja ympäristölliset tekijät vaikuttavat yritysten päätöksiin siirtyä biokaasun käyttöön raskaassa liikenteessä?
3. Mihin olisi kannattavinta sijoittaa uusia kaasujakeluasemia raskaalle liikenteelle paikkatietoanalyysien ja yritysten vastausten perusteella?

2 Tutkimuksen tausta ja teoreettinen viitekehys

2.1 Biometaani ja sen valmistus

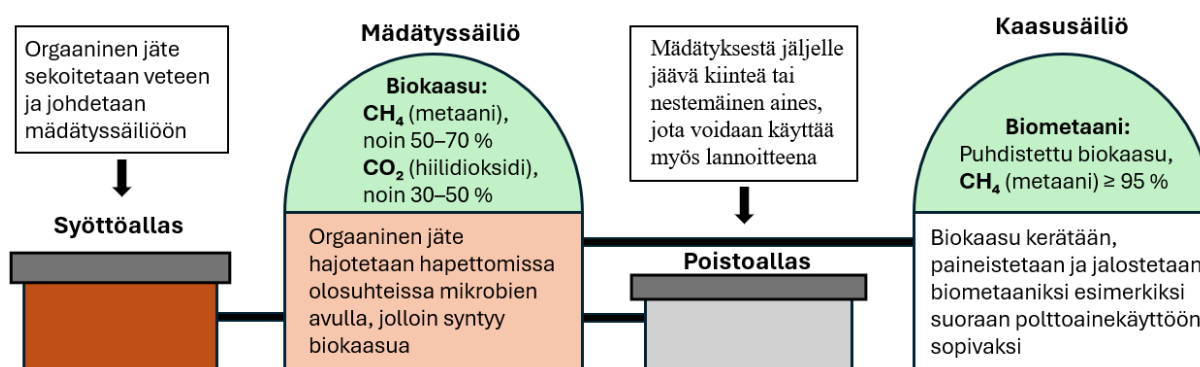
Biokaasu on kaasuseos, joka syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa (Motiva 2013). Hapettomassa tilassa tapahtuva hajoaminen, eli mädäntyminen, tapahtuu anaerobisten bakteerien vaikutuksesta. Hajoamisprosessin viimeisessä vaiheessa metaanibakteerit tuottavat kaasua, jota kutsutaan biokaasuksi (Papacz 2011). Anaerobisessa mädätyksessä tuotettu raaka biokaasu koostuu pääasiassa metaanista ja hiilidioksidista, mutta mukana on myös muita vähäisiä epäpuhtauksia (Calise ym. 2023). Biometaani sen sijaan on puhdistettua biokaasua, josta epäpuhtaudet on poistettu, jolloin se koostuu lähes pelkästään metaanista (Gustafsson ym. 2021). Energian käytön kannalta olennaisin aine biokaasussa on metaani, jota siinä on yleensä noin 50–70 prosenttia, kun taas hiilidioksidin osuus on noin 30–50 prosenttia (Motiva 2013). Biokaasun jalostuksen tuloksena saatu biometaani on lopputuote, jota käytetään liikenteen polttoaineena tai muuna energianlähteenä. Biometaanin tuottaminen vaatii lisävaiheita biokaasun tuotannon jälkeen, kuten puhdistuksen ja jalostuksen (Calise ym. 2023).

Yleisimmin käytetty menetelmä biokaasun jalostamisessa on membraanierotus, joka tuottaa noin 95-prosenttisen puhtaan biometaanin, ja on kustannustehokkain vaihtoehto biometaanin tuotannossa. Biokaasun membraanierotus on tekniikka, jota käytetään biokaasun jalostamiseksi eli puhdistamiseksi epäpuhtauksista, kuten hiilidioksidista vedestä, tpeystä ja muista kaasuista (Zito ym. 2022). Membraanierotuksessa käytetään puoliläpäiseviä kalvoja eli membraaneja, jotka erottavat biokaasun sisältämät komponentit niiden molekyylikoon ja fysikaalisten ominaisuuksien perusteella (Zito ym. 2022). Tämä metaanin puhtaampi muoto mahdollistaa sen käytön esimerkiksi liikennepolttoaineena. Lisäksi anaerobisessa mädätyksessä tapahtuva biokaasun tuotanto synnyttää sivutuotteena lannoitetta, joka voi korvata vastaavan määrän perinteisesti käytettyä lannoitetta (Gustafsson ym. 2021).

Biokaasua tuotetaan pääasiassa kahdella tavalla: biokaasureaktoreissa eli mädätyssäiliössä ja kaatopaikkakaasun keräämisen kautta (Gustafsson & Anderberg 2021). Lisäksi biokaasun tuotantoa tapahtuu luonnostaan lannassa (Edwards ym. 2011). Metaanipäästöjä voidaan näin välttää pääsemästä ilmakehään, kun esimerkiksi maatilalla lantaa käytetään biokaasun tuotantoon. Prosesseissa irrotettu ja talteenotettu hiilidioksidi voidaan myös hyödyntää edelleen (Mertins ym. 2023).

Biokaasulaitteisto on järjestelmä, joka on suunniteltu tuottamaan ja varastoimaan biokaasua orgaanisten materiaalien anaerobisen mädätyksen avulla (Jameel ym. 2024).

Yksinkertaisimmillaan kaasutuotantolaitoksen kaasulaitteisto koostuu syöttöaltaasta, mädätyssäiliöstä, poistoaltaasta ja kaasusäiliöstä (kuva 1). Hyvin suunniteltu järjestelmä mahdollistaa säännöllisen biokaasun tuotannon, kun hajonnutta biomassaa poistetaan jatkuvasti ja sen tilalle syötetään uutta biomassaa tai jätettä raaka-aineena.



Kuva 1. Biokaasun tuotantolaitoksen eri osat yksinkertaistettuna (tekijän laatima).

Syöte tarkoittaa biokaasureaktoriin syötettävää orgaanista materiaalia, jota prosessoidaan mädätyksessä biokaasun tuottamiseksi (Feiz ym. 2022). Näitä syötteitä voivat olla esimerkiksi karjan lanta, jätevesiliete, maatalouden sivutuotteet tai ruokajätteet. Syöttöallas sijaitsee maanpinnan yläpuolella, jossa maatilalta tuleva orgaaninen aines tai jäte sekoitetaan veteen ja siirretään sieltä mädätyssäiliöön (Jameel ym. 2024).

Mädätyssäiliö on ilmatiiviisti suljettu reaktori, jossa tapahtuu orgaanisten aineiden anaerobinen hajoaminen (Jameel ym. 2024). Säiliöt valmistetaan useimmiten tiilestä tai betonista, ja ne voivat olla joissain tapauksissa osittain tai kokonaan maan alla. Kun biokaasu on eriytetty mädätyssäiliössä, jäljelle jäävä mädätysjäännös voidaan käyttää esimerkiksi maanparannusaineena tai lannoitteena (Feiz ym. 2022). Mädätysjäännöksen laatu riippuu syötteen alkuperästä ja itse mädätysprosessin olosuhteista sekä mädätysjäännöksen käsittelystä ja varastoinnista.

Poistoallas sijaitsee yleensä syöttöaltaan vastakkaisella puolella maanpinnan tasolla ja vastaanottaa mädätyssäiliöstä tulevan mädätetyn nestelietteen sen paineen ansiosta (Jameel ym. 2024). Kaasusäiliö taas on yleensä teräksestä tehty sylinterinmuotoinen kammio, jossa on useimmiten kartiomainen katto. Tuotettu biokaasu kerätään yhteen ja jalostetaan biometaaniksi kaasusäiliön avulla. Kaasusäiliössä on venttiili kaasun vapauttamiseksi ja

painemittari kaasun paineen hallitsemiseksi. Biometaanin tuotanto alkaa noin 10–20 päivän kuluttua koko prosessin alkamisesta syöttöaltaasta ja kiihtyy kaasusäiliössä korkeammassa lämpötilassa (Jameel ym. 2024).

Hydraulinen viipymäaika HRT (*Hydraulic Retention Time*) määrittää, kuinka monta päivää biomassa pysyy mädätyssäiliössä (Srisowmeya ym. 2020). Se on siis mädätyssäiliön tilavuuden ja päivittäisen syöttömäärän välinen suhde. HRT osoittaa sen ajan, joka on käytettävissä mikrobipopulaation kasvuille ja biomassan muuttamiselle biokaasuksi. Korkeammassa lämpötiloissa orgaanisen aineksen hajoamisnopeus on nopeampi ja siksi tarvitaan lyhyempi hydraulinen viipymisaika ja pienemmät reaktorien tilavuudet. Samaan aikaan kuitenkin orgaanisen aineen koostumus ja energiasisällön kannalta lopullinen metaanintuotto ei muutu.

Yleisesti ottaen mädätys vaatii noin 37 °C lämpötilan ja 25 päivää (Motiva 2013). Suurin osa mädätyslaitoksista toimii optimaalisesti 38–42 °C lämpötilojen välillä, mutta muutamat biokaasulaitokset käyttävät mädätysprosessissa jopa 50–55 °C lämpötilaa. Talvella tämä vaatii erityistä huomion kiinnittämistä eristyksiin, sillä lämmön karkaaminen pitää minimoida (Motiva 2013). Mädätysprosessin aikana on tärkeää ylläpitää tasainen lämpötila koko mädätyksen ajan, sillä lämpötilan muutokset tai vaihtelut vaikuttavat negatiivisesti biokaasun tuotantoon. Srisowmeya ym. (2020) mukaan, mikäli lämpötila laskee merkittävästi alle optimaalisen rajan, mikro-organismien kasvunopeus hidastuu huomattavasti. Pahimmassa tapauksessa tämä voi johtaa jopa mikrobipopulaation tuhoutumiseen kokonaan.

Tilanteissa, joissa kaasun tuotantolaitos ei ole toiminnassa, esimerkiksi huollon aikana, täytyy tuotettu biokaasu varastoida (Kirchmeyr & Stürmer 2020). Varastointijärjestelmää käytetään myös kaasun saatavuuden tasapainottamiseen, mikäli biokaasun tuotanto ja kulutus eivät ole tasapainossa. Varastointijärjestelmien koko voi vaihdella huomattavasti. Kirchmeyr & Stürmer (2020) mukaan laitoksissa, joissa tuotettua biokaasua voidaan käyttää heti ja ilman rajoituksia, varastointikapasiteettia on tyypillisesti noin 3–10-kertainen tunnissa tuotettavaan biokaasumäärään nähden.

Biokaasun tuotantolaitoksessa voi olla useita samanlaisia ja erilaisia säiliöitä, riippuen laitoksen koosta ja tuotantotehosta (Motiva 2013). Kaasutuotantolaitoksen infrastruktuurin rakentamismääräykset määrittelevät laitosten suunnittelun ja toteutuksen (Gustafsson & Anderberg 2021). Laitoksen sijoittamiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten laitoksen koko, sen aiheuttamat ympäristövaikutukset ja alueen kaavoitus sekä maankäyttö (ELY-keskus

2025). Lisäksi biohajoavien jätteiden käsittelyyn liittyy usein hajuhaittoja kuljetuksen, varastoinnin ja prosessoinnin aikana.

Mikäli laitoksessa käsitellään yli 35 000 tonnia biomassaa vuodessa, sen rakentaminen edellyttää YVA:n eli ympäristövaikutusten arvioinnin. (ELY-keskus 2025). Myös pienempi laitos voi joutua YVA-menettelyn piiriin, mikäli biokaasua käsitellään yli tonni vuodessa, jätettä käsitellään yli 20 000 tonnia vuodessa tai tuotantolaitoksen vaikutukset arvioidaan tarpeeksi merkittäviksi (Motiva 2014). Lopullisen päätöksen YVA-menettelyn tarpeesta tekee ELY-keskus (ELY-keskus 2025).

2.2 Nesteytetty biometaani

Kaasumaista biometaania CBM (*compressed biomethane*) ja nesteytettyä biometaania LBM (*liquefied biomethane*) voidaan käyttää polttoaineina (Yang ym. 2014). Käytännössä ja yleisesti niistä käytetään kuitenkin termejä biokaasu eli CBG (*compressed biogas*) ja nesteytettyä biokaasua eli LBG (*liquefied biogas*). Tästä syystä käytän myös työni myöhemmissä osioissa jalostetuista ja liikennekäyttöön soveltuvista polttoaineista nimityksiä CBG ja LBG, vaikka tarkempi ilmaisu olisikin CBM ja LBM. Yang. (2014) mukaan LBG on kolme kertaa tilatehokkaampaa kuin CBG eli kolminkertainen määrä nestemäisen LBG:n sisältämää energiaa mahtuu samaan tilaan kuin kaasumainen CBG:n sisältämä energia. Tämän takia LBG:tä käyttäessä ajoneuvoilla on siis pidempi toimintasäde kuin käyttäessä CBG:tä (Tong ym. 2018).

Nestemäisen biometaanin tuotanto edellyttää, että puhdistettu biokaasu, eli biometaani, käy läpi nesteytysprosessin (Yang ym. 2014). Nesteytys on hyvin energiavaltainen prosessi, sillä biokaasu on ensin puristettava 200 baarin paineeseen (Calise ym. 2023). Vertailun vuoksi tavallisen henkilöauton renkaan sisällä paine on noin 2 baaria. Nesteytysprosessissa hiilidioksidi erotetaan biometaanista laskemalla lämpötila $-78,5\text{ °C}$ asteeseen, jolloin hiilidioksidi kondensoituu. Jos prosessia jatketaan ja lämpötilaa lasketaan -161 °C asteeseen kaasumainen metaani kondensoituu nestemäiseen olomuotoon (Yang ym. 2014).

Energiavaltaisesta prosessista huolimatta kaasumaisen biometaanin alhaisen kokonaistuotantokustannusten vuoksi sen muuttaminen nestemäiseen muotoon on taloudellisesti kannattavaa (Yang ym. 2014).

Kaasukromatografia (*Gas Chromatography*) on menetelmä, jota käytetään kaasujen ja haihtuvien aineiden erottamiseen ja analysointiin (Arrheniusa ym. 2018). Sitä käytetään erilaisissa teollisuuden ja tutkimuksen sovelluksissa, kuten biokaasun ja nesteytettyjen kaasujen analyysissä. Näin voidaan tunnistaa ja mitata kaasuseosten yksittäisiä ainesosia, ja jokainen yhdiste voidaan erottaa ja kvantifioida. Tämä analyysi on keskeinen osa biometaanin nesteytysprosessia, sillä se mahdollistaa tarkkojen mittausten tekemisen kaasuseoksen koostumuksesta. Tämä auttaa takaamaan nestemäisen metaanin puhtauden ja käyttöturvallisuuden (Arrheniusa ym. 2018).

Vaikka kaasusäiliöiden seinämät ovat hyvin eristettyjä, ympäristöstä tulevaa lämmön siirtymistä ei voida täysin estää, minkä vuoksi höyrystymistä ja lämmön karkaamista kaasusäiliöistä esiintyy aina jonkin verran (Arrheniusa ym. 2018). Tällöin voidaan puhua nesteytetyn kaasun ikääntymisestä tai kulumisesta, jossa nestemäisen metaanin koostumus ja ominaisuudet muuttuvat ajan myötä. Ilmiö tunnetaan hyvin laivakuljetusten aikana, mutta sitä tapahtuu myös esimerkiksi jakeluasemilla ajoneuvoja tankattaessa, sekä ajoneuvojen omissa polttoainesäiliöissä (Arrheniusa ym. 2018).

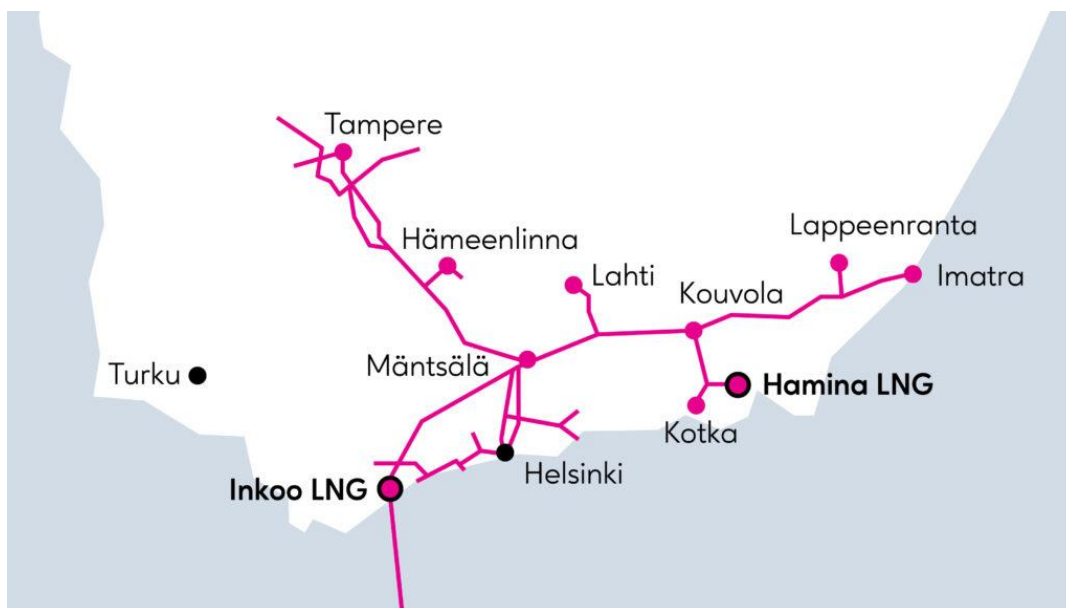
Nestemäisen kaasun hyvin alhaiset lämpötilat tuovat siis mukanaan myös turvallisuushuomioita, erityisesti varastoituna suurissa määrissä (Steiner 2018). Nestemäinen kaasu vaatii tarkkaa valvontaa ja hallintaa polttoaineen jatkuvan höyrystyminen takia. Mikäli nestemäistä metaania säilytetään pitkään ilman että sitä käytetään tai täydennetään, polttoaineen koostumus saattaa muuttua. Steiner (2018) mukaan nestemäisen kaasun haihtumista kuitenkin hidastaa se, mikäli kaasu on erittäin puhdasta, sisältäen pelkästään vain metaania ilman muita hiilivetykomponentteja.

2.3 Biometaanin tuotantoketju

Jalostettua biokaasua voidaan käyttää liikenteessä joko paineistettuna CBG:n tai nesteytettynä LBG:n muodossa (Abanades ym. 2022). LBG:tä voidaan tuoda maahan myös laivoilla tai rekoilla (Mertins ym. 2023). Nestemäinen biokaasu LBG mahdollistaa biokaasun tehokkaan varastoinnin ja kuljetuksen, mikä on erityisen tärkeää alueilla, joissa kaasun käyttöpaikat ovat kaukana tuotantolaitoksista (Abandanes ym. 2022). Maakaasun eli CNG:n (*compressed natural gas*) ja nesteytetyn maakaasun eli LNG:n (*liquefied natural gas*) korvaaminen uusiutuvalla biometaanilla on teknisestä näkökulmasta yksinkertaista (Pääkkönen ym. 2019).

CNG:n ja LNG:n jakeluun suunnitellut verkoston komponentit, kuten putkistot, soveltuvat myös CBG:n ja LBG:n jakeluun (Mertins ym. 2023). Mahdollisesti myös muiden kaasujen varastointitiloja voidaan hyödyntää ajatellen CBG:tä ja LBG:tä kaasujen samanlaisten ominaisuuksien takia. Mertins ym. (2023) mukaan tulevaisuudessa biokaasua voidaan käyttää myös vedyn tuotantoon.

Biokaasun logistiikka ja siirtäminen ovat keskeisiä tekijöitä tuotantoketjun toimivuudessa (Global Green Growth Institute 2023). Biokaasun jakelu tapahtuu eteläisessä Suomessa Gasgridin maakaasuverkoston kautta. Gasgrid on Suomen kaasun siirtoverkkoyhtiö, ja se vastaa koko Suomen kaasunsiirtoverkon hallinnasta (Gasgrid 2024). Gasgrid varmistaa, että kaasujen siirto tapahtuu turvallisesti ja luotettavasti. Kaasut kulkevat maan alla sijaitsevia putkistoja pitkin (kuva 2). Muualla Suomessa biokaasua voidaan kuljettaa paineistettuna tai nesteytettynä kuorma-autoilla eri jakeluasemille (Uusitalo ym. 2015). Mikäli biokaasun tuotanto ja käyttö kasvaisivat riittävästi, olisi mahdollista rakentaa biokaasuverkostoja laajemmin. Tällöin kuitenkin tarvittaisiin varakaasujärjestelmiä varmistamaan toimitusten jatkuvuus mahdollisissa tuotantohäiriöissä.



Kuva 2. Kaasun siirtoverkko Suomessa (Gasgrid 2024).

Suomeen LNG:tä tuodaan nesteytettynä tankkerilaivoilla (Työ- ja Elinkeinoministeriö & Valtiovarainministeriö 2022). Kaasu höyrystetään takaisin kaasumaiseen muotoon ja johdetaan Suomen maakaasuverkkoon. Tankkeritoimituksia arvioidaan saapuvan terminaali-laivoilla noin 2–3 kertaa kuukaudessa, mikä mahdollistaa suoraan Venäläisen LNG:n korvaamisen Baltiasta ja Yhdysvalloista tuodulla LNG:llä.

Paikalliset ja alueelliset tuotantokapasiteetit ovat keskeisiä biokaasun tuotannon suunnittelussa ja kehittämisessä (Höhn ym. 2014). Biokaasun tuotantomahdollisuudet vaihtelevat alueellisesti riippuen muun muassa väentihydestä ja yhdyskuntarakenteesta. Tiheästi asutuilla alueilla biokaasun raaka-aineeksi kelpaavaa yhdyskuntajätettä on runsaasti, kun taas maaseutualueilla maatalouden biomassa ja eläinten lanta tarjoavat raaka-aineita biokaasun tuotantoon. Lyytimäki ym. (2021) korostavat biokaasun tuotantomahdollisuuksia voimakkaammin juuri paikallisella tasolla. Keskusteluja ja toimia ovat vauhdittaneet etenkin konkreettiset esimerkit biokaasualan kehityksestä.

Biokaasulaitoksen kannattavuuden ja soveltuvuuden arvioinnissa keskeisiä tekijöitä ovat logistiikkakustannukset (Berrutoa ym. 2013). Raakabiomassan eli syötteen kuljettaminen kaasun tuotantolaitokseen sekä orgaanisen lannoitteen palauttaminen takaisin pelloille mädätysprosessin jälkeen vaativat huolellisesti suunniteltua logistiikkaketjua. Berrutoa ym. (2013) mukaan erot eri logististen- ja kuljetusmenetelmien välillä voivat johtaa jopa eroihin lannan ravinteiden hyödyntämisessä sekä sitä kautta erilaisiin ympäristövaikutuksiin.

Taloudelliset kannustimet, kuten uusiutumattoman energian verotus ja orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoituksen kieltäminen, edistävät biokaasun tuotantoa (Ympäristöministeriö 2018). Kaatopaikka-asetuksella rajoitetaan biohajoavan ja muun orgaanisen jätteen sijoittamista tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Tavoitteena on, että orgaanisen jätteen sijoittamisesta tavanomaisen jätteen kaatopaikalle luovutaan lähes kokonaan. Ympäristöministeriön (2018) mukaan käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että orgaaninen jäte tulee ensisijaisesti hyödyntää materiaalina ja toissijaisesti energiana.

Poliittiset toimenpiteet, jotka tukevat uusiutuvia energianlähteitä, ovat tärkeitä biokaasun tuotannon kasvulle ja kehitykselle, jotta LBG voisi kilpailla LNG:n ja muiden fossiilisten polttoaineiden kanssa (Gustafsson & Svensson 2021). Uusiutuvan energian tukeminen voi tapahtua paitsi suorien toimenpiteiden kautta, mutta myös epäsuorasti (Gustafsson & Anderberg 2021). Epäsuoraa tukea uusiutuville energianlähteille, kuten biokaasulle, voidaan antaa esimerkiksi verotuksen, sääntelyn tai taloudellisten kannustimien kautta. Nämä toimenpiteet parantavat uusiutuvien energianlähteiden kilpailukykyä ja kysyntää ilman hankkeille annettavaa suoraa rahallista tukea. Gustafsson & Anderberg (2021) mukaan biokaasun tuotantoon liittyvät liiketoimintamallit keskittyvät usein jätehuoltopalveluihin ja energian tuotantoon. Tuloja syntyy pääasiassa porttimaksuista, joita peritään jätteiden käsittelystä, kun voidaan auttaa asiakkaita pääsemään eroon olemassa olevasta ja ei-toivotusta

materiaalista muuttamalla se energiaksi (Valve ym. 2021). Biokaasulaitosten tuloista noin 80 % tulee porttimaksuista, eli esimerkiksi jätteen vastaanotosta perittävästä maksusta, ja noin 20 % itse energiantuotannosta.

Biokaasulaitosinvestoinnit voivat kohdata merkittäviä taloudellisia haasteita (Winqvist ym. 2018). Korkeat investointikustannukset ja matala lopputuotteiden hinta voivat johtaa investointien pitkiin takaisinmaksuaikoihin ja näin ollen investointien vähenemiseen (Valve ym. 2021). Lisäksi esimerkiksi kaikelle biokaasusta tuotetulle lämmölle ei aina löydy käyttöä omalta maatilalta tai edes lähistöltä, mikä rajoittaa tuotannon kannattavuutta (Winqvist ym. 2018). Biokaasulla tuotetun sähkön myynti sähköverkkoon on kuitenkin mahdollista, mutta mikäli sähkön pörssihinta on kovin alhainen, se voi vaikuttaa tuloihin jopa negatiivisesti. Biokaasun osuuden lisääminen liikennekäytössä voi siis parantaa biokaasutuotannon kannattavuutta ja vähentää riippuvuutta jätehuollon porttimaksuista. Pääkkönen ym. (2019) totesivat, että Suomessa optimaalisissa olosuhteissa biokaasun tuotantokustannukset voisivat olla kilpailukykyisiä dieselin markkinahinnan kanssa, jopa silloin, kun biokaasun myynnistä saatavaa lisäkatetta eli tuloja ei oteta huomioon.

Jätteiden käyttö syöttömateriaalina biokaasun tuotannossa katsotaan olevan päästötöntä kasvihuonekaasujen osalta (Edwards ym. 2011). Tuotantoprosessissa osa biokaasusta käytetään myös itse tuotantoprosessin energianlähteenä, mikä antaa biokaasulle yleensä suotuisan ympäristöjalanjäljen kasvihuonekaasupäästöjen osalta verrattuna fossiilisiin energianlähteisiin. Hyöty-haittasuhde on kuitenkin hieman heikompi, mikäli tuotantoon käytetään viljelykasveja, jotka on omistettu pelkästään energian tuotantoon (Edwards ym. 2011). Biokaasun biomassan alkuperä pitääkin ottaa huomioon biokaasun käytössä esimerkiksi liikennekäytössä, sillä se tuottaa edelleen päästöjä, kuten hiilidioksidia (Vasana ym. 2024).

2.4 Biometaani polttoaineena ja liikennekäytössä

Vuoden 2024 lopulla Suomen tieliikenteen energiankulutuksesta kaasumaisen biometaanin eli CBG:n osuus oli 0,9 % (Tilastokeskus 2024). Kasvua edellisvuoteen tapahtui 0,2 % (Tilastokeskus 2023). LBG:n osuutta ei ole erikseen määritelty, mutta nestemäisten biopolttoaineiden osuus oli 16 % 2024, jossa on mukana bioetanoli eli E85 ja nestemäinen biokaasu eli LBG. Vuonna 2024 biokaasua tuotettiin noin 1 terawattituntia (TWh), mikä

vastasi noin 0,5 % osuutta kaikesta uusiutuvan energian tuotannosta (Biokaasu2030 2024). Koko maan energiankulutuksessa biokaasun osuus jäi alle 1 % vuonna 2024, eli Suomessa biokaasun osuus energiasektorista on siis edelleen varsin vähäinen.

Suomessa on tällä hetkellä 86 CBG:n jakeluasemaa ja 24 LBG:n jakeluasemaa (Kaasuautoilijat ry 2025). Lisäksi Suomessa on 87 biokaasun tuotantolaitosta, joista 28 tuotantolaitosta jalostaa biokaasua liikennepolttoaineeksi ja loput 59 eivät sitä tee (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2025). Viime vuosina sekä suurempien teollisen mittakaavan kaasun tuotantolaitosten että maatilakohtaisten tuotantolaitosten määrä on kasvanut. Lisäksi olemassa olevia tuotantolaitoksia on laajennettu. Vuonna 2022 liikennebiokaasun osuus oli noin 22 % kaikesta biokaasun ja biometaanin käytöstä, kun vuonna 2024 luku oli jo 32 % (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2024).

Vaikka liikenteen osuus tuotannosta on kasvanut, suurin osa biokaasusta käytetään edelleen lämmön ja sähkön tuotantoon. Roinilan (2019) mukaan biometaanin kulutuksen henkilöautoissa ja linja-autoissa arvioidaan vähenevän tulevaisuudessa, vaikka tavoitteena on saavuttaa silti 50 000 biokaasulla toimivaa henkilöautoa vuoteen 2030 mennessä. Vuoden 2025 alkupuolella biokaasulla toimivia henkilöautoja oli noin 17 000 (Autoalan tiedotuskeskus 2025). Raskaan liikenteen osuus on vieläkin vähäisempi, sillä kaasukäyttöisten raskaiden ajoneuvojen osuus kaikista raskaista ajoneuvosta oli alle prosentti (taulukko 1).

Taulukko 1. Raskaat ajoneuvot käyttövoimittain 2025 (Autoalan tiedotuskeskus 2025 & Traficom 2025).

Käyttövoima	Määrä (kpl)	Osuus (%)
Kaasu	870	0,86
Sähkö	1 089	1,08
Muut (esim. diesel)	99 141	98,06
Yhteensä	101 100	100,0

2.5 Biometaani raskaan liikenteen polttoaineena

Raskaan liikenteen ja sen ajoneuvojen luokittelu perustuu niiden käyttötarkoituksen ja koon mukaan. M2- ja M3-luokan ajoneuvot, kuten linja-autot, on suunniteltu henkilöiden kuljetukseen (Traficom 2024). M2-luokan ajoneuvon kokonaismassa voi olla enintään 5 tonnia, kun taas M3-luokan ajoneuvojen massa ylittää 5 tonnia (Traficom 2024). N2- ja N3-luokan ajoneuvot taas ovat tavarankuljetukseen tarkoitettuja kuorma-autoja. N2-luokan

ajoneuvon suurin sallittu kokonaismassa on enintään 12 tonnia, kun taas N3-luokan ajoneuvot painavat yli 12 tonnia (Traficom 2024). Keskityn työssäni M3-, N2- ja N3-luokan ajoneuvoihin. Kaikki muut raskaat ajoneuvot kuuluvat ajoneuvoluokkiin M3, N2 ja N3, mutta yhdistelmäajoneuvot kuuluvat pelkästään luokkaan N3 (kuva 3).

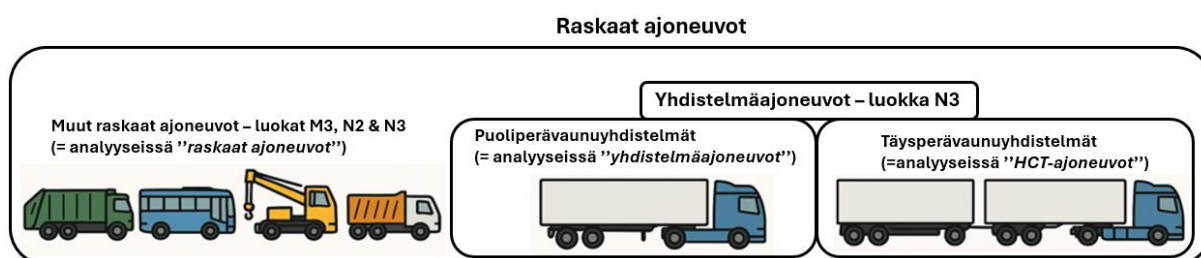
Jaottelen nämä raskaat ajoneuvot vielä tarkemmin raskaisiin- ja yhdistelmäajoneuvoihin.

Raskas ajoneuvoluokka sisältää kaikki raskaat ajoneuvot sekä yhdistelmäajoneuvot.

Yhdistelmäajoneuvot taas sisältävät puoli- ja täysperävaunuyhdistelmät (Finlex 2019).

Puoliperävaunuyhdistelmä koostuu rekan veturista ja yhdestä perävaunusta.

Täysperävaunuyhdistelmä taas koostuu rekan veturista ja kahdesta perävaunusta.



Kuva 3. Raskaat ajoneuvot luokiteltuina.

Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) olen eritellyt raskaiden ajoneuvoluokkien ominaisuuksia, kuten ajoneuvojen pituudet metreinä, paino tyhjänä eli ajoneuvon oma massa ilman kuormaa tonneina, paino täydellä kuormalla tonneina eli ajoneuvon suurin sallittu kokonaismassa ja ajoneuvon kantavuus tonneina eli ajoneuvon suurin sallittu hyötykuorma tonneina.

Taulukko 2. Eri ajoneuvoluokkaan kuuluvan ajoneuvon keskimääräiset mitat ja massat tonneina (SKAL; ELY-keskus 2014 & Traficom 2019).

	Pituus (m)	Paino tyhjänä (t)	Paino täydellä kuormalla (t)	Kantavuus (t)
Muu raskas ajoneuvo	12–34,5	10–14	18–35	11–25
Puoliperävaunuyhdistelmä	18–25	15–23	36–68	25–45
Täysperävaunuyhdistelmä	25–34,5	25–35	64–76	40–51

Raskaan liikenteen osuus Suomen tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöistä on merkittävä, mutta kuitenkin selvästi pienempi kuin henkilöautoliikenteen (Traficom 2024). Raskas liikenne tuottaa noin 30–35 % tieliikenteen päästöistä Suomessa, kun taas henkilöautot vastaavat noin 60–65 % tieliikenteen päästöistä.

2.6 Biometaanin ympäristövaikutukset liikenteessä

Tratzi ym. (2022) mukaan LBG:n elinkaaren ajan tuotetut, eli *well-to-wheel* (WTW) päästöt, ovat yli 10 kertaa alhaisemmat verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. WTW analyysillä voidaan arvioida tietyn tekijän, tässä tapauksessa energianlähteen tehokkuutta ja päästöjä, koko sen elinkaaren ajalta (Edwards ym. 2011). LNG:n eli nesteytetyn maakaasun osalta WTW-analyysi osoittaa, että ilmastovaikutukset hiilidioksidipäästöjen ja ilmastovaikutusten osalta ovat verrattavissa dieseliin tai ovat noin 5–10 % dieseliä suuremmat (Gustafsson & Svensson 2021). Tämä johtuu pääasiassa dieselmoottorin korkeammasta hyötysuhteesta, mikä aiheuttaa suuremman energiantarpeen LNG- ja LBM-skenaarioissa, joissa se on noin 18 % korkeampi kilometriä kohden. Gustafsson & Svensson (2021) mukaan LNG:n käyttö dieselpolttoaineen sijaan raskaissa ajoneuvoissa ei kuitenkaan vähennä WTW-ilmastovaikutuksia, vaan voi päinvastoin lisätä niitä jopa 10 % LNG:n alhaisemman hyötysuhteen vuoksi.

Korvaamalla diesel LBG:llä voidaan merkittävästi vähentää raskaiden kuorma-autojen WTW-päästöjä (Gustafsson & Svensson 2021). Lannasta tuotetulla LBG:llä haitallisia ilmastovaikutuksia voidaan vähentää jopa 100–125 % ja ruokajätteestä tuotetulla LBG:llä 80–105 % verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Yli 100 %:n menevät arvot selittyvät sillä, että esimerkiksi lannasta tuotetun LBG:n tapauksessa estetään metaanipäästöjä, joita normaalisti vapautuisi lantavarastoinnin yhteydessä. Gustafsson & Svensson (2021) mukaan samalla fossiilinen polttoaine jää käyttämättä, jolloin saavutetaan jopa 25 %:n lisähyöty verrattuna perinteisiin polttoaineisiin.

Samaan aikaan myös raskaan liikenteen sähköistyminen on otettava huomioon (Pääkkönen ym. 2019). Biokaasun tavoin sähköinen käyttövoima tulee kasvattamaan merkitystään liikenteessä (Bal ym. 2018). Raskaan liikenteen sähköistymisen kasvu lähivuosina perustuu tekniikan kehitykseen ja sääntelyn muuttumiseen. Esimerkiksi Alankomaiden suurin kuljetusalan järjestö TLN tukee tätä näkemystä ja on ilmoittanut, että vuoteen 2025 mennessä suurimpien kaupunkien logistiikka olisi hoidettava vain nollapäästöisillä ajoneuvoilla (Bal ym. 2018). TLN kuitenkin myös samalla ajaa biodieselin ja biokaasun käytön asteittaista lopettamista vuoteen 2030 mennessä.

Volvon Bi-Fuel eli kaksoispolttoainejärjestelmä mahdollistaa kuorma-auton käytön sekä dieselillä että kaasulla, mikä pidentää niiden toimintamatkaa (Sporer 2011). Volvo arvioi, että nesteytetyn metaaniteknologian ansiosta kuorma-auto voi ajaa kaksinkertaisen matkan

verrattuna paineistetun kaasun käyttöön (Sporer 2011). Nesteytetty kaasuteknologia mahdollistaa pidempien matkojen kuljettamisen maanteillä, sillä ajoneuvoon voidaan varastoida suurempia määriä polttoainetta (Sporer 2011). Yhdistämällä dieselin ja nesteytetyn kaasun Volvon hybridijärjestelmä varmistaa, että kuorma-auton käyttäjät eivät ole täysin riippuvaisia kaasuinfrastruktuurista. Mikäli LBG-jakeluasemaa ei ole saatavilla, kuorma-auto voi silti kulkea dieselillä, mikä tarjoaa joustavuutta ja riippumattomuutta kaasun jakeluverkostosta (Sporer 2011).

2.6.1 Raskaan liikenteen toimintamatkat

Suomessa oli vuoden 2025 alussa 24 LBG jakeluasemaa raskaalle liikenteelle (Kaasuautoilijat ry 2025). Näitä asemia hallinnoivat pääasiassa Gasum, joka on Suomen valtion omistama ja hallinnoima kaasuyhtiö, sekä muutama muu energiayhtiö. Jakeluasemat sijaitsevat usein vilkkaasti liikennöityjen väylien varrella. Kaasukäyttöisissä raskaissa ajoneuvoissa 1 litra dieseliä vastaa noin 1,8 litraa LBG:tä ja LNG:tä tai 5 litraa CNG:tä ja CBG:tä (Maedge 2013). LBG:n korkeampi energiasisältö mahdollistaa huomattavasti pidemmän ajomatkan tankkausten välillä verrattuna CBG-ajoneuvoihin (Jensen ym. 2017).

LNG tai LBG polttoainesäiliön tilavuus on huomattavasti suurempi kuin CNG tai CBG polttoainesäiliöillä (Sinotrukhowo). LNG tai LBG polttoainesäiliön tilavuus on useimmiten 800–1000 litraa. Suurimmillaan kahdella säiliöllä varustettujen ajoneuvojen polttoainesäiliön tilavuus voi olla kuitenkin jopa 3000–5000 litraa. Polttoainesäiliöt sijaitsevat yleensä ajoneuvon rungon molemmilla puolilla ohjaamon takana.

Tyypillisesti LNG:tä tai LBG:tä käyttävän puoliperävaunun toimintamatka tasaisella tiellä voi olla jopa 1 100 km (Volvotrucks 2019). Kahdella polttoainesäiliöllä varustetuilla LNG tai LBG kuorma-autoilla voidaan saavuttaa jopa 1 600 km toimintamatka (Steiner 2018). Tätä vahvistaa myös Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL ry:n raportti, jossa kerrotaan, että esimerkiksi nesteytetyllä kaasulla toimivan puoliperävaunun toimintasäde on suurimmilla kaasusäiliöillä jopa 1 600 km ja pienemmällä säiliöillä taas toimintasäde on parhaimmillaan 1000 kilometriä (SKAL ry 2023).

Markkinoilla on saatavilla myös lyhyen toimintamatkan CNG tai CBG raskaita ajoneuvoja, joiden toimintamatka on noin 400 kilometriä (International Council on Clean Transportation,

2020). Verrattuna kaasuun, dieselajoneuvojen toimintamatka taas voi olla noin 1500–3000 km riippuen ajoneuvon mallista, koosta ja painosta (Cunanan ym. 2021).

Kallionpään ym. (2023) tutkimuksen kyselyssä vastaajat olivat yhtä mieltä siitä, että vaihtoehtoisilla polttoaineilla toimivat raskaat ajoneuvot eli AFFV:t (*alternative fuelled freight vehicle*) sopivat parhaiten yli 200 km kuljetusetäisyyksille. Vastaajien mielestä taas esimerkiksi sähköllä ja CBG:llä toimivat pakettiautot ovat sopivimpia lyhyemmille, noin 50–200 km etäisyyksille (Kallionpää ym. 2023).

Tarnsport & Environment (2018) mukaan nesteytetty kaasuinfrastruktuuri raskasta liikennettä varten tulee rakentaa vuoteen 2025 mennessä vähintään EU:n päätieverkostolle, jotta liikennöinti koko EU:n alueella olisi mahdollista. Vaikka vaatimuksissa onkin joustoa kysynnän ja kustannusten perusteella, ohjeellinen keskimääräinen etäisyys kaasujakeluasemien välillä raskaalle kalustolle on enintään 400 kilometriä.

2.7 Biokaasun käyttö ja lainsäädäntö

2.7.1 Sääntelytoimet ja historia Euroopan Unionissa

EU:n sääntely biokaasun osalta juontaa juurensa vuoteen 1997, jolloin Euroopan neuvosto ja Euroopan parlamentti julkaisivat yhteisen toimintasuunnitelman uusiutuvan energian politiikan lähtökohdaksi (Bumharter 2023). Tuolloin uusiutuvan energian osuus oli vain 6 % EU:n energiankulutuksesta. Tämän jälkeen EU on julkaissut useita direktiivejä, jotka ohjaavat jäsenmaiden energiapolitiikkaa. Vuonna 2007 EU asetti kunnianhimoisempia ilmasto- ja energiatavoitteita, kuten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen 20 %:lla ja uusiutuvan energian osuuden nostamisen 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä (Scarlat ym. 2018). Tavoite oli tarkoitus toteuttaa uusiutuvaa energiaa koskevalla direktiivillä RED, eli *Renewable Energy Directive*. Tämä direktiivi asetti jäsenmaille sitovat ja kansalliset tavoitteet uusiutuvan energian käytölle, mukaan lukien 10 % osuuden liikenteessä.

Samoihin aikoihin myös polttoaineen laadudirektiivi FQD eli *Fuel Quality Directive* asetti tavoitteen vähentää liikenteessä käytettävien polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjä 6 %:lla vuoteen 2020 mennessä. Scarlat ym. (2018) mukaan sekä RED että FQD sisälsivät kestävän kehityksen kriteerit biopolttoaineille sekä niiden varmennusmenettelyt eli sen, että direktiivien täytäntöönpanoa seurattiin (Scarlat ym. 2018). Lisäksi vuonna 2012 sovittiin EU:n

biotalousstrategia korosti merkitystä fossiilisten polttoaineiden korvaamisen merkitystä (Scarlat ym. 2018).

Uusiutuvien polttoaineiden infrastruktuuria koskeva direktiivi astui voimaan vuonna 2014, ja sen tavoitteena oli vähentää liikenteen riippuvuutta fossiilisista polttoaineista sekä minimoida liikenteestä syntyviä ympäristöhaittoja koko EU:n alueella (Winqvist ym. 2021). Direktiivin päällimmäisenä tavoitteena on vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä jopa 90 % vuoteen 2050 mennessä. Direktiivin myötä kansallisten politiikkakehysten tuli sisältää tavoitteita vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden ja niiden jakeluinfrastruktuurin osalta. Tähän sisältyi myös tavoitteet uusista biokaasun jakeluasemista vuoteen 2030 mennessä. Winqvist ym. (2021) mukaan direktiivin tarkoituksena on edistää biokaasun käyttöä liikenteessä sekä tukea EU:n niin kutsuttua "Kestävän ja älykkään liikkuvuuden strategiaa" ja sen tavoitteiden saavuttamista.

Vuonna 2015 Pariisin ilmastosopimus hyväksyttiin 195 maan toimesta ja sen sääntökirja saatiin päätökseen COP24-kokouksessa vuoden 2019 alussa (Bremond ym. 2021). Tämä merkitsi ensimmäisiä konkreettisia askeleita maailmanlaajuisen energiasiirtymän suuntaan. Lisäksi IPCC:n erikoisraportin julkaisun jälkeen Euroopan unioni esitti pitkän aikavälin visionsa ilmastoneutraalista Euroopasta, tavoitteenaan saavuttaa nollapäästöt kasvihuonekaasujen osalta vuoteen 2050 mennessä ja toimia globaalina ilmastojohtajana (Bremond ym. 2021).

Pariisin ilmastosopimuksen mukaisesti EU:n tavoitteena on siirtyä täysin uusiutuvaan energiaan vuoteen 2050 mennessä, mikä vaikuttaa myös kaasun tuotantoon ja käyttöön (Gustafsson & Anderberg 2021). Tämä tavoite on lisännyt kestävien biokaasuratkaisujen kehittämisen ja käyttöönoton tarvetta. Myös YK:n kestävä kehityksen tavoitteet tukevat siirtymistä uusiutuviin energianlähteisiin, joissa biokaasun rooli ja sen infrastruktuurin kehittäminen ovat merkittäviä askeleita näiden tavoitteiden saavuttamisessa (Gustafsson & Anderberg 2021). Pariisin ilmastosopimus vahvistaa entisestään näitä globaaleja ilmastotavoitteita sitouttamalla jäsenmaat ilmaston lämpenemisen rajoittamiseen selvästi alle 2°C, mikä voidaan saavuttaa uusiutuvan energian ja energiatehokkuustoimien avulla (Scarlat ym. 2018).

Vuonna 2015 EU:n toimesta hyväksytty polttoaineiden laatua koskeva direktiivi asetti liikenteen biopolttoaineille 7 % käyttörajoituksen, mikäli ne on tuotettu ruoaksi tai rehuksi

käytettävistä ja soveltuvista kasveista (Scarlat ym. 2018). Direktiivi siis kannusti jätteistä tuotettujen biopolttoaineiden käyttöä.

Vuonna 2016 tarkastetussa ja päivitetystä uusiutuvan energian direktiivissä esitettiin uudestaan biopolttoaineiden käytön rajoittamista 3,8 % vuoteen 2030 mennessä, mikäli biopolttoaineet on valmistettu ruoaksi tai rehuksi käytettävistä kasveista. Tällöin Euroopan parlamentti harkitsi myös EU uusiutuvan energian tavoitteen nostamista 35 % vuoteen 2030 mennessä (Scarlat ym. 2018). Vuoden 2030 EU ilmasto- ja energiapaketissa EU:n alueella tavoitellaan 40 % vähennystä kasviuonekaasupäästöissä, vähintään 27 % uusiutuvan energian osuutta ja myös 27 % energiansäästöjä.

Maaliskuussa 2018 EU:n toimesta hyväksyttiin biometaaniasetus, jonka tavoitteena on tukea biometaanin ja edistyneiden biopolttoaineiden kehittämistä liikennesektorilla (Bremond ym. 2021). Tämä asetus liittyy 4,7 miljardin euron rahastoon, jonka rahoittavat liikenteen polttoainetoimittajat, joiden pitää pystyä täyttämään kasvavat biopolttoaineiden sekoittamisvelvoitteet. Biopolttoaineiden sekoitusvelvoite eli kiintiöjärjestelmä määrittää vähimmäisosuuden, joka biopolttoaineiden on katettava, kun niitä sekoitetaan perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin (Soquet-Boissy & Vion Saint-Supéry 2023). Tämän veloitteen mukaisesti vuonna 2023 EU:ssa bensiinissä biopolttoaineiden osuuden piti olla vähintään 3,4 % ja dieselissä 6,3 %.

Polttoainetoimittajien on myös varmistettava, että uusiutuvien polttoaineiden osuus kaikista polttoaineista täyttää tietyt prosenttiosuudet polttoaineiden kokonaiskulutuksesta. (Soquet-Boissy & Vion Saint-Supéry, 2023). Vuosina 2022–2023 osuuden tuli olla 13,5 %, vuonna 2024 se nousi 28 %:in ja vuosina 2025–2026 tavoite on 29 %. Näitä tavoitteita ei siis enää määritetä pelkästään polttoaineen energiasisällön mukaan, vaan koko polttoainevalikoiman kokonaisprosentteina. Uusiutuvien polttoaineiden tavoiteosuus lasketaan siis sen mukaan, kuinka suuren osan ne muodostavat kaikesta käytetystä polttoaineesta, eli ei vain tietyn polttoaineen sisältämän energimäärän mukaan (Soquet-Boissy & Vion Saint-Supéry, 2023).

Kesäkuussa 2018 EU:ssa saavutettiin sopimus uudesta uusiutuvan energian direktiivistä, joka asetti sitovan EU-laajuisen tavoitteen (European Biogas Association 2018). Tämän mukaan uusiutuvan energian osuuden tulee olla 32 % vuoteen 2030 mennessä. Liikennesektorin osalta tavoitteena on, että uusiutuvien energialähteiden osuus olisi 14 % vuoteen 2030 mennessä, sisältäen kaikki biopolttoaineet (European Biogas Association 2018). Direktiivi edistää muun muassa biokaasun pääsyä jo olemassa olevaan maakaasuverkkoon, ja tehostaa kaupankäyntiä

biokaasualalla. Direktiivin tavoitteiden saavuttaminen olisi merkittävä askel kohti uusiutuvan kaasun laajamittaista käyttöönottoa seuraavan vuosikymmenen aikana. EU:n ”energian tiekartta 2050” esitti reittejä näiden saavuttamiseksi (Scarlat ym. 2018). Tällä EU pyrkii vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä jopa 80–95 % vuoteen 2050 mennessä, jolloin uusiutuvan energian osuus kulutuksesta olisi 55–75 %. Vuosina 2018–2022 EU:ssa oli myös käytettävissä erityinen rahasto, joka oli tarkoitettu biometaanisektorin kehittämiseen, mukaan lukien tuotantolaitokset ja infrastruktuuri, kuten jakeluasemat (Bremond ym. 2021).

Vaikka EU:n jäsenmailla ei ole yhtenäistä biokaasupolitiikkaa, biokaasuratkaisuihin vaikuttavat epäsuorasti monet eri EU:n säädökset ja päätökset (Gustafsson & Anderberg 2021). EU voi esimerkiksi asettaa yhteisiä vähimmäisvaatimuksia jäsenvaltioille noudatettaviksi direktiivien muodossa, mikäli enemmistö EU:n parlamentista hyväksyy ne. Gustafsson & Anderberg (2021) toteavat, että kansallisella tasolla fossiilisten polttoaineiden verotus, kaasukäyttöisten ajoneuvojen tuki sekä polttoaineiden sekoite- ja jakeluelvoitteet vaikuttavat eniten biokaasun käyttöön. Valtioiden alueellisilla ja paikallisilla tasoilla taas eniten biokaasun käyttöön vaikuttavat investoinnit ja tavoitteet irtaantua fossiilisista polttoaineista. Myös Gustafsson & Anderbergin (2021) mukaan alueelliset ja paikalliset tasot ovat keskeisessä asemassa toimenpiteiden toteuttamisessa, sillä biokaasun tuotanto perustuu yleensä paikallisiin resursseihin, kuten maatalousjätteeseen, jätevesilietteeseen tai orgaaniseen kotitalousjätteeseen.

Lainsäädäntö asettaa biokaasun tuotannolle kestävyuden kynnsarvot (European Biogas Association 2018). Tämä tarkoittaa, että tuotannon tulee täyttää tietyt vähimmäisvaatimukset, jotta se on kestävä ja ympäristöystävällistä. Biokaasun käytön tulee siis vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 65–80 % verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Biokaasun käyttöä kuitenkin rajoittavat teknologiset ja taloudelliset haasteet (Euroopan parlamentti 2023). EU:n parlamentissa 2023 päätetty polttomoottoriautojen kieltö vuoteen 2035 mennessä perustuu hiilidioksidipäästöihin, jossa ei oteta huomioon päästöjen alkuperää tai lähdettä. Tämän seurauksena henkilöautovalmistajat ovat luopuneet kaasuautojen kehittämisestä ja tuotannosta (Autoalan tiedotuskeskus 2025). Kiellon seurauksena kaasuautojen markkinoista tuli epävarmoja, ja lainsäädäntö muuttui hankalasti ennustettavaksi. EU:n parlamentti ja EU-maat saavuttivat sopimuksen sääntöjen lopullisesta muodosta lokakuussa 2022, ja lainsäädäntö astui voimaan huhtikuussa 2023 (Euroopan parlamentti 2023).

Eri maissa biokaasun käyttöön liittyvät strategiat vaihtelevat merkittävästi. Monissa maissa biokaasua käytetään ensisijaisesti sähkön ja lämmön tuottamiseen (Gustafsson & Anderberg 2022). Kuitenkin Ruotsissa, Norjassa ja Suomessa yhä suurempi osa biokaasusta jalostetaan liikennesektorille, mikä nähdään lupaavana kehityksenä myös muissa maissa. Italiassa ja Saksalla on kattavat maakaasun jakeluverkostot, joten infrastruktuuria on jo olemassa biokaasun laajemmalle käytölle liikenteessä. Ongelmiakin on ilmennyt, sillä esimerkiksi joillakin Länsi-Saksan alueilla on havaittu nurmialueiden muuttuvan maatalousmaaksi biokaasun syötteen tuotannon vuoksi (Thrän ym. 2020). Biokaasun tuotannon laajentamisesta johtuvia epäsuoria maankäytön muutoksia ei kuitenkaan ole raportoitu laajasti kirjallisuudessa, mikä tekee lainsäädännön avulla tapahtuvan epäsuorien vaikutusten tunnistamisen ja estämisen haastavaksi.

Esimerkkejä EU tasolla LNG-hankkeista on EU:n rahoittama LNG Blue Corridor -hanke ja BIOLNG4EU -hanke (Steiner 2018). LNG Blue Corridor -hanke vuosina 2013–2017 kuului "European Green Vehicles Initiative" -ohjelmaan. Hankkeen tavoitteena oli tehdä LNG:stä todellinen vaihtoehto raskaille ajoneuvoille keskipitkillä ja pitkillä kuljetuksilla. Tavoitteen saavuttamiseksi hankkeessa määriteltiin tieverkosto, joka yhdistää Etelä-Euroopan Välimeren alueen Pohjois- ja Länsi-Eurooppaan. Steiner (2018) mukaan LNG-infrastruktuurin kehittämisen tulisi kattaa suurimpien liikennevirtojen sijainnit, jotta verkoston hyödyt saavutettaisiin. Jäsenvaltioiden tulisi huolehtia siitä, että raskaiden ajoneuvojen LNG-jakeluasemia olisi ydinreiteillä saatavilla käyttäjille, ja jakeluasemien välimatkan tulisi olla enintään 400 kilometriä.

BIOLNG4EU -hanke taas oli EU:n Innovaatio- ja verkostojen toimeenpanoviraston rahoittama hanke vuosina 2012–2014 (Steiner 2018). Sen tavoitteena oli edistää Euroopan tieliikenteen siirtymää uusiutuviin polttoaineisiin ottamalla käyttöön LBG:n ja hyödyntämällä sitä LNG-infrastruktuurissa. Hankkeen tarkoituksena oli perustaa ja käyttää kahta bio-muunnosasemaa, jotka muuttavat CBG:n LBG:ksi, sekä neljää jakeluasemaa. Tämä hanke oli osa suurempaa EU suunnitelmaa, jonka mukaan Pohjois-Eurooppaan perustetaan asteittain yhteensä 50 LNG- ja LBG-muunnosasemaa lähelle jakelukeskuksia tai valtateitä (Steiner 2018).

2.7.2 Sääntelytoimet ja historia Suomessa

Biokaasun käyttö liikenteessä aloitettiin Suomessa jo 1940-luvulla, kun Helsingin Kyläsaaren jätevedenpuhdistamo aloitti biokaasun tuotannon ensimmäisenä laitoksena vuonna 1941 (Lampinen 2012). Pian tämän jälkeen myös Rajasaaren jätevedenpuhdistamo Helsingissä aloitti biokaasun tuotannon vuonna 1943. Suomi oli tuolloin kolmas maa maailmassa Saksan ja Ruotsin jälkeen, joka hyödynsi biokaasua liikenteessä. Näissä varhaisissa biokaasulaitoksissa tuotettua ja paineistettua kaasua käytettiin Helsingin kaupungin ajoneuvoissa aina vuoteen 1946 asti (Lampinen 2012). Vuonna 2002 avattiin ensimmäinen kaupallinen biokaasun jakeluasema Laukaaseen, mikä oli merkittävä askel biokaasun kaupallistamisessa Suomessa (Yle 2021). Laukaan jakeluasema pysyi ainoana kaupallisena jalostamona yhdeksän vuoden ajan, kunnes vuonna 2011 käynnistyi Kymen Bioenergia Oy:n biokaasulaitoksen tuottaman kaasun jalostus Kouvolan Veden jätevedenpuhdistamolla (Huttunen & Kuittinen 2013). Tämä laitos oli Suomen ensimmäinen kunnallinen biokaasujalostamo.

Suomessa henkilöautoliikenteessä biokaasun käyttö lisääntyi merkittävästi vuonna 2017, kun Gasum aloitti biokaasuliiketoiminnan vuonna 2016. Samalla alkoi myös liikennekaasun jakeluasemaverkoston kehitys toden teolla (Winqvist ym. 2018). Suomalainen biokaasun tuotanto on vahvasti riippuvainen taloudellisesta tuesta (Winqvist ym. 2019). Tukimuotoja ovat esimerkiksi investointituet sekä verovapaus liikennekäyttöön tuotetulla biokaasulla. Näistä tuista päättävät työ- ja elinkeinoministeriö, maa- ja metsätalousministeriö sekä liikenne- ja viestintäministeriö.

Biometaanin tuotantoa liikennepolttoaineeksi on tuettu Suomessa verovapaudella, mutta maatilalla tuotetun polttoaineen myynnille uhkana on ollut valmisteveron periminen (Winqvist ym. 2018). Pelkona oli, että tämä vero tekisi maatilalla tuotetusta biokaasusta liian kallista kaasuajoneuvojen käyttäjille. Vuoden 2022 alussa tämä pelko kävikin toteen, kun biopolttoaineet sisällytettiin jakeluvelvoitteen piiriin ja verovapaus poistui (Työ- ja Elinkeinoministeriö 2021). Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n (2024) mukaan tämä muutos kuitenkin todennäköisesti laajentaa biokaasun jakeluverkostoa ja tekee biokaasusta lopulta houkuttelevamman vaihtoehdon autoilijoille ja kuljetusyriyksille fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.

Kuitenkin infrastruktuurin puute etenkin pohjoisemmassa Suomessa vaikeuttaa biokaasukäyttöisten ajoneuvojen markkinoille pääsyä merkittävästi (Pääkkönen ym. 2019 &

Uusitalo ym. 2015). Erityisesti tämä koskettaa raskasta liikennettä, joka hyödyntää LNG- ja LBG-infrastruktuuria. Suomessa Gasum aloitti vuonna 2018 suunnittelun merkittävästä raskaiden ajoneuvojen jakeluasemainfrastruktuurin laajentamisesta (Pääkkönen ym. 2019).

Mikäli Suomi hyödyntäisi täysimääräisesti biometaanin tuotantopotentiaaliaan, voitaisiin biokaasulla kattaa jopa 41 % henkilöautoliikenteen polttoaineiden tarpeet (Uusitalo ym. 2015). Suomi voisi siis tuottaa lähes puolet henkilöautojen tarvitseman polttoaineen kotimaisella tuotannolla, mikäli kaikki mahdollinen biokaasun tuotanto- ja jalostuskapasiteetti otettaisiin liikenteen käyttöön. Uusitalo ym. (2015) mukaan Suomi voisi myös saavuttaa 60 000 kaasukäyttöisen auton määrän vuoteen 2020 mennessä, mikä vastasi vain 5–6 % Suomen henkilöautokannasta vuonna 2015.

Vakaa ja ennakoitava politiikka on kriittinen alan kehitykselle (Gustafsson & Anderberg 2021). Jätehuoltoon, maatalouteen ja ympäristönsuojeluun liittyvä politiikka voi muuttua nopeasti ja aiheuttaa epävarmuutta investoinneille. Erityisesti kestävyyskriteerien noudattaminen huolestuttaa niitä yrittäjiä, jotka tuottavat biokaasua nurmella (Winqvist ym. 2019). Kriteerit varmistavat päästövähennykset ja luonnon monimuotoisuuden suojelun (Maa- ja metsätalousministeriö). Winqvist (2019) mukaan nurmella tuotetun biokaasu voitaisiin kuitenkin jopa kymmenkertaistaa ilman haittaa ruoantuotannolle.

3 Aineistot ja menetelmät

3.1 Tutkimuksen yleinen kulku

Tutkimukseni tavoitteena on selvittää, kuinka hyvin Suomen nykyinen biokaasun jakeluasemaverkosto palvelee raskaan liikenteen tarpeita, ja mihin uusia jakeluasemia kannattaisi sijoittaa. Pyrin saamaan vastaukset tavoitteisiini kolmen tutkimuskysymyksen perusteella (taulukko 3).

Taulukko 3. Aineistot ja menetelmät yhdistettyinä tutkimuskysymyksiin.

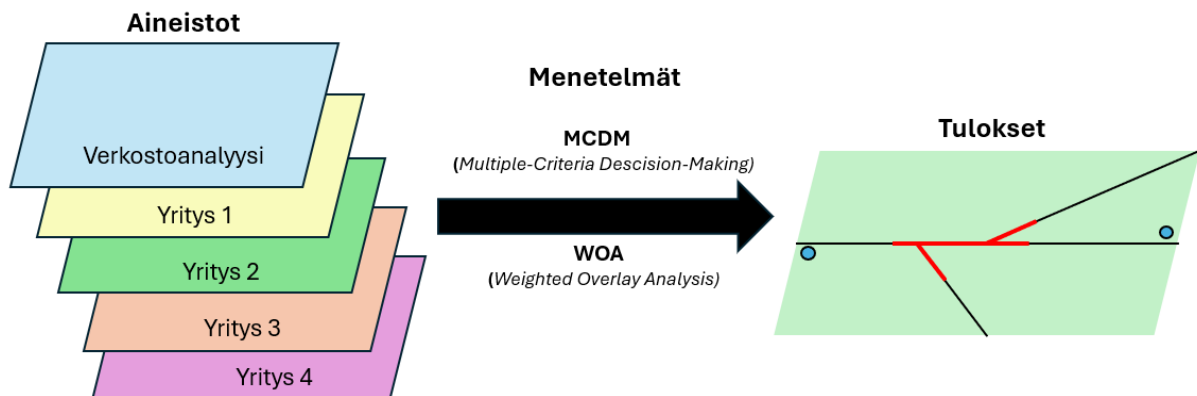
	Aineistot	Menetelmät
1. Tutkimuskysymys: Kuinka kattava nykyinen kaasujakeluasemaverkosto on raskaalle liikenteelle Suomessa ja miten se vastaa raskaan liikenteen tarpeisiin?	<ul style="list-style-type: none"> - Väyläviraston päällystettyjen teiden liikennemäärät - Digiroadin Suomen tie- ja katuverkon kattava tietojärjestelmä - Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n biokaasulaitokset kartalla - Kaasuautoilijat ry:n kaasun jakeluasemat kartalla - Haastattelujen vastaukset kysymyksiin 7B, 11B & 12B 	- Verkostoanalyysi
2. Tutkimuskysymys: Miten poliittiset, taloudelliset ja ympäristölliset tekijät vaikuttavat yritysten päätöksiin siirtyä biokaasun käyttöön raskaassa liikenteessä?	<ul style="list-style-type: none"> - Yritysten haastattelut 	- Aineistolähtöinen sisällönanalyysi
3. Tutkimuskysymys: Minne kannattaisi sijoittaa uusia biokaasun jakeluasemia raskaalle liikenteelle paikkatietoanalyysien ja yritysten näkökulmien pohjalta?	<ul style="list-style-type: none"> - Väyläviraston päällystettyjen teiden liikennemäärät - Digiroadin Suomen tie- ja katuverkon kattava tietojärjestelmä - Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n biokaasulaitokset kartalla - Kaasuautoilijat ry:n kaasun jakeluasemat kartalla - Yritysten haastattelut 	<ul style="list-style-type: none"> - Verkostoanalyysi - Puskurianalyysi - Painotettu päällekkäisanalyysi eli WOA (Weighted overlay analysis) - Useamman arviointiperusteen päätöksentekomenetelmä eli MCDM (Multiple-Criteria Decision-Making)

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä tutkin kaasun jakeluverkoston nykyistä kattavuutta Suomessa. Tarkastelun kohteena on erityisesti se, kuinka hyvin jakeluverkosto kattaa ne tieosuudet, joilla raskaan liikenteen määrät ovat suurimpia. Aineistona käytän Väyläviraston päällystettyjen teiden liikennemäärätietoja, Digiroadin Suomen tie- ja katuverkon kattava

tietojärjestelmää, sekä biokaasun tuotantolaitosten ja jakeluasemien sijaintitietoja. Menetelmänä hyödynnän verkostanalyysiä, jonka avulla tarkastelen jakeluasemien saavutettavuutta suhteessa ajoneuvojen liikennemääriin. Lisäksi käytin haastatteluiden vastauksia kysymyksiin 7B, 11B ja 12B (Liite 1).

Toisessa tutkimuskysymyksessä keskityn yritysten näkemyksiin ja kokemuksiin biokaasun käytöstä. Miten erilaiset tekijät, kuten poliittiset, taloudelliset ja ympäristölliset, vaikuttavat yritysten päätöksiin siirtyä biokaasun käyttöön raskaassa liikenteessä ja kuinka suurta painoarvoa eri tekijöille annetaan. Aineistona käytän yrityshaastatteluja ja analyysimenetelmänä käytän aineistolähtöistä sisällönanalyysiä. Tämä osio tuo tutkimukseen käytännön ja todenmukaisemman näkökulman yritysten kannalta.

Kolmannen tutkimuskysymyksen avulla yhdistän paikkatietoanalyseistä saamani tiedot yritysten esiin nostamiin tekijöihin. Tavoitteenani on tunnistaa ne sijainnit, joihin uusien biokaasun jakeluasemien perustaminen olisi perusteltua sekä ajoneuvojen liikennemäärien että yritysten tarpeiden näkökulmasta (kuva 4). Menetelmänä käytän monikriteeristä päätöksentekomenetelmää eli MCDM:ää (*Multiple-Criteria Decision-Making*), painotettua päällekkäisanalyysiä eli WOA:ta (*Weighted Overlay Analysis*), verkostonanalyysiä ja puskurianalyysiä. Analyyseissä määritän oleelliset kriteerit eli tekijät yritysten toiminnan kannalta, ja visualisoin näiden kriteerien painotukset eri tieosuuksille kartalla.



Kuva 4. Tuloksissa näkyvät punaisina viivoina ne tiestöt, joiden lähelle tai varrelle uusien biokaasun jakeluasemien perustaminen olisi analyysieni jälkeen perusteltua ajoneuvojen liikennemäärien ja yritysten tarpeiden näkökulmasta. Nämä tiestöt saadaan, kun yhdistetään verkostoanalyysissä väyläviraston raskaiden ajoneuvojen keskimääräiset liikennemäärät tieosuuksilla ja aineistolähtöisessä sisällönanalyysissä yritysten painottamat tekijät. Sinisinä pisteinä taas näkyvät jo olemassa olevat jakeluasemat.

3.2 Jakeluverkoston kattavuuden arviointi (Tutkimuskysymys 1)

3.2.1 Paikkatietoaineistot

Tutkimusalueenani on koko Suomi. Alle olen koonnut yhteen tutkimuksessani käyttämäni paikkatietoaineistot ja niiden lähteet (taulukko 4).

Taulukko 4. Tutkimuksessa hyödynnetyt aineistot ja niissä käyttämäni osiot.

Aineiston nimi	Tyyppi	Vuosi	Lähde	Käytetyt osiot
Digiroad	WFS, vektori	2023-	Vaylapilven avoindata ¹ 19.3.2025	Tie- ja katuverkko
Väylävirasto	WFS, vektori	2024-	Vaylapilven avoindata ² 19.3.2025	Tiestötiedot, liikennemäärät: kvl_raskas, kvl_yhdistelmä ja kvl_hct
Jakeluasemat	KML, vektori	2022-	Kaasuautoilijat ry ³ 19.3.2025	Jakeluasemat
Biokaasulaitokset	KML, vektori	2024-	Suomen Biokierto ja Biokaasu ry ⁴ 19.3.2025	Yhteiskäsittelylaitokset yli 30 000 t/v, Yhteiskäsittelylaitokset alle 30 000 t/v, Lietemädättämöt, Maatilakohtaiset biokaasulaitokset ja Teollisuuden biokaasulaitokset

¹< <https://avoinapi.vaylapilvi.fi/vaylatiedot/digiroad/ows?service=wfs&request=getCapabilities>>

²< <https://avoinapi.vaylapilvi.fi/vaylatiedot/ows?service=wfs&request=getCapabilities>>

³< https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1pbnHU_8pwXMh1LWkglmwAyepBYs&shorturl=1&ll=60.435591894292514%2C23.079595345279632&z=13>

⁴< <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ZHpWSB6Av2QQlZSGySCriDCW7piuXnBM&femb=1&ll=6.2.11264920843815%2C29.56883932992402&z=9>>

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessäni käytin Väyläviraston aineistoja. Väylävirasto ylläpitää Digiroad-järjestelmää, joka on Suomen tie- ja katuverkon kattava tietojärjestelmä (Digiroad 2025). Digiroad-aineisto on peräisin Väyläviraston väyläpilven avoindatasta ja käytin sitä verkostanalyysissäni (Väylävirasto 2025). Digiroad-aineisto on ladattavissa Shapefile- ja GeoPackage-muodoissa Väyläviraston aineistojen välitysalustalta WMS- ja WFS-rajapintojen kautta (Väylävirasto 2025).

Väyläviraston aineistossa on esitetty koko Suomen päällystettyjen teiden liikennemäärät (Väylävirasto 2025). Aineisto päivittyy kerran vuodessa, jolloin osa tieverkon liikennetiedoista korvataan uusilla. Aineistossa saattaa olla myös tieosuuksia, joilta ei ole kerätty tietoa kyseisenä vuonna. Väyläviraston liikennemäärät arvioidaan ja tarkistetaan

kuukausittain vertaamalla tarkasteltavan kuukauden liikennettä edellisen vuoden vastaavaan kuukauteen (Väylävirasto 2025). Väyläviraston laskelmissa ei käytetä suoraan kuukauden yhteenlaskettua liikennemäärää, vaan keskimääräistä vuorokauden liikennemäärää. Tämä saadaan, kun lasketaan kuukauden jokaisen viikonpäivän liikennemäärän keskiarvo.

Fintraffic tarjoaa tiedot väyläviraston liikennemäärätietoihin (Fintraffic). Fintraffic on liikenteenohjauksen keskusyksikkö ja se toimii liikenne- ja viestintäministeriön alaisuudessa. Fintraffic kehittää ja tarjoaa palveluita liikenteen hallintaan sekä ohjaukseen. Lisäksi Fintraffic vastaa liikenteen kehityksen seurannasta ja raportoinnista. Liikennemäärät edelliseltä päivältä päivittyvät järjestelmään keskimäärin kerran vuorokaudessa (Fintraffic).

Tieliikenteen liikennemäärätiedot tuotetaan liikenteen automaattisten mittauspisteiden (LAM) avulla, joita on Suomessa noin 500 (Fintraffic). LAM-järjestelmä mittaa liikennettä automaattisesti, ja sen avulla julkaistaan esimerkiksi myös tieliikenteen kehitystä pääteillä käsitteleviä raportteja. LAM-pisteiden toiminta perustuu tien päällysteeseen upotettujen silmukoiden sähkömagneettiseen induktioon, joka rekisteröi ajoneuvot niiden ylittäessä mittauspisteen (Fintraffic). Jokaisesta ajoneuvosta tallennetaan tietoja, kuten nopeus, ajoneuvon pituus, ajosuunta, ja ajoneuvoluokka.

Väyläviraston aineisto sisältää liikennemäärätiedot vuodesta 2012 eteenpäin ja esittää ajoneuvojen keskimääräisen päivittäisen lukumäärän tieosuuksittain (Väylävirasto 2025). Vuodesta 2020 alkaen Väyläviraston liikennemäärätiedoissa ovat mukana myös ajoneuvoyhdistelmien liikennemäärät ja vuodesta 2022 lähtien on saatavilla tietoa myös HCT-yhdistelmien liikennemääräistä. HCT tulee sanoista *High Capacity Transport* ja sillä tarkoitetaan tieliikenteen pisimpiä ja raskaimpia ajoneuvoyhdistelmiä (Traficom 2024).

Väyläviraston aineistossa liikennemäärät on ilmoitettu keskimääräisenä vuorokausiliikenteenä (KVL). Keskimääräinen vuorokausiliikenne raskailla ajoneuvoilla on KVL_raskas, yhdistelmäajoneuvoilla se on KVL_yhdistelmä ja täysperävaunuyhdistelmillä se on KVL_HCT. Työni kannalta merkittävä parannus aineistossa tapahtui, kun vuonna 2022 siihen lisättiin uusia attribuutteja, kuten keskimääräiset liikennemäärät eriteltynä erikseen raskaalle liikenteelle, ajoneuvoyhdistelmille ja HCT-yhdistelmille (Väylävirasto 2025).

Valitsemani tieosuudet perustuvat eri ajoneuvoluokkien keskimääräisiin ajomääriin tieosuuksittain, eli laskin kaikille kolmelle ajoneuvoluokalle niiden keskimääräiset ajomäärät. Raskaiden ajoneuvojen keskiarvo oli 134, yhdistelmillä 63 ja HCT-ajoneuvoilla 72 ajoneuvoa

vuorokaudessa. Näiden keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuuksien lukumäärä on noin 3,7 % kaikista teistä ja teiden kokonaispituus on noin 5,3 % kaikista tieosuuksista (kuva 5). Koko tieverkon aineistossa tieosuudet ovat kuitenkin keskimääräisesti lyhyempiä, kuin keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuuksilla.

Taulukko 5. Geometria-attribuutit käyttämilleni Väyläviraston liikennemäärien tieosuuksille.

	Kaikki tieosuudet	Valitut tieosuudet
Lkm.	18 278	675
Summa km	81 161	4 262
Min km	0,1	0,7
Max km	103	103
Keskiarvo km	44	63

Jakeluasema-aineisto on peräisin Kaasuautoilijat ry:ltä, joka ylläpitää ajantasaisesti päivittyvää karttapalvelua biokaasun ja maakaasun jakeluasemista Suomessa (Kaasuautoilijat ry 2025). Hyödynnän työssäni jakeluasemia, joilta on saatavilla sekä paineistettua (CBG) että nesteytettyä (LBG) biokaasua. Jakeluasema-aineisto kattaa koko Suomen. Etenkin jakeluasemilla, jotka ovat strategisesti tärkeissä liikenteen solmukohtissa, on saatavilla yleensä saatavilla sekä CBG:tä että LBG:tä. Tällä hetkellä CBG:tä ja LBG:tä on saatavilla 19:llä samalta jakeluasemalta.

Biokaasulaitoksia koskeva aineisto on kerätty Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n kokoamasta valtakunnallisesta kartoituksesta. Aineisto kattaa monipuolisesti eri tyyppisiä laitoksia, jotka tuottavat biokaasua joko energiantuotantoon tai jalostavat sen liikennekäyttöön soveltuvaksi biometaaniksi. Aineisto sisältää erilaisia laitostyyppisiä käyttötarkoituksen mukaan. Yhteiskäsittelylaitokset käsittelevät biojätettä ja lietettä. Lietemädättämöt hyödyntävät erityisesti yhdyskuntien jätevesilietettä. Maatilakohtaiset biokaasulaitokset perustuvat pääosin lannan ja peltobiomassan käsittelyyn. Teollisuuden biokaasulaitokset taas hyödyntävät esimerkiksi elintarvike- ja metsäteollisuuden sivuvirtoja.

3.2.2 Verkostoanalyysi

Verkostoanalyysi (*network analysis*) on paikkatieto-ohjelmissa käytettävä analyysimenetelmä, jossa liikkumista voidaan mallintaa todellisia reittejä, kuten tieverkkoa, pitkin (taulukko 6). Se mahdollistaa liikkumiseen, saavutettavuuteen ja sijaintiin liittyvät analyysit (Kuby ym. 2009).

Verkostoanalyysi eroaa puskurianalyysistä (*buffer analysis*), jotka perustuvat linnuntietä suoraan mitattuihin etäisyyksiin. Verkostoanalyysi ei siis ole yksi yksittäinen työkalu, vaan menetelmäkokonaisuus, joka sisältää erilaisia analyysityökaluja eri käyttötarkoituksiin (Kurtin 2018). Verkostoanalyysin vahvuus on sen soveltuvuus esimerkiksi juuri liikenteeseen liittyviin tarkasteluihin. Arvioin työssäni verkostoanalyysin avulla muun muassa sitä, kuinka hyvin jakeluasemat ovat saavutettavissa ajoneuvoilla, kuinka laajalle jakeluaseman vaikutus ulottuu tieverkkoa pitkin tai missä uuden jakeluaseman olisi parasta sijaita mahdollisimman suuren hyödyn kannalta.

Taulukko 6. Tutkimuskysymyksen 1 analyysien menetelmät ja työkalut kuvattuina.

Menetelmä / työkalu	Selite	Käyttötarkoitus työssäni
Verkostoanalyysi	Paikkatietomenetelmä, jossa mallinnetaan liikkumista tieverkkoa pitkin ja arvioidaan saavutettavuutta ja sijaintia.	Käytin menetelmää jakeluasemien ja tuotantolaitosten saavutettavuuden arvioimiseen sekä mahdollisten uusien sijaintien tarkasteluun raskaan liikenteen kannalta.
Palvelualueanalyysi	Verkostoanalyysin työkalu, joka määrittää saavutettavuusalueen annetun matkan tai ajan perusteella.	Käytin menetelmää tieosuuksien saavutettavuuden tarkastelemiseen nykyisiltä jakeluasemilta ja tuotantolaitoksilta sekä katvealueiden paikantamiseen määriteltyjen etäisyyksien perusteella.
Lähimmän naapurin - laajennus (NNJoin)	Paikkatietotyökalu, joka yhdistää pisteet lähimpään verkon kohtaan.	Käytin työkalua jakeluasemien ja tuotantolaitosten liittämiseen tieverkkoon analysoidessani niitä verkostoanalyysin avulla.
Etäisyysmatriisi	Paikkatietotyökalu, joka laskee etäisyyksiä verkkoa pitkin kahden pistejoukon välillä.	Käytin työkalua selvittämään tarkat etäisyydet jakeluasemien, tuotantolaitosten ja tieosuuksien välillä.
Poistotoiminto	Paikkatietotyökalu, joka poistaa kahden karttatason päällekkäiset alueet.	Käytin työkalua poistaakseni Väyläviraston karttatasot Digiroadin karttatasoista.

Liitin jakeluasemat ja biokaasulaitokset tieverkkoon QGIS-paikkatieto-ohjelman lähimmän naapurin, NNJoin (*Nearest Neighbour Join*), -laajennuksen avulla. Tämä mahdollisti laitosten ja jakeluasemien pisteiden yhdistämisen lähimmän Väyläviraston päällystetyn tieverkon kohtaan, vaikka jakeluasemat ja laitokset eivät sijainneetkaan suoraan Väyläviraston tieverkkoaineiston päällä.

Palvelualueanalyysi (*service area analysis*) on verkostanalyysin työkalu, jolla määritetään, miltä alueilta on mahdollista päästä tiettyyn kohteeseen tai lähteä siitä liikkeelle tietyn ajomatkan tai etäisyyden rajoissa (Supermap). Käytännössä se tuottaa alueen, jonka sisällä jokin paikka, kuten tankkausasema, on saavutettavissa tietyn matkan tai ajan puitteissa pitkin tieverkkoa. Tämän avulla voidaan osoittaa, että miltä tieosuuksilta tietyt jakeluasemat ovat saavutettavissa annetun etäisyysrajan puitteissa. Esimerkiksi 150 kilometrin etäisyyden perusteella voidaan tarkastella, mihin saakka jakeluasemalta pääsee ajamaan pitkin tieverkkoa, eli missä sijaitsevat ne tieosuudet, jotka ovat saavutettavissa enintään 150 kilometrin ajomatkan päässä asemalta. Tämä auttaa tunnistamaan saavutettavat alueet raskaan liikenteen kannalta.

Hyödynsin palvelualueanalyysiä jakeluasemien saavutettavuuden sekä jakeluasemaverkoston katvealueiden arvioinnissa ja näin ollen uusien jakeluasemien sijaintipäätösten määrittämiseen. Katvealueilla tarkoitetaan alueita, jotka jäävät service area -alueen ulkopuolelle ja joiden etäisyys jakeluasemalle ylittää esimerkiksi 150 kilometriä tieverkkoa pitkin mitattuna. Näin voidaan havaita tietyt vilkkaat liikenneväylät, joilla kulkee raskasta liikennettä, mutta jotka jäävät palvelualueen ulkopuolelle, ja näin ollen syntyy tarvetta perustaa alueelle uusia jakeluasemia.

Tämän jälkeen käytin QGIS:n etäisyysmatriisi (*Distance Matrix*) -työkalua palvelualueanalyysin apuna selvittääkseni, että kuinka kaukana jokainen tieosuus sijaitsee esimerkiksi jakeluasemista. Analyysi laskee tarkan etäisyyden tai matka-ajan kahden pistejoukon välillä tieverkkoa pitkin (Qgis). Työkalu tuottaa visuaalisen tieverkon lisäksi taulukkomuotoisen tuloksen, joka esittää etäisyyden tai matka-ajan valituista lähtöpisteistä tiettyihin määränpäihin. Tämä mahdollistaa esimerkiksi yrityksen ja tieosuuksien, tai tuotantolaitoksen ja jakeluaseman välisten etäisyyksien laskemisen tarkasti. Etäisyysmatriisin luominen edellyttää sen, että tieverkko on muutettu pistemäiseen muotoon, jotta se voi laskea etäisyyden tieverkkoa pitkin haluttujen pisteiden välillä. Nämä tieverkon pisteet etäisyysmatriisissa toimivat vastaanottopisteinä, jolloin pystyin laskemaan tarkasti verkostopohjaisia etäisyyksiä tuotantolaitoksista ja jakeluasemista.

Käytin seuraavaksi ArcGIS-paikkatieto-ohjelman *Erase*-työkalua eli poistotoimintoa. Tässä vaiheessa Digiroad-aineisto toimi peitetasona, sillä analyysi ei toiminut halutusti silloin, kun peitetasona käytettiin Väyläviraston aineistoa. Poistin siis Väyläviraston liikennemäärätasosta kaikki ne tieosuudet, jotka sisältyivät Digiroad-tasoon. Toistin tämän saman prosessin

jokaiselle jakeluasemien ja tuotantolaitosten pisteille sekä jokaisella etäisyydellä erikseen. Näin jäljelle jäivät ainoastaan ne Väyläviraston tieosuudet, jotka sijaitsivat valitun palvelualue-etäisyyden ulkopuolella, jolloin sain näkyviin myös kyseisten tieosuuksien liikennemäärät.

3.2.3 Tieverkkoon perustuvat etäisyys- ja saavutettavuusanalyysit

Selvitin etäisyydet jakeluasemien ja raskaan liikenteen tiestön välillä etäisyysmatriisin avulla. Nesteytetyn biokaasun (LBG) asemien etäisyydet vaihtelivat 22 ja 1564 metrin välillä, keskiarvon ollessa 321 metriä. Paineistetun biokaasun (CBG) asemilla vastaavat arvot olivat 5–1597 metriä, keskiarvolla 280 metriä. Etäisyydet ovat yleisesti ottaen lyhyitä, mikä tarkoittaa, että raskaan liikenteen ei tarvitse poiketa kauas päällystetyiltä tieltä tankkausta varten (taulukko 7).

Taulukko 7. Suomen LBG- ja CBG-Jakeluasemien määrät ja etäisyydet päällystetystä tiestöstä.

	LBG-jakeluasemat	CBG-jakeluasemat
Jakeluasemien lkm.	24	86
Minimiarvo tiestöstä (m)	22	5
Maksimiarvo tiestöstä (m)	1564	1597
Keskiarvo tiestöstä (m)	321	280

Liittämällä yhteen liikennemääräaineiston, jakeluasemien sijainnit ja tieverkoston on mahdollista tuottaa tietoa, jonka avulla voidaan tarkastella, mitkä jakeluasemat sijaitsevat jo keskimääräisen liikennemäärän tiestön lähellä tai varrella, ja mitkä taas eivät. Samaa analyysiä voidaan soveltaa myös tuotantolaitoksiin, jolloin saadaan selville, mitkä laitokset sijaitsevat lähellä vilkkaasti liikennöityä tiestöä, mutta ovat toisaalta kauempana olemassa olevista jakeluasemista ja jäävät tietyn palvelualueen etäisyyden ulkopuolelle.

Yhdistin analyyseissäni raskaiden- ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräiset ajomäärätiedot toisiinsa, sillä niiden ajoneuvomäärät tiestöittäin olivat käytännössä yhteneväiset ja eroja olisi ollut haasteellista esittää. Loin kuitenkin HCT-ajoneuvoille erillisen tason, sillä niitä on aineistossa vähemmän, ja sain ne näin paremmin esitettyä. Keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuudet sain valitsemalla halutun ajoneuvoluokan sarakkeen Väyläviraston liikennemääräaineiston attribuuttitaulukosta.

Pohdin analyyseni tehdessäni, että käyttäisinkö liikennemäärien tarkastelussa pyöristettyjä arvioita vai tarkkoja, keskiarvoihin perustuvia lukuarvoja. Pyöristettyjen ajoneuvomäärien käyttö, esimerkiksi 50, 100, 200 ajoneuvoa voi olla visuaalisesti selkeämpää ja hyödyllisempää silloin, kun halutaan hahmottaa yleisiä kehityssuuntia nopeasti ja yksinkertaisesti (Borden 1998). Tarkempien keskiarvoihin perustuvien liikennemäärien käyttö tarjoaa kuitenkin todennukaisemman ja yksityiskohtaisemman kuvan liikennemäärien jakautumisesta. Näin ollen erittelin verkostanalyysiä varten yhteensä 12 karttatason (taulukko 8).

Taulukko 8. Biokaasun jakeluasemien ja tuotantolaitosten karttatason etäisyydet keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuuksiin (50 km, 100 km ja 150 km) sekä eri ajoneuvoluokat (HCT-, raskaat- ja yhdistelmäajoneuvot).

Aloituspiste	Etäisyys tieosuuksiin (km)	Ajoneuvoluokka
Jakeluasemat LBG	100	HCT
Jakeluasemat LBG ja CBG	50	Raskas ja Yhdistelmä
Jakeluasemat LBG ja CBG	100	Raskas ja Yhdistelmä
Jakeluasemat LBG ja CBG	150	Raskas ja Yhdistelmä
Tuotantolaitokset, joissa ei ole polttoaineen jalostusta	100	HCT
Tuotantolaitokset, joissa ei ole polttoaineen jalostusta	50	Raskas ja Yhdistelmä
Tuotantolaitokset, joissa ei ole polttoaineen jalostusta	100	Raskas ja Yhdistelmä
Tuotantolaitokset, joissa ei ole polttoaineen jalostusta	150	Raskas ja Yhdistelmä
Tuotantolaitokset, joissa on polttoaineen jalostus	100	HCT
Tuotantolaitokset, joissa on polttoaineen jalostusta	50	Raskas ja Yhdistelmä
Tuotantolaitokset, joissa on polttoaineen jalostus	100	Raskas ja Yhdistelmä
Tuotantolaitokset, joissa on polttoaineen jalostus	150	Raskas ja Yhdistelmä

Nämä tasot perustuvat kolmeen eri biokaasuinfrastruktuurin osa-alueeseen eli jakeluasemiin, tuotantolaitoksiin, joissa ei tapahdu polttoaineen jalostusta ja tuotantolaitoksiin, joissa tapahtuu polttoaineen jalostusta liikennekäyttöön. Jokaiselle näistä kolmesta tekijästä tein verkostoaalyysit kolmella eri etäisyydellä Väyläviraston tieverkkoaineistolla: 50 km, 100 km ja 150 km. Palvelualue jokaiselle karttatasolle määräytyi siis jakeluasemista ja tuotantolaitoksista lähtevästä tieverkon laajennuksesta edellä mainittujen etäisyyksien mukaisesti. Näin muodostui neljä karttatasoa jokaiselle ajoneuvoluokalle kutakin aloituspistettä kohden.

Tämän perusteella arvioin, voisivatko kyseiset biokaasulaitokset toimia mahdollisina uusien jakeluasemien sijaintipaikkoina tai tarjota kaasua uusille jakeluasemille ja siten täydentää jakeluasemaverkostoa sen katvealueilla. Tämä ajatus on kuitenkin toistaiseksi hypoteettinen, sillä käytettävissäni ei ole tietoa eri kaasulaitosten välisistä sopimuksista tai niiden halukkuudesta osallistua liikennebiokaasun tuotantoon tai jakeluun. Liikennepolttoainetta jalostavat laitokset voivat lisäksi olla sopimuksilla sidottuja tiettyihin toimijoihin, ja ei-jalostavilla laitoksilla ei välttämättä ole teknisiä valmiuksia tai halukkuutta aloittaa liikennekaasun tuotantoa tai osallistua sen jakeluun.

3.2.4 Ajoneuvojen etäisyysvalinnat haastatteluiden perusteella

Vaikka raskaan liikenteen ajomatkat voivat olla teoriassa huomattavan pitkiä, valitsin analyysissäni tarkastelu-etäisyyksiksi CBG:tä käyttäville ajoneuvoille 50 km, 100 km ja 150 km etäisyydet sekä LBG:tä käyttäville ajoneuvoille 100 km ja 150 km etäisyydet jakeluasemista ja tuotantolaitoksista. Raskaat-, yhdistelmä- ja HCT-ajoneuvot käyttävät LBG:tä, mutta CBG:tä käyttävät vain raskaat- ja yhdistelmäajoneuvot. Tämä johtuu siitä, että LBG:n suurempi energiasisältö mahdollistaa CBG:hen verrattuna pidemmät ajomatkat, mitä raskaampi ajoneuvo on (Jensen ym. 2017). Näin ollen kaikista raskaimmat HCT-ajoneuvot eivät käytä CBG:tä polttoaineenaan.

Teoriassa raskaiden LNG- tai LBG-ajoneuvojen toimintasäde voi olla jopa 1 600 kilometriä kahdella polttoainesäiliöllä varustetuissa ajoneuvoissa (Steiner 2018; SKAL ry 2023). CNG:tä tai CBG:tä käyttävien ajoneuvojen toimintasäde taas voi olla yli 400 kilometriä (International Council on Clean Transportation 2020). Tätä tukee myös EU:n suositus asettaa LNG-jakeluasemien enimmäisväliksi noin 400 kilometriä (Transport & Environment 2018).

Benjaminsson ja Nilsson (2009) esittämä etäisyys CBG:tä käyttäville ajoneuvoille on kuitenkin 220 kilometriä.

Yhdysvalloissa kuljettajat poikkeavat keskimäärin noin kahden mailin eli 3,2 km:n verran reitiltään tankkausta varten (Geotab 2024). Poikkeamien määrä kuitenkin vaihtelee suuresti alueittain ja kaupungeittain. Esimerkiksi Austinissa kuljettajien poikkeama etäisyys jakeluasemalle on kuusi kertaa vähemmän verrattuna Los Angelesiin ja kahdeksan kertaa vähemmän kuin Washington D.C.:ssä. Alueellisessa vertailussa taas Kaliforniassa kuljettajien poikkeama etäisyys on lähes kolme kertaa enemmän kuin Texasissa.

Zhong. ym (2019) tutkimuksessa kaupalliset kuljettajat ovat valmiita tekemään kolmen mailin eli 4,8 km:n poikkeaman reitiltä tankkaamaan. Tutkimuksessa myös havaittiin tapauksia, joissa jakeluasema sijaitsi selkeästi väärässä suunnassa reittiin nähden, esimerkiksi alku- tai määränpäästä poikkeavasti, mutta silti niihin poikettiin tankkaamaan. Zhong. ym. (2019) mukaan tällaiset tapaukset olivat kuitenkin harvinaisia ja lisäsivät matkaa vain muutamilla kilometreillä. Kelley & Kuby (2017) tutkimuksen mukaan kaupallisten ajoneuvojen kuljettajat poikkeavat tankkauksen vuoksi reitiltään alle 1 km:n verran. Näin ollen lähellä reittien sijaitsevien jakeluasemien merkitys korostuu erityisesti ammattiajossa.

Tämän vuoksi hyödynsin toisen tutkimuskysymyksen yhteydessä kerättyjä yrityshaastatteluiden vastauksia myös ensimmäisen tutkimuskysymyksen analyysissa. Kirjallisuudesta ja etäisyysmatriisin tuloksista ei voitu tehdä yhtenäistä johtopäätöstä siitä, millä etäisyydellä kaasukaäyttöisen raskaan liikenteen jakeluasemien tulisi sijaita suhteessa päätieverkkoon. Useat eri tekijät, kuten polttoaineen saatavuus ja hinta, jakeluasemien sijainti sekä tieverkoston ja ajoneuvojen ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi valintaan poiketa reitiltä tankkaamaan.

Näin ollen yritysten näkemykset tarjoavat todenmukaisempaa tietoa siitä, millaisia ajomatkoja ja saavutettavuuksia pidetään mahdollisina ja toiminnan kannalta merkityksellisinä. Määrittelin jakeluasemille maksimi-, eli enimmäisetäisyydeksi 10 kilometriä tiestöstä, joka perustuu haastattelukysymyksiin 7B, 11B ja 12B. Näissä kysymyksissä kartoitin yritysten hyväksymää poikkeamaa reitiltä, toivottua etäisyyttä päätieverkkoon sekä jakeluasemien välistä sijaintiväliä.

3.3 Yritysten päätöksiin vaikuttavat tekijät (Tutkimuskysymys 2)

3.3.1 Yrityshaastatteluiden toteutus

Lähetin haastattelupyynnön noin kahdellekymmenelle kuljetusalan yritykselle, joista kymmenen yritystä vastasi. Lopulta neljä yritystä oli halukas vastaamaan kysymyksiini lomakepohjaisella kyselyllä. Toteutin kyselyn Webropol-alustan kautta, joka on vuonna 2002 julkaistu suomalainen kysely- ja analysointisovellus (Webropol 2013). Kyselyni toteutettiin siten, että kaikki annetut tiedot säilytettiin ehdottoman luottamuksellisina. Yksittäisiä yrityksiä tai henkilöitä ei voida tunnistaa vastauksista, ja tutkimukseen osallistuvat yritykset eivät ole tunnistettavissa pro gradu -tutkielman lopputuloksesta. Kysely oli mahdollista täyttää osissa ja vastauksia oli mahdollista muuttaa ennen palautusta.

Kysely koostui sekä monivalintakysymyksistä että avoimista kysymyksistä. Monivalintaosio sisälsi 28 kysymystä. Arvioin yrityksen toiminnalle merkittäviä tekijöitä asteikolla 1–7. Arvo 7 tarkoittaa, että tekijä on erittäin merkittävä, ja 1 tarkoittaa, että tekijällä ei ole juuri lainkaan merkitystä. Monivalintakysymysten ohella pyysin yrityksiltä myös arvioita esimerkiksi sopivista keskimääräisistä etäisyyksistä ja lukumääristä, jotka tukivat ja täydensivät monivalintakysymysten vastauksia. Avoimia kysymyksiä taas oli 20. Avoimissa vastauksissa pyysin yrityksiä vastaamaan vapaasti yrityksen toimintaan ja biokaasun käyttöön liittyviin kysymyksiin.

Aloitin kyselyn taloudellisilla ja strategisilla kysymyksillä, jotka koskivat kustannuksia, ajoneuvojen käyttöikä ja infrastruktuurin kehittymistä. Taloudellisten ja strategisten kysymysten jälkeen keskityin käytännön toimintaan liittyviin kysymyksiin, kuten ajoneuvojen kantamaan ja kaasuasemien sijaintiin suhteessa ajoreitteihin. Sijoitin ympäristömääräysten ja yrityksen imagoon liittyvät kysymykset loppuun. Nämä kysymykset eivät yleensä ole välittömiä kustannus- tai toiminnallisia kysymyksiä, mutta ne voivat olla ratkaisevia, kun yritys harkitsee pitkän aikavälin siirtymistä biokaasuun.

3.3.2 Aineistolähtöinen sisällönanalyysi

Analysoin haastattelut aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä. Kyselyn ensimmäinen osa koostui strukturoitujen kysymysten lisäksi puolistrukturoiduista kysymyksistä (Liite 1). Kyselyn toinen osa taas koostui pelkästään puolistrukturoiduista kysymyksistä (Liite 2).

Strukturoitu haastattelu perustuu ennalta määriteltyyn lomakkeeseen, jossa kysymykset esitetään samassa järjestyksessä kaikille vastaajille (Hirsjärvi & Hurme, 2008; Tuomi & Sarajärvi, 2009). Puolistrukturoitu haastattelu taas tarjoaa vapaammat vastaukset samoihin teemoihin pohjautuen, ja se sopii paremmin yritysten tulkintojen ja merkitysten esiin tuomiseen.

Strukturoidut kysymykset sisälsivät asteikkoarviointeja kysymysten tärkeydestä ja vastausvaihtoehdot olivat valmiiksi määriteltyjä. Vastaajan tehtävänä oli valita niistä itselleen sopivin. Strukturoidun kysymysten toinen osa koostui puolistrukturoiduista kysymyksistä, joissa kysyin lisätietoa kyseiseen strukturoituun kysymykseen, kuten lukumääriä jakeluasemista tai etäisyyksistä. Puolistrukturoidussa osiossa kysymykset olivat kaikille haastateltaville samat, mutta en ollut etukäteen määritellyt vastausvaihtoehtoja, mikä antaa Nöpärä (2017) mukaan enemmän tilaa yrityksen omille näkemyksille.

Sisällönanalyysi rakentuu neljävaiheisestä prosessista (Taulukko 9). Näitä ovat aineiston kokoaminen, aineiston pelkistäminen, aineiston ryhmittely ja lopuksi aineiston abstrahointi, jossa muodostetaan teoreettisia kokonaisuuksia yritysten vastausten pohjalta (Tuomi & Sarajärvi, 2009).

Taulukko 9. Aineistolähtöisen sisällönanalyysin eri vaiheet, kuvaukset esimerkkeineen.

Sisällönanalyysin vaihe	Vaiheen kuvaus	Esimerkki
Aineiston kokoaminen	Vastausten kerääminen, järjesteleminen ja kokoaminen yhteen helposti käsiteltävään muotoon	Vastausten siirtäminen Excel- tai pdf-muotoon
Aineiston pelkistäminen	Vastauksia tiivistetään ja niistä etsitään toistuvia aiheita ja ilmiöiden samankaltaisuuksia sekä eroavaisuuksia	Ajoneuvojen toimintamatkat tai jakeluasemien sijainnit suhteessa yrityksen toimintaan
Aineiston ryhmittely	Laajempien teemojen ja käsitteiden luokittelu aineiston keskeisten piirteiden perusteella	Teemat, kuten ympäristöhyödyt, tai taloudellinen kannattavuus
Aineiston abstrahointi	Vastausten perusteella muodostetaan laajempia käsitteitä ja syvällisempiä tulkintoja	Jakeluasemien määrien kehityksen vaikutukset yrityksen toimintaan tällä hetkellä, ajoneuvojen hankinta- ja käyttökustannukset sekä asiakkaiden ympäristötoiveisiin vastaaminen

Aineiston kokoaminen ja valmistelu analyysia varten alkaa vastausten keräämisellä kyselystä (Tuomi & Sarajärvi 2009). On tärkeää, että aineisto on kattava ja monipuolinen, jotta

analyysissä tavoitetaan ilmiön keskeiset piirteet. Tämä vaihe edellyttää tarkkuutta ja huolellisuutta, jotta analyysi on luotettava ja jotta se olisi toistettavissa. Kun aineisto on kerätty, valmistellaan se analyysia varten muokkaamalla ja järjestämällä helposti käsiteltävään sekä ymmärrettävään, esimerkiksi Excel- tai PDF-muotoon. (Tuomi & Sarajärvi 2009).

Aineiston pelkistämisessä aineisto käydään läpi yksityiskohtaisesti ja siitä etsitään käsitteitä, jotka kuvaavat aineiston samankaltaisuuksia tai eroavaisuuksia (Tuomi & Sarajärvi 2009). Aineistoa siis pelkistetään ja tiivistetään (Hirsjärvi & Hurme 2008). Tavoitteena on tunnistaa toistuvia ja samankaltaisia merkityksiä sekä ilmiöitä. Työssäni näitä ovat esimerkiksi ajoneuvojen toimintamatkat tai jakeluasemien sijainnit suhteessa yrityksen toimintaan. Näistä muodostetaan luokkia, jotka kuvaavat tutkittavaa asiaa tai ilmiötä (Tuomi & Sarajärvi 2009). Lisäksi aineiston pelkistämisessä voidaan hyödyntää myös laskennallisia menetelmiä, kuten ilmiöiden esiintymiskertojen laskemista tiettyjen ominaisuuksien perusteella (Hirsjärvi & Hurme 2008).

Aineiston ryhmittely eli luokittelu toimii vertailun välineenä (Tuomi & Sarajärvi 2009). Ryhmittely auttaa nostamaan esiin aineiston keskeisiä piirteitä ja siinä tarkastellaan haastateltavien ilmaisuja, joista voidaan tunnistaa teemoja ja käsitteitä. Luokitteluyksikkönä voi toimia mikä tahansa keskeinen piirre, kuten tietty ominaisuus tai teema. Tuomi & Sarajärvi (2009) mukaan tavoitteena on jäsentää tutkimusaineistoa niin, että yksittäiset havainnot liittyvät laajempiin käsitteisiin, mikä tukee tutkimuksen rakennetta ja ilmiön kuvailua. Esimerkiksi biokaasun liikennekäyttöä koskevissa vastauksissa voidaan erotella teemoja kuten ympäristöhyödyt tai taloudellinen kannattavuus.

Viimeisessä vaiheessa eli aineiston abstrahoinnissa tunnistetaan vastauksista saatujen teemojen merkitykset ja muodostetaan niistä laajempia käsitteitä ja syvällisempiä tulkintoja (Hirsjärvi & Hurme 2008). Abstrahoinnissa nostetaan esiin vastausten yhteiset piirteet ja ryhmitellään ne tutkijan tulkintojen perusteella teemoiksi, jotka kuvaavat tutkittavan ilmiön olennaisia puolia. Abstrahoinnissa tärkeää on aineistolähtöisyys, eli analyysin tulee pohjautua kerättyyn aineistoon ilman ennako-oletuksia (Hirsjärvi & Hurme 2008). Vaikka haastateltavat eivät välttämättä käytä vastauksissaan samoja ilmaisuja, voidaan samansisältöiset vastaukset yhdistää saman teeman alle. Merkitykset voidaan siis tulkita kontekstin perusteella (Tuomi & Sarajärvi 2009). Abstrahointi voi tarjota uusia näkökulmia esimerkiksi siihen, miten biokaasun käyttöä liikenteessä voidaan edistää tai mitkä tekijät

vaikuttavat sen käyttöönottoon. Esimerkkejä abstrahoinnista ovat esimerkiksi jakeluasemien määrien kehityksen vaikutukset yrityksen toimintaan tällä hetkellä, ajoneuvojen hankinta- ja käyttökustannukset sekä asiakkaiden ympäristötoiveisiin vastaaminen. Näitä teemoja käsittelen tutkimuksen keskusteluosiosiossa, jossa tarkastelen havaintojen takana olevia laajempia merkityksiä.

3.4 Uusien jakeluasemien sijoittaminen (Tutkimuskysymys 3)

3.4.1 Kyselyn perusteella tieverkolle määritetyt merkitykset

Viimeisessä vaiheessa uusien jakeluasemien sijaintien määrittäminen perustuu ensimmäisen tutkimuskysymyksen verkostanalyysin ja toisen tutkimuskysymyksen aineistolähtöisen sisällönanalyysin yhdistettyihin tuloksiin. Karttatasoja laatiessani en käyttänyt yritysten omien ajoneuvojen reittejä, sillä ne ovat liikesalaisuuksia. Käytin sen sijaan Väyläviraston aineistoa, eli tietoa eri ajoneuvoluokista ja niiden keskimääräisistä ajomääristä tieosuuksittain. Kyselyssä kukin yritys vastasi, että kuinka monta ajoneuvoa yrityksellä on ja mitä ajoneuvotyyppäjä nämä edustavat (taulukko 10).

Taulukko 10. Yritysten käyttämien ajoneuvojen lukumäärät, ajomäärät ja tankkaustarpeet.

	Yritys 1	Yritys 2	Yritys 3	Yritys 4
1. Yrityksen koko raskas kalusto	40	229	680	30
2. Kaasuajoneuvojen määrä	40 (CBG)	3 (CBG) & 13 (LBG)	68 (CBG)	3 (LBG)
3. Suodattamani ajoneuvot väyläviraston aineistosta vastausten 1. ja 2 perusteella.	Raskas ja yhdistelmä	Raskas ja yhdistelmä	Raskas ja yhdistelmä	HCT-ajoneuvot
4. Päivittäiset ajomäärät (km)	200	450	140	800
5. Päivittäiset tankkaustarpeet	1	1	1	3

Laadin siis jokaiselle yritykselle kartat käyttäen juuri kyseisen yrityksen ajoneuvokannan ajoneuvotyyppiä ja ajoneuvojen esiintymismääriä tieosuuksittain. Näiden tietojen pohjalta

suodatin Väyläviraston aineistosta yrityskohtaisesti juuri ne ajoneuvotyypit, joita kukin yritys käyttää. Tämän avulla määritin analyysieni lopussa, että mitkä tieosuudet ovat mahdollisesti ja todennäköisesti merkittävimpiä kullekin yritykselle.

Vähäisen merkityksen luokkaan kuuluvat ne tieosuudet, joilla on todennäköisesti vähäinen merkitys yrityksen toiminnalle. Ne voivat olla tieosuuksia, joilla yrityksen käyttämät ajoneuvotyypit ja niiden määrät liikkuvat vain satunnaisesti tai ei lainkaan. Näillä tieosuuksilla biokaasun saatavuus ei todennäköisesti vaikuta yrityksen toimintaan olennaisesti.

Kohtalaisen merkityksen luokkaan kuuluvat tieosuudet, joilla on todennäköisesti kohtalainen merkitys yrityksen toiminnalle. Ne voivat olla tieosuuksia, joilla yrityksen käyttämät ajoneuvotyypit ja niiden määrät liikkuvat satunnaisesti tai tiuhemmin. Näillä tieosuuksilla biokaasun tankkausmahdollisuuksilla voi olla vaikutusta reittien suunnitteluun tai valintoihin, mutta niiden merkitys ei todennäköisesti ole ratkaiseva.

Suuren merkityksen luokkaan kuuluvat tieosuudet, joilla on todennäköisesti keskeinen ja tärkeä merkitys yrityksen toiminnalle. Ne voivat olla tieosuuksia, joilla yrityksen käyttämät ajoneuvotyypit ja niiden liikennemäärät liikkuvat tiuhaan. Näillä tieosuuksilla mahdollisuus tankata biokaasua on todennäköisesti tärkeää ja olennaista yritysten toimintaa ajatellen.

3.4.2 Jakeluasemien ja tuotantolaitosten etäisyydet tieverkosta perustuen yrityshaastatteluihin

Analysoidakseni mahdollisia uusia jakeluasemien sijoituspaikkoja, hyödynsin yritysten vastauksia kysymyksiin 7B, 11B ja 12B (Liite 1). Kysymys 7B tiedusteli, että "Kuinka monen kilometrin poikkeaman reitiltä yrityksenne on valmis hyväksymään päästäkseen tankkaamaan biokaasua?" ja kysymys 12B, että "Kuinka kaukana (km) asemat saavat mieluiten olla päätieverkosta?". Kysymykseen 7B saadut vastaukset vaihtelivat 2–10 kilometrin välillä, keskiarvon ollessa 5,3 km. Kysymykseen 12B annetuissa vastauksissa pienin hyväksyttävä etäisyys päätieverkosta oli 3 km, suurin 10 km ja keskiarvo 3 km. Näiden tulosten perusteella määrittelin analyysissä 10 kilometrin maksimietäisyyden rajaksi, jonka sisällä sijaitseva tankkausmahdollisuus katsotaan vielä hyväksyttäväksi. Sovelsin tätä rajaa tieosuuksiin, jotka yritykset ovat arvioineet vähintään kohtalaisen merkityksellisiksi.

Seuraavaksi tarkastelin kysymystä 11B: "Millä etäisyydellä (km) eri kaasuasemien tulisi sijaita toisiinsa nähden teidän toimintanne kannalta?". Tähän kysymykseen saadut vastaukset erosivat merkittävästi yritysten välillä. Esimerkiksi yritys 1 toivoi asemien sijaitsevan 10 kilometrin välein, kun taas yritys 4 hyväksyi jopa 150 kilometrin etäisyyden. Tämän perusteella suodatin verkostanalyysissä yrityskohtaisesti ne tuotantolaitokset, jotka sijaitsevat yrityksen määritellyn palvelualueen ulkopuolella nykyisestä jakeluasemaverkostosta.

Toisin sanoen tarkastelin, mitkä tuotantolaitokset sijaitsevat yritysten määrittämien palvelualueiden ulkopuolella nykyisistä jakeluasemista ja voisivat siten toimia mahdollisina uusien asemien sijaintipaikkoina. Tämän avulla tunnistin siis ne tuotantolaitokset, joiden läheisyydessä ei ole jakeluasemaa yritysten määrittämän palvelualueen sisällä. Lopuksi yhdistin jakeluasemien välisten etäisyyksien perusteella suodatetut tuotantolaitokset (kysymys 11B), sekä tieverkon saavutettavuuteen liittyvät sijaintivaatimukset (kysymys 7B; kysymys 12B). Näin tunnistin ne tuotantolaitokset, jotka sijaitsevat sekä yritysten määrittelemien jakeluasemien palvelualueiden ulkopuolella, että korkeintaan 10 kilometrin päässä yritysten kohtalaisesti painotetusta tieverkosta.

Tein rajauksen kohtalaisen merkitysten tieosuuksiin, sillä suurimman merkityksen saaneet tieosuudet sijaitsevat jo olemassa olevien jakeluasemien läheisyydessä ja yritysten palvelualueiden sisällä. Vastaavasti vähäisen merkityksen tieosuudet eivät ole yritysten toiminnan kannalta riittävän tärkeitä, jotta niiden varten olisi perusteltua suunnitella uusia jakeluasemia. Näin ollen juuri kohtalaisen merkityksen tieosuudet muodostavat mielekkään tarkastelukohteen, jossa uudet asemat voivat parantaa saavutettavuutta ja tukea yritysten toimintaa niillä alueilla, joilla nykyinen jakeluinfrastruktuuri ei vielä riittävästi palvele niiden tarpeita.

3.4.3 Painotusten analysointi pohjautuen yritysten vastauksiin

Tutkimuskysymykseen 3 käyttämäni menetelmät ja niihin liittyvät analyysityökalut valitsin erityisesti erilaisten sijaintikriteerien yhdistämiseksi paikkatietopohjaiseen analyysiin. Paikkatietomenetelmien valinnassa painottui tarve yhdistää verkostanalyysin tulokset yrityshaastatteluista saatuihin tuloksiin, jotta analyysissä voitaisiin yhdistää sekä verkostanalyysin että yritysten esiin nostamat ja painottamat tekijät (taulukko 11).

Taulukko 11. Tutkimuskysymyksen 3 analyysien menetelmät ja työkalut kuvattuina.

Menetelmä / työkalu	Selite	Käyttötarkoitus työssäni
Monikriteerinen päätöksentekomenetelmä (MCDM)	Päätöksenteon menetelmä, joka arvioi useita kriteerejä ja niiden painoarvoja.	Käytin menetelmää tukemaan uusien jakeluasemien sijaintien valintaa yritysten kriteerien painotusten mukaan.
Painotettu päällekkäisanalyysi (WOA)	Paikkatietotyökalu, joka yhdistää painotetut kriteerit yhdeksi karttatasoksi.	Käytin työkalua tuottamaan karttatason, joka osoittaa tieosuuksien merkitystä yrityksille painotettujen kriteerien perusteella.
Painotettu lineaarinen yhdistely (WLC)	Laskennallinen menetelmä, joka yhdistää painotetut arvot yhdeksi kokonaisarvoksi.	Käytin menetelmää yhdistämään yritysten antamat painotetut kriteerit, joista syntyivät tieosuuksien merkitysarvot.
Painotetun summan -työkalu	Paikkatietotyökalu, joka laskee painotetun summan karttatasolle.	Käytin työkalua toteuttamaan WLC-menetelmän käytännössä ja visualisoimaan tieosuuksien merkityseroja kartalla.
Puskurianalyysi	Paikkatietotyökalu, joka luo puskurivyöhykkeen valitun tekijän ympärille.	Käytin työkalua laskemaan jakeluasemien määrä yritysten toimipaikasta 100 km halkaisijan puskurivyöhykkeellä.

Monikriteerinen päätöksentekomenetelmä (MCDM) mahdollistaa useiden eri tekijöiden huomioon ottamisen sekä niiden suhteellisen tärkeyden arvioinnin ja vertailun. Näin voidaan tunnistamaa sopivimmat sijainnit halutuille tekijöille tietoon perustuvan analyysin avulla. MCDM-menetelmän hyödyntäminen, esimerkiksi uusiutuvan energian suunnittelussa, tukee parempaa päätöksentekoa ja sopivimpien sijaintien määrittämistä. Abdullah ym. (2025) mukaan nämä MCDM-menetelmät toimivat parhaiten yhdessä paikkatietojärjestelmien kanssa, joiden avulla MCDM-menetelmä voi tarjota arvokasta ja uutta tietoa sekä auttaa tekemään parempia päätöksiä tulevaisuuden suhteen.

Yksi MCDM-menetelmän analyyseistä on painotettu päällekkäisanalyysi eli WOA (*Weighted Overlay Analysis*). WOA on työkalu paikkatieto-ohjelmassa ja sen avulla voidaan yhdistää eri kriteerien vektoritasot yhdeksi karttatasoksi, jossa jokaiselle syötetylle tasolle on annettu suhteellinen painoarvo (Uyan & Ertunç 2023). Painotus kertoo, että kuinka merkittävä tietty tekijä, esimerkiksi yrityksen toimipaikan etäisyys jakeluasemasta, on yritykselle sen

toiminnan kannalta. Korkea painoarvo tarkoittaa, että kyseinen kriteeri vaikuttaa lopulliseen päätökseen voimakkaammin kuin matalammin painotettu tekijä. Tästä syntyvä karttataso työssäni kuvaa teiden kokonaisvaltaisia merkityksiä yrityksille.

Jotta painotettu päällekkäisanalyysi voidaan toteuttaa, täytyy ensin käyttää WLC-menetelmää, joka toimii edellytyksenä WOA:lle. Painotettu lineaarinen yhdistely eli WLC (*Weighted Linear Combination*) on menetelmä, tai tarkemmin ottaen laskutoimitus, jossa jokaisella yrityksen antamalla kriteerin arvolla on painokerroin (Rikalović & Cocić 2014). Näin voidaan yhdistää eri kriteerien numeeriset painotukset paikkatiedoksi. WLC perustuu painotettuun keskiarvoon. Näin saadaan kokonaispisteet, joiden perusteella eri kriteerien tasoja voidaan vertailla keskenään ja saada selville, mitkä tieosuudet ovat yritysten näkökulmasta merkittävimpiä ja löytää mahdollisesti sellaisia paikkoja, jotka soveltuisivat uusille biokaasun jakeluasemille (Rikalović & Cocić 2014).

Lopputuloksessa WLC-menetelmästä saamani pienimmät arvot (kartan selitteessä haaleammalla värillä) kuvaavat vähäisen merkityksen tieosuuksia ja suurimmat arvot (tumminmat värit) suuremman merkityksen tieosuuksia. Toteutin WLC:n QGIS-paikkatieto-ohjelmistossa käyttäen painotetun summan (*weighted sum*) -työkalua, joka laskee painotetun summan jokaiselle karttatason pikselille (Guler & Yomralioglu 2021). Painotettu päällekkäisanalyysi perustuu juuri tähän periaatteeseen, jossa eri tekijöiden eli kriteerien arvot saavat tietyn painotuksen. Näin monikriteerinen päätöksentekomenetelmä mahdollistaa kriteerien kokonaisvaltaisen arvioinnin, visualisoinnin ja tavan arvioida sekä vertailla tieosuuksia eri näkökulmista yhdistämällä ja visualisoimalla eri kriteerien painotukset kartalle.

3.4.4 Kyselyn perusteella valitut kriteerit

Haastattelujen perusteella valitsin viisi keskeistä kriteeriä eli tekijää, jotka vaikuttavat yritysten käyttämiin jakeluasemiin ja auttavat tunnistamaan yrityksille merkittävimmät tieosuudet. Kriteerien painotukset perustuvat siis viiteen valitsemaani olennaiseen ja merkittävään tekijään yritysten toiminnan kannalta. Valitsin kriteereiksi ajoneuvojen kantaman, päivittäiset ajomatkat, toivottavien jakeluasemien määrä sadan kilometrin halkaisijan alueella, etäisyyden lähimmälle jakeluasemalle yrityksen terminaaleista tai jakelukeskuksista sekä etäisyys eri jakeluasemien välillä (taulukko 12).

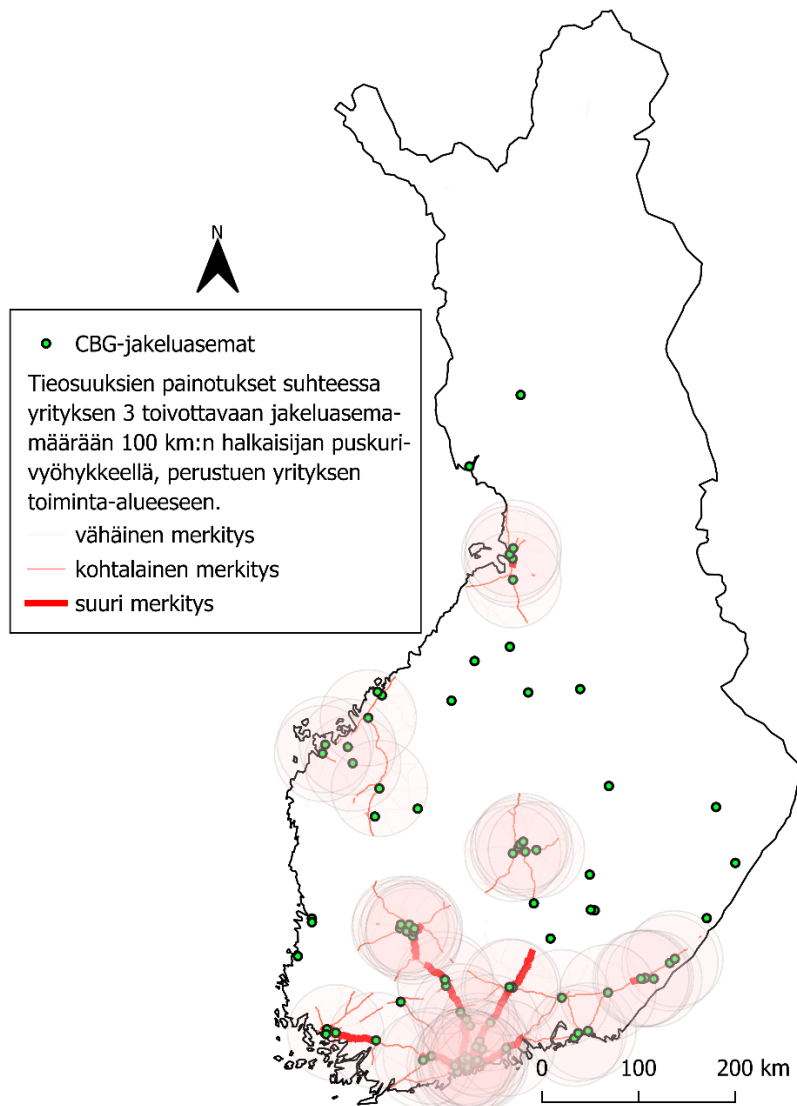
Muodostin palvelualueen joko yrityksen toimipaikasta tai jakeluasemista riippuen kriteereistä. Mikäli yrityksellä oli useampi toimipaikka, analysoin erikseen jokaisen toimipaikan sijainnin ja siihen liittyvät jakeluasemat. Lisäksi ensimmäisen tutkimuskysymyksen verkostanalyysin tapaan korostin niitä tuotantolaitoksia ja tieosuuksia, jotka olivat enintään 10 km:n päässä suuren- tai kohtalaisen merkityksen saaneilta tieosuuksilta.

Taulukko 12. Kriteerit ja niiden ominaisuudet yritysten vastausten perusteella.

Yritysten kriteerit	Keskimääräiset etäisyydet tai ajomatkat yrityksen käyttämällä kalustolla (km) ja jakeluasemien lukumäärä (lkm.)	Vastauksen määrittämä painoarvo ko. kriteerille	Kriteeriin käyttämäni menetelmä / työkalu
1. Ajoneuvojen keskimääräinen kantama (km)	Yritys 1: 250 Yritys 2: 600 Yritys 3: 300 Yritys 4: 500	Yritys 1: 5 Yritys 2: 6 Yritys 3: 4 Yritys 4: 6	Palvelualueanalyysi
2. Päivittäiset ajomäärät (km)	Yritys 1: 200 Yritys 2: 450 Yritys 3: 140 Yritys 4: 800	Yritys 1: 2 Yritys 2: 6 Yritys 3: 6 Yritys 4: 7	Palvelualueanalyysi
3. Toivottava jakeluasemien määrä 100 km halkaisijan alueella (lkm.)	Yritys 1: 10 Yritys 2: 1 Yritys 3: 4 Yritys 4: 15	Yritys 1: 5 Yritys 2: 7 Yritys 3: 6 Yritys 4: 4	Puskurianalyysi
4. Etäisyys lähimmälle jakeluasemalle yrityksen terminaaleista tai jakelukeskuksista (km)	Yritys 1: 3 Yritys 2: 5 Yritys 3: 5 Yritys 4: 2	Yritys 1: 5 Yritys 2: 7 Yritys 3: 6 Yritys 4: 4	Palvelualueanalyysi
5. Etäisyys eri jakeluasemien välillä (km)	Yritys 1: 10 Yritys 2: 50 Yritys 3: 40 Yritys 4: 150	Yritys 1: 6 Yritys 2: 5 Yritys 3: 4 Yritys 4: 6	Etäisyysmatriisi ja palvelualueanalyysi

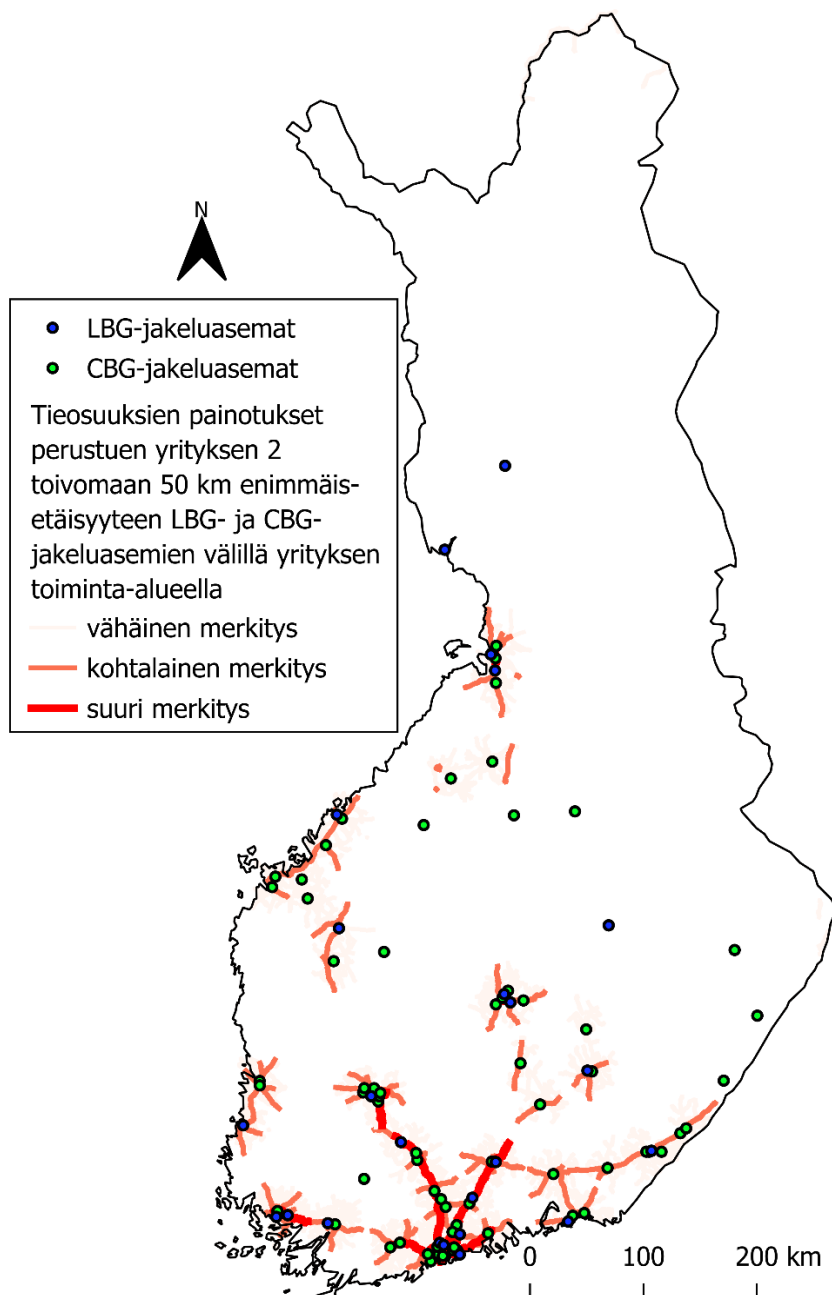
Toteutin kriteerit 1 ja 2 verkostanalyysillä yrityksen toimipaikasta. Tarkastelin, että millä tieosuuksilla on suurimmat liikennemäärät ja mitkä alueet ovat saavutettavissa kriteerien etäisyyksien sisällä. Toteutin kolmannen kriteerin bufferi- eli vaikutusalueanalyysillä (kuva 5A). Laskin, että kuinka monta jakeluasemaa sijaitsee 100 km halkaisijan alueella yrityksen toimialueella käyttämien jakeluasemien ympärillä. Mikäli jakeluasemien määrä vastaasi yrityksen toivomaa jakeluasemien vähimmäismäärää, sai kyseinen kriteeri yrityksen

määrittämän painoarvon. Mikäli taas jakeluasemien määrä jäi alle toivotun, sai kriteeri painoarvoksi 0.



Kuva 5. Puskurianalyysi yrityksen 3 kriteerin perusteella. Toivottavien jakeluasemien määrä (4 kpl) 100 km halkaisijan alueella.

Toteutin neljännen kriteerin verkostanalyysillä, jossa tarkastelin jakeluasemien etäisyyttä yrityksen toimipaikasta. Mikäli asema sijaitsi yrityksen toivomalla etäisyydellä eli sen sisällä, sille johtava tieosuus sai yrityksen antaman painotuksen ja muut tieosuudet saivat arvon 0. Viidennen kriteerin toteutin etäisyysmatriisilla ja palvelualueanalyysillä (kuva 6). Käytin ensin laskemaan etäisyydet jakeluasemien välillä yrityksen kriteerin mukaan etäisyysmatriisin avulla. Tämän jälkeen loin etäisyysmatriisin päälle tieverkon palvelualueanalyysillä. Mikäli kaksi tai useampi jakeluasemaa sijaitsi yrityksen toivomalla etäisyydellä toisistaan, saivat nämä tieosuudet jakeluasemien välillä yrityksen antaman painoarvon. Muut tieosuudet saivat arvon 0.



Kuva 6. Etäisyysmatriisi ja palvelualueanalyysi jakeluasemien välillä yrityksen 2 kriteerien perusteella. Suurin toivottu etäisyys (50 km) vähintään kahden jakeluaseman välillä.

WLC-menetelmän mukaisesti muunsin yritysten antamat arvosanat eri kriteereille suhteellisiksi prosentuaalisiksi painotuksiksi QGIS-paikkatieto-ohjelman kenttälaskurissa (*Field Calculator*). Sain kunkin kriteerin painoarvon siten, että jaoin kriteerin yritykseltä saaman arvosanan kriteerin arvosanojen yhteenlasketulla maksimiarvolla, joka on 35. Sain näin selville, että kuinka suuren osan kokonaismerkityksestä kukin tekijä muodostaa, eli kuinka merkityksellinen tietty kriteeri on yrityksen näkökulmasta suhteessa kaikkiin kriteereihin. Esimerkiksi yritys 1 on arvioinut ajoneuvojen keskimääräisen kantaman merkitykseksi 5 pistettä, mikä vastaa noin 14 prosenttia kokonaispainotuksesta (taulukko 13).

Taulukko 13. Laskemani yritysten painotukset eri kriteereille käyttäen WLC-menetelmää.

	Ajoneuvojen keskimääräinen kantama	Päivittäiset ajomäärät	Jakeluasemien tiheys	Etäisyys lähimmälle jakeluasemalle	Etäisyydet eri jakeluasemien välillä
Yritys 1	0.14	0.05	0,14	0.14	0.17
Yritys 2	0.17	0.17	0.2	0.2	0.14
Yritys 3	0.11	0.17	0.17	0.17	0.11
Yritys 4	0.17	0.2	0.11	0.11	0.17

Vähiten tärkeäksi yritys on arvioinut päivittäisen ajomatkan, joka sai 2 pistettä. Näin ollen tämän kriteerin painotus jää 0,05 eli 5 prosenttiin. Jokaisen yrityksen määrittämät kriteeripainotukset yhdistettiin Väyläviraston ajoneuvomääräaineistoon kertomalla painoarvot tieosuuksien ajoneuvomäärän attribuuttitiedoilla. Tämän laskutoimituksen tuloksena syntyi uusi painotusluku, joka lisättiin uutena sarakkeena aineiston taulukkoon. Painotuslukua tarkastelemalla voidaan arvioida kunkin tieosuuden merkitystä yrityksen näkökulmasta. Mitä suurempi painotusluku, sitä tärkeämpi kyseinen tieosuus on yritykselle.

Lisäksi tarkastelin painotuksia kokonaisuutena yhdistämällä kaikkien yritysten painotusluvut yhdeksi karttatasoksi. Yhdistäminen toteutettiin summaamalla kunkin yrityksen painotukset samalle tieosuudelle. Näin muodostettu yhteispainotettu karttataso mahdollistaa tieosuuksien vertaamisen myös yritysten välisten tarpeiden näkökulmasta, ja toimii pohjana laajemmalle alueelliselle tarkastelulle.

Lopuksi käytin karttatasojen luokitteluun ja visualisointiin Jenksin luonnollisten luokkien (*natural breaks*) menetelmää. Se on yksi yleisimmistä ja tarkimmista aineiston luokittelumenetelmistä paikkatietoanalyseissä, sekä visuaalisesti informatiivisimmista luokittelutavoista teemakartoissa (Brewer & Pickle 2003). Jenksin menetelmä pohjautuu itse aineistoon, ja tarjoaa sekä visuaalisesti että tilastollisesti mahdollisimman tarkan kuvan aineiston muuttujien jakautumisesta kartalla (EHDP). Menetelmän tavoitteena on tehdä aineiston vaihtelusta helposti hahmotettavaa ryhmittelemällä samankaltaiset arvot yhteen luokkaan ja korostamalla eri luokkien välisiä eroja (ArcGIS). Näin kartta näyttää käyttäjälle ne kohdat, joissa aineistossa tapahtuu merkittäviä muutoksia. Tämä pätee hyvin liikennemäärien visualisoinnissa, jossa osa tieosuuksista erottuu selkeästi vilkkaampina kuin toiset (ArcGIS).

4 Tulokset

4.1 Jakeluasemaverkoston nykyinen kattavuus

4.1.1 Jakeluasemien ja tuotantolaitosten sijoittuminen suhteessa raskaiden ajoneuvojen liikennemääriin

Verkostoanalyysien perusteella päätin tarkasteluissa käyttää vain jakeluasemien palvelualueita 50, 100 ja 150 kilometrin etäisyyksillä sekä HCT-ajoneuvojen osalta 100 kilometrin etäisyyttä LBG-jakeluasemista (taulukko 14). Jätin analyysistä pois sekä tuotantolaitosten kaikki kolme (50, 100 ja 150 km) palvelualue-etäisyyttä. Tämä rajausta perustui siihen, että tarkastelun tavoitteena oli selvittää, kuinka tuotantolaitokset voivat tukea jakeluasemien katvealueita. Tuotantolaitosten ympärille tehtyjen palvelualueanalyysien katvealueet eivät analyysieni mukaan olisi palvelleet jakeluasemien saavutettavuuden arviointia. Analysoin kuitenkin HCT-ajoneuvot pelkästään 100 km etäisyydellä LBG-jakeluasemista, sillä vain 100 km etäisyydellä sain palvelualueen tuloksia näkyville.

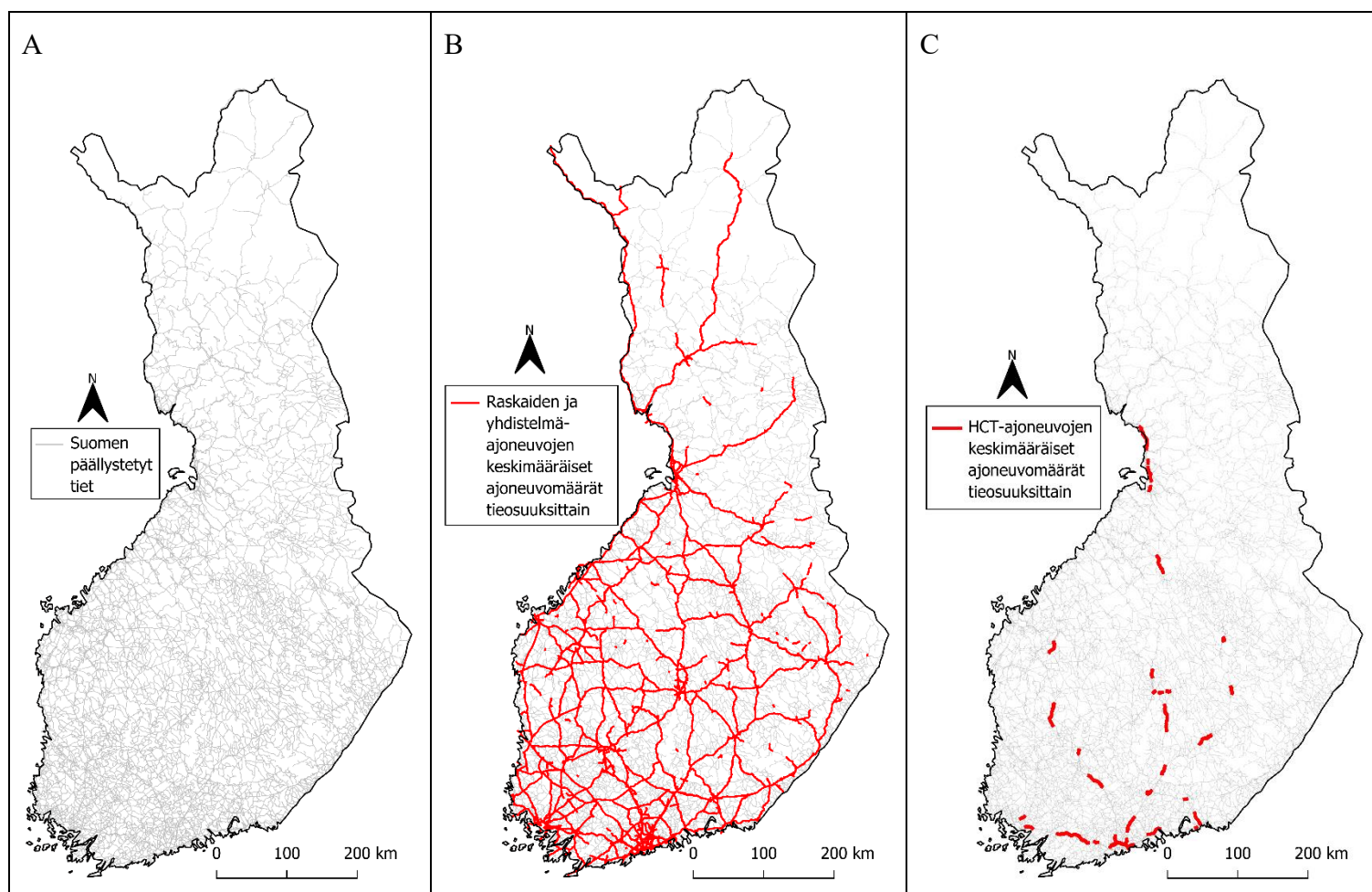
Taulukko 14. Palvelualueanalyysin tulosten perusteella lopullisissa verkostoanalyysissä käyttämäni karttatasot.

Aloituspiste	Etäisyys (km)	Ajoneuvoluokka
LBG-jakeluasemat	100	HCT
LBG- ja CBG-jakeluasemat	50	Raskas ja yhdistelmä
LBG- ja CBG-jakeluasemat	100	Raskas ja yhdistelmä
LBG- ja CBG-jakeluasemat	150	Raskas ja yhdistelmä

Analyysissa käyttämäni poistotyökalu (*Erase*) ei toiminut täysin tarkasti johtuen Väyläviraston tieverkkotiedon rakenteesta. Tiesuudet liikennemäärätiedot perustuvat LAM-järjestelmään, jossa tieverkko on jaettu mittausosuuksiin. Näitä tiesuusia ei voida siis jakaa osiin ilman, että menetetään koko osuuden ajoneuvomäärätiedot. Tämän seurauksena yksittäisten tiesuusien täsmällinen rajaaminen palvelualueanalyysin reunaehto- jen mukaisesti ei ollut mahdollista. Tämä johti siihen, että osa tiesuuksista jäi palvelualueen ulkopuolelle, vaikka niiden alkuosa olisi kuulunut alueelle. Tai päinvastoin, osa osuuksista jäi palvelualueelle, vaikka niiden pituus ylitti sallitun etäisyyden. Näin ollen palvelualueanalyysin tuottamat tieverkkot eivät ole täysin virheettömiä. Analyysissa voi esiintyä poikkeamia erityisesti tiesuuksilla, joilla etäisyys LAM-mittauspisteiden välillä on pitkä tai osuus katkeaa ennen tai jälkeen palvelualueen rajan.

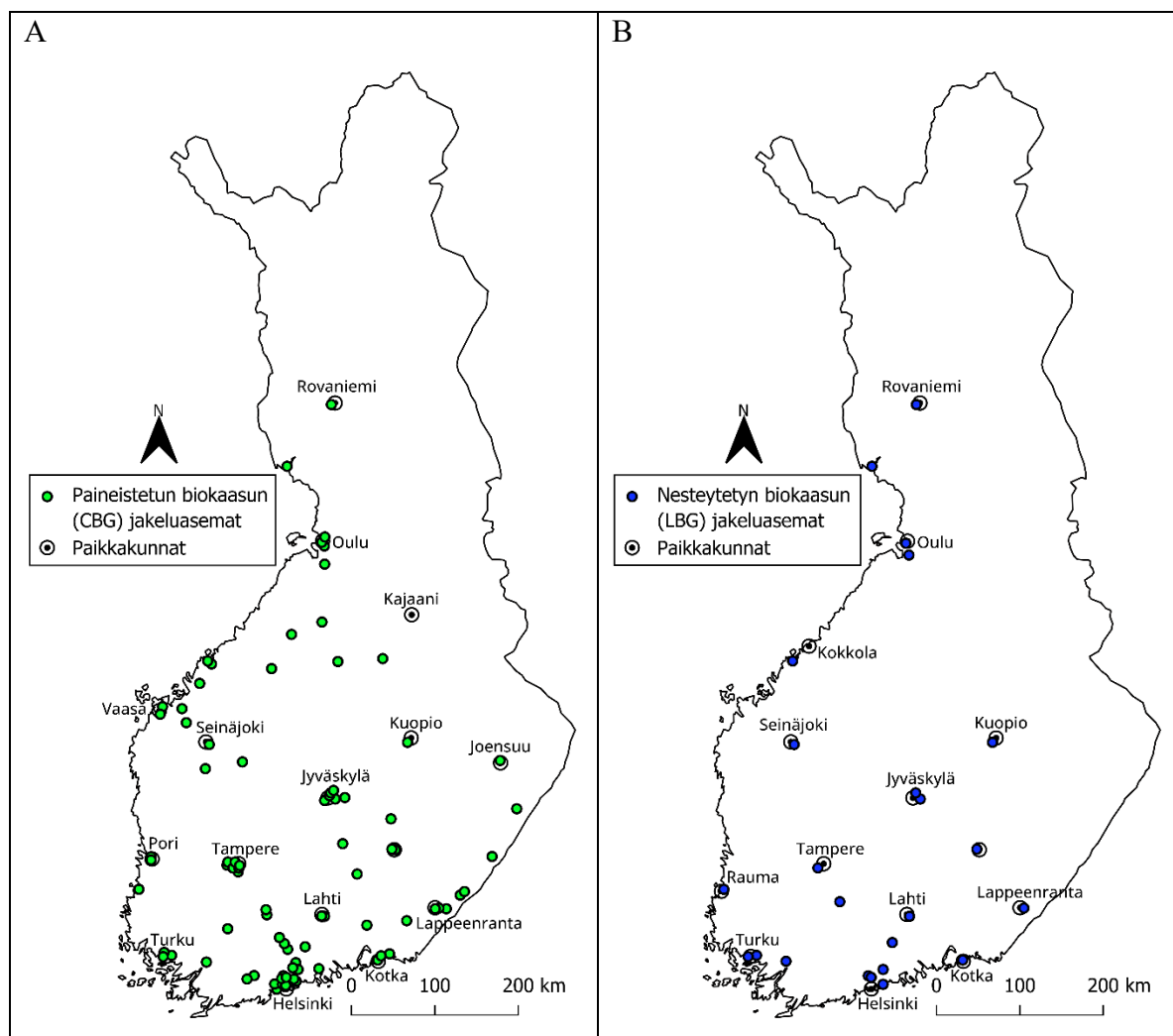
Verkstoanalyysin tulosten pohjalta rajatut tieosuudet muodostavat perustan jatkoanalyysille, jossa arvioidaan jakeluinfrastruktuurin kattavuutta suhteessa liikennemääriin. Jotta palvelualueiden ulkopuolelle jäävien tieosuuksien merkitystä voidaan arvioida, on tärkeää tarkastella myös raskaan liikenteen ajoneuvomääriä ja niiden alueellista jakautumista. Aloitan tulosten analysoinnin tarkastelemalla Suomen päällystetyn tieverkon kattavuutta ja eri ajoneuvoluokkien keskimääräistä liikennettä alueittain.

Suomen päällystetty tieverkko kattaa koko Suomen (kuva 7A). Raskaiden ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräinen liikenne keskittyy erityisesti Etelä-, Länsi- ja Keski-Suomen tieverkolle, kun taas Itä- ja Pohjois-Suomessa liikennemäärät ovat vähäisemmät (kuva 7B). HCT-ajoneuvojen keskimääräinen liikenne taas painottuu Etelä-Suomeen sekä valtavyölyä pitkin pohjoiseen Oulun seudulle (kuva 7C). Poikittaissuuntaista liikennettä esiintyy vain vähän, lähinnä Etelä-Suomessa ja Keski-Suomessa, Jyväskylän kohdalla.



Kuva 7. A) Suomen päällystetty tieverkko ja liikennemäärät Väyläviraston aineiston pohjalta. B) Tieosuudet, joilla esiintyy raskaiden ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräisiä liikennemääriä. C) Tieosuudet, joilla esiintyy täysperävaunuyhdistelmien eli HCT-ajoneuvojen keskimääräisiä liikennemääriä.

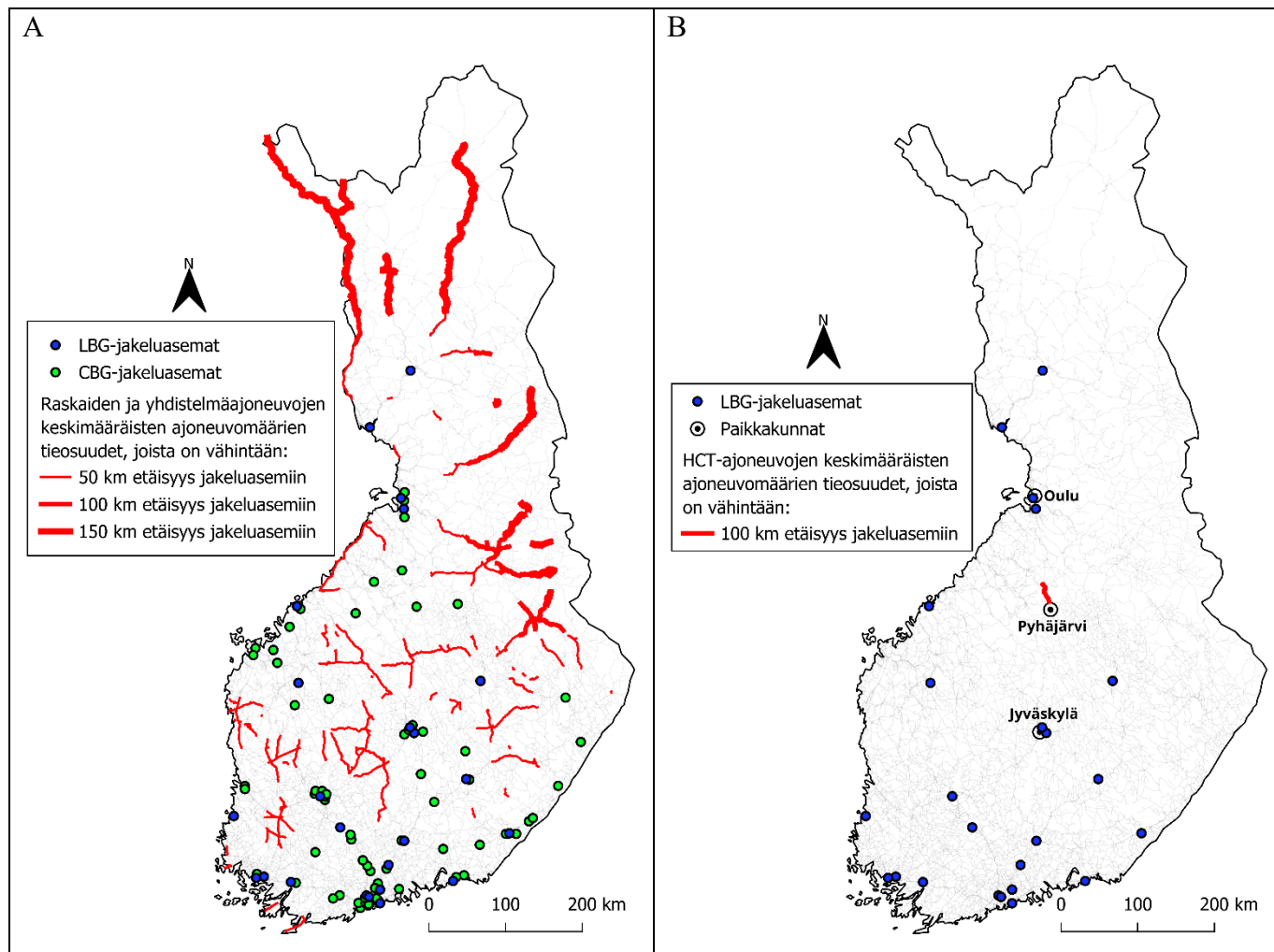
Paineistetun biokaasun (CBG) jakeluasemat keskittyvät suurimpien kaupunkien ja taajamien ympäristöön. Laajoja katvealueita on kuitenkin erityisesti Pohjois-Suomessa Rovaniemeltä pohjoiseen sekä Itä-Suomessa Kajaanista itään (kuva 8A). Nesteytetyn biokaasun (LBG) jakeluasemia sijaitsee myös pääosin suurimpien kaupunkien läheisyydessä. Suurimmat katvealueet ovat Länsi-Suomen rannikolla Rauman ja Kokkolan välillä, Itä-Suomessa sekä Keski-Suomessa Jyväskylän ja Oulun välillä (kuva 8B).



Kuva 8. A) Suomen paineistetun biokaasun (CBG) jakeluasemat. B) Suomen nesteytetyn biokaasun (LBG) jakeluasemat. Karttoihin on myös lisätty muutamia suurimpia paikkakuntia helpottamaan niiden tulkintaa.

Pisimmät etäisyydet raskaiden ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuksilta jakeluasemille ovat Itä- ja Pohjois-Suomesta, joissa useat tieosuudet jäävät 150 kilometrin etäisyydelle lähimmästä CBG- tai LBG- asemasta (kuva 9A). Etelä-Suomessa vähintään 50 kilometrin päässä tieosuksista olevat jakeluasemat ovat harvassa. HCT-

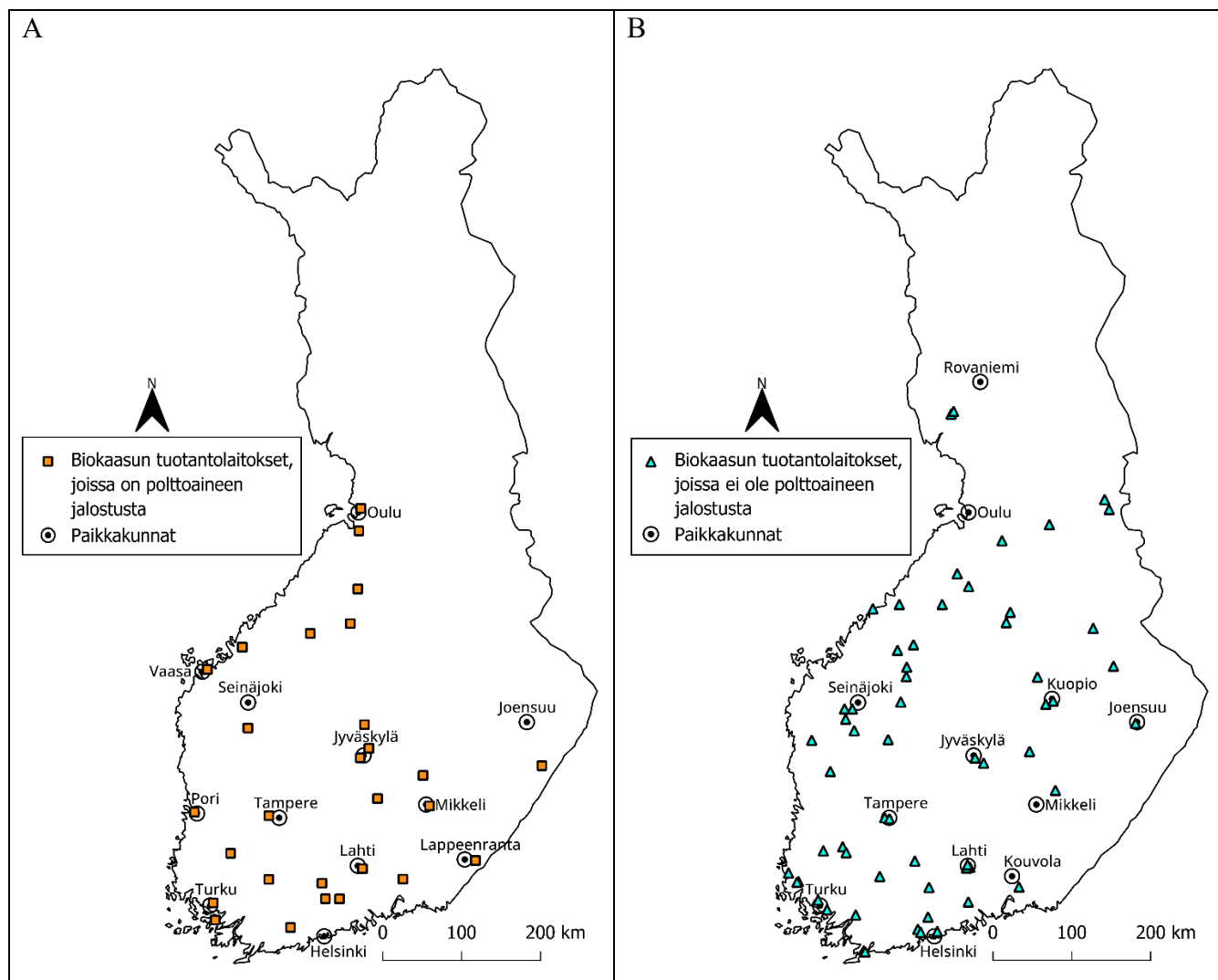
ajoneuvojen ajomäärien näkökulmasta ainoa tieosuus, joka on vähintään 100 km:n etäisyydellä LBG-jakeluasemista, sijaitsee Pyhäjärvestä pohjoiseen Ouluun päin (kuva 9B).



Kuva 9. A) Tieosuudet, joilla raskailta ja yhdistelmäajoneuvoilla on keskimääräistä liikennettä ja jotka ovat vähintään 50 kilometrin etäisyydellä lähimmästä CBG- tai LBG-jakeluasemasta. Tiestöä kuvaavaan viivan paksuus kertoo etäisyydestä jakeluasemiin. Mitä paksumpi viiva, sitä kauempana tieosuus on jakeluasemasta. B) Tieosuudet, joilla HCT-ajoneuvojen keskimääräiset ajoneuvomäärät ovat vähintään 100 kilometrin päässä LBG-jakeluasemista, sillä vain HCT-ajoneuvot käyttävät pelkästään LBG:tä. Kuvaan (B) on myös lisätty muutamia paikkakuntia helpottamaan niiden tulkintaa.

Biokaasua liikennekäyttöön jalostavia tuotantolaitoksia on runsaasti Etelä-, Keski- ja Länsi-Suomessa (kuva 10A). Poikkeuksena on Länsirannikko Porin ja Vaasan välillä, missä laitoksia ei juurikaan ole. Pohjois- ja Itä-Suomesta laitoksia ei juurikaan ole, erityisesti Jyväskylästä koilliseen ja Oulusta pohjoiseen nämä laitokset puuttuvat kokonaan.

Tuotantolaitoksia, joissa ei ole biokaasun jalostusta liikennepolttoaineeksi, sijaitsee lähes koko maassa Pohjoisinta Suomea lukuun ottamatta (kuva 10B). Toinen merkittävä katvealue on Jyväskylän pohjoispuolella sekä itäisin Suomi.

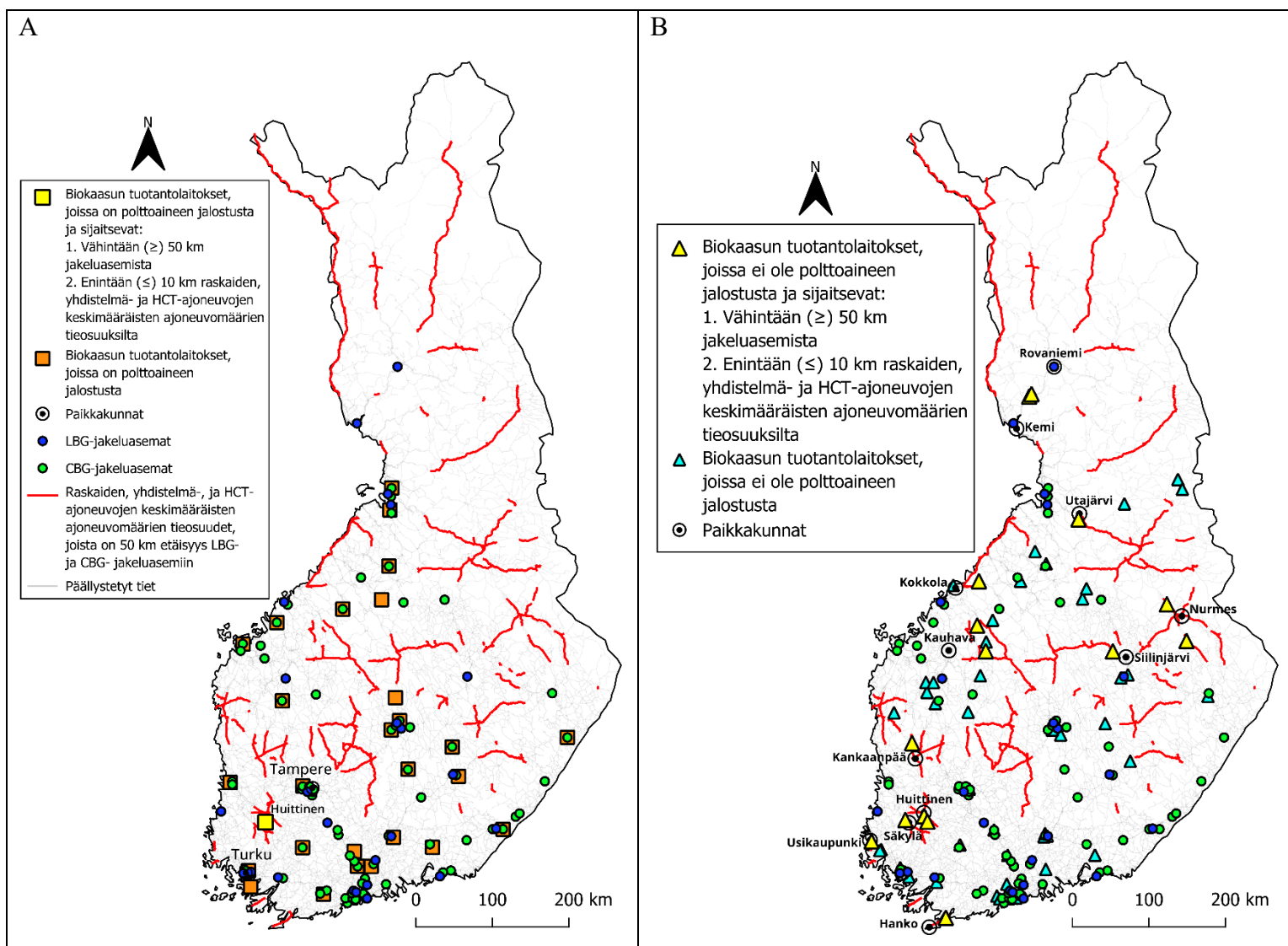


Kuva 10. A) Biokaasun tuotantolaitokset, joissa biokaasua jalostetaan liikennepolttoaineeksi. B) Biokaasun tuotantolaitokset, joissa ei ole biokaasun jalostusta liikepolttoaineeksi. Karttoihin on myös lisätty muutamia suurimpia paikkakuntia helpottamaan niiden tulkintaa.

Biokaasun tuotantolaitokset, jotka sijaitsevat vähintään 50 kilometrin päässä lähimmästä jakeluasemasta mutta korkeintaan 10 kilometrin etäisyydellä raskaiden ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuksista, sijoittuvat nykyisen jakeluasemaverkoston katvealueille. Nämä tuotantolaitokset voisivat toimia verkoston laajentamispisteinä, mikäli jakeluasema päätettäisiin perustaa tuotantolaitokselle tai sen läheisyyteen.

Annetuilla ehdoilla ainoa polttoaineen jalostusta sisältävä biokaasun tuotantolaitos sijoittuu Huittisten seudulle Turun ja Tampereen väliselle alueelle (kuva 11A). Sen sijaan tuotantolaitokset, joissa ei ole liikennepolttoaineen jalostusta, sijoittuvat samoilla ehdoilla laajemmin eri puolille Suomea (kuva 11B). Pohjoisesta alkaen tuotantolaitoksia on kaksi

Oulusta lounaseen, laitos Utajärven eteläpuolelta, laitos Kokkolan itäpuolelta, laitos Nurmeksesta luoteeseen, laitos Siilinjärveltä länteen, kaksi laitosta Kauhavasta itään, laitos Kankaanpäästä pohjoiseen, kolme laitosta Huittisten ja Säskylän alueella, laitos Uudenkaupungin alueelta sekä laitos Hangosta koilliseen. Lisäksi merkittävä havainto on poikittainen keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuus Itä-Suomen Nurmeksesta Länsi-Suomen Kauhavaan, jonka varrella ei ole laitoksia tai jakeluasemia.

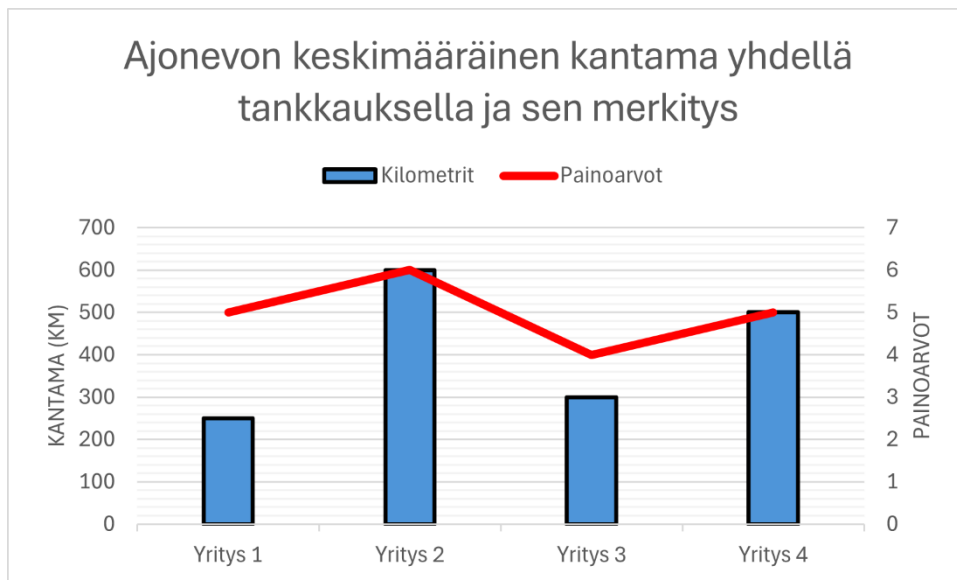


Kuva 11. A) Biokaasun tuotantolaitokset, joissa on biokaasun liikennepolttoaineen jalostusta, ja jotka sijaitsevat vähintään 50 km:n etäisyydellä jakeluasemasta ja korkeintaan 10 km:n etäisyydellä HCT-, raskaiden ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuuksilta. B) Biokaasun tuotantolaitokset, joissa ei ole liikennepolttoaineen jalostusta, ja jotka sijaitsevat vähintään 50 km:n etäisyydellä jakeluasemasta ja enintään 10 km:n etäisyydellä HCT-, raskaiden ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuuksilta. Karttoihin on myös lisätty muutamia suurimpia paikkakuntia helpottamaan niiden tulkintaa.

4.2 Yritysten biokaasun siirtymiseen vaikuttavat tekijät

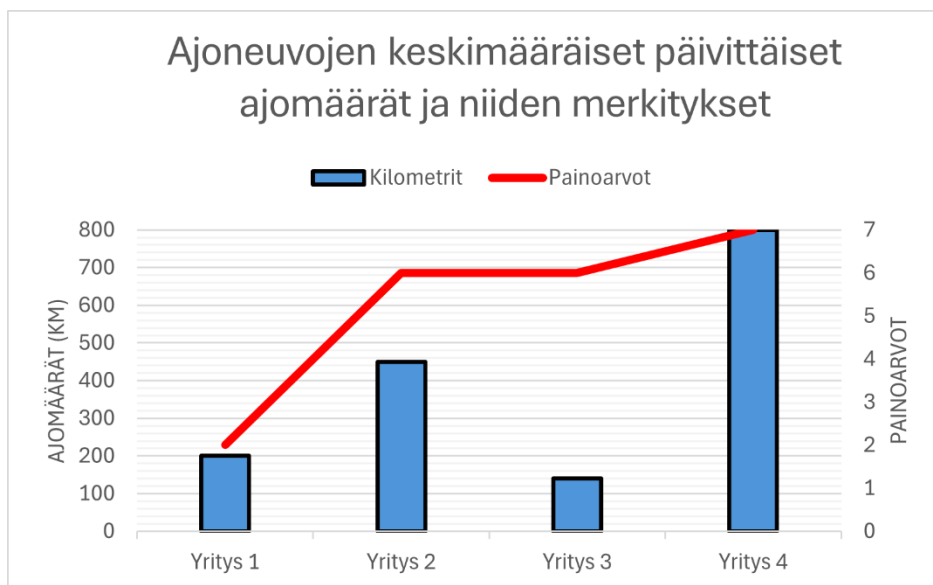
4.2.1 Strukturoidun ja puolistrukturoidun kyselyn tulosten ryhmittely

Aineiston ryhmittelyssä ajoneuvojen kantama, yritysten ajomäärät ja etäisyydet asiakkaista sekä jakeluasemista osoittautuvat keskeisiksi teemoiksi (Liite 1). Vastauksista havaitaan yritysten välisiä eroja niin kaluston ominaisuuksissa kuin toimintaympäristöissä (kuva 12). Esimerkiksi yritys 2:n ajoneuvojen suurempi ilmoitettu keskimääräinen kantama ja suurempi painoarvo viittaa siihen, että yrityksen ajoneuvoilla ajetaan todennäköisesti pidempiä matkoja kerrallaan. Toisaalta yritys 1:n ilmoittama lyhyempi kantama viittaa siihen, että ajoneuvoja tarvitaan lyhyemmille etäisyyksille.



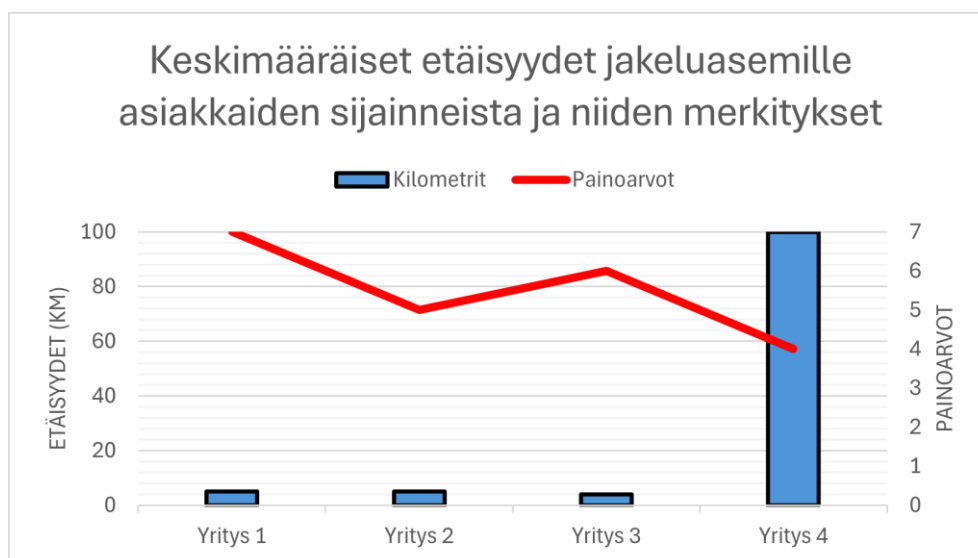
Kuva 12. Yritysten keskimääräinen ajoneuvojen kantama yhdellä tankillisella ja niiden merkitys yrityksen toiminnalle. Kantamat ovat kilometreinä vasemmanpuoleisella akselilla ja merkitykset painoarvoina oikeanpuoleisella akselilla.

Päivittäisten keskimääräisten ajomäärien tarkastelu tarjoaa tietoa jakeluasemien sijoittamisen ja ajoneuvojen käytön kannalta, sillä ajomäärät kuvastavat ajoneuvojen käyttöastetta (kuva 13). Yritysten päivittäiset ajosuoritteet eroavat toisistaan huomattavasti. Esimerkiksi yritys 3 raportoi ajoneuvojensa keskimääräiseksi ajomääräksi 140 kilometriä päivässä, kun taas yritys 4:n ajosuorite nousee jopa 800 kilometriin. Erot ovat merkittäviä, ja niistä on pääteltävissä yritysten toimintaympäristöjen erilaisuus. Yrityksen 4 ajoneuvoilla ajetaan pidempiä matkoja suuremmilla teillä, kun taas yrityksen 3 ajoneuvot toimivat todennäköisemmin taajama-alueiden sisäpuolella paikallisemmassa ajossa.



Kuva 13. Ajoneuvojen keskimääräiset päivittäiset ajomäärät ja niiden merkitykset. Ajomäärät ovat kilometreinä vasemmanpuoleisella akselilla ja merkitykset painoarvoina oikeanpuoleisella akselilla.

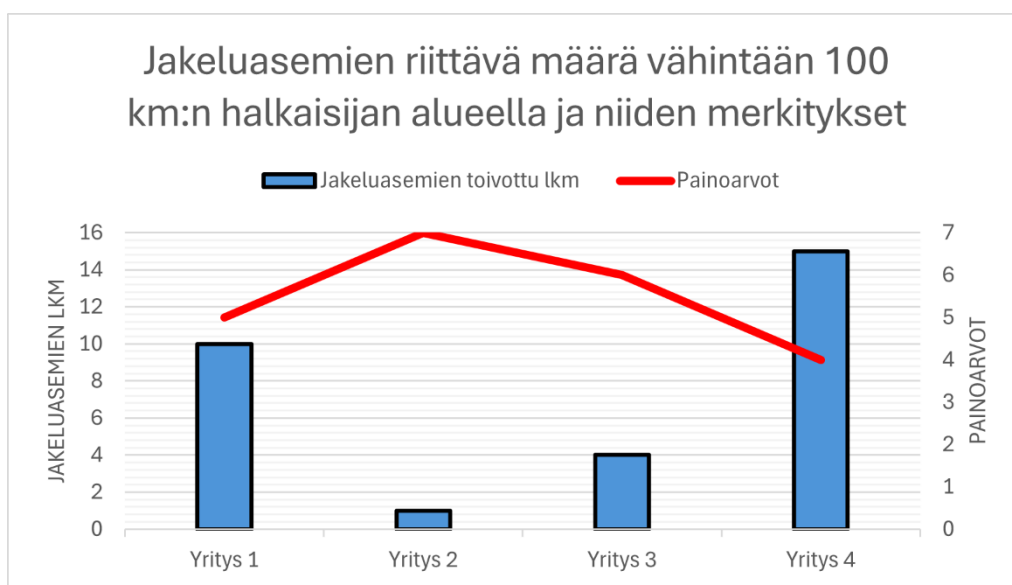
Yritykset nostivat esille myös kaasuasemien läheisyyden merkityksen erityisesti omien terminaaliensa ja asiakaskohteidensa yhteydessä (kuva 14). Ilmoitetut toivottavat etäisyydet vaihtelivat 4–100 kilometrin välillä. Yritys 4 ilmoitti keskimääräiseksi etäisyydeksi jopa 100 kilometrin etäisyyden, kun taas muut yritykset antoivat huomattavasti pienempiä lukemia. Etäisyydet näyttäytyvät konkreettisena mittarina jakeluverkoston kattavuudelle eri yritysten toimintaympäristöissä.



Kuva 14. Keskimääräiset etäisyydet jakeluasemille asiakkaiden sijainneista ja niiden merkitykset. Etäisyydet ovat kilometreinä vasemmanpuoleisella akselilla ja merkitykset painoarvoina oikeanpuoleisella akselilla.

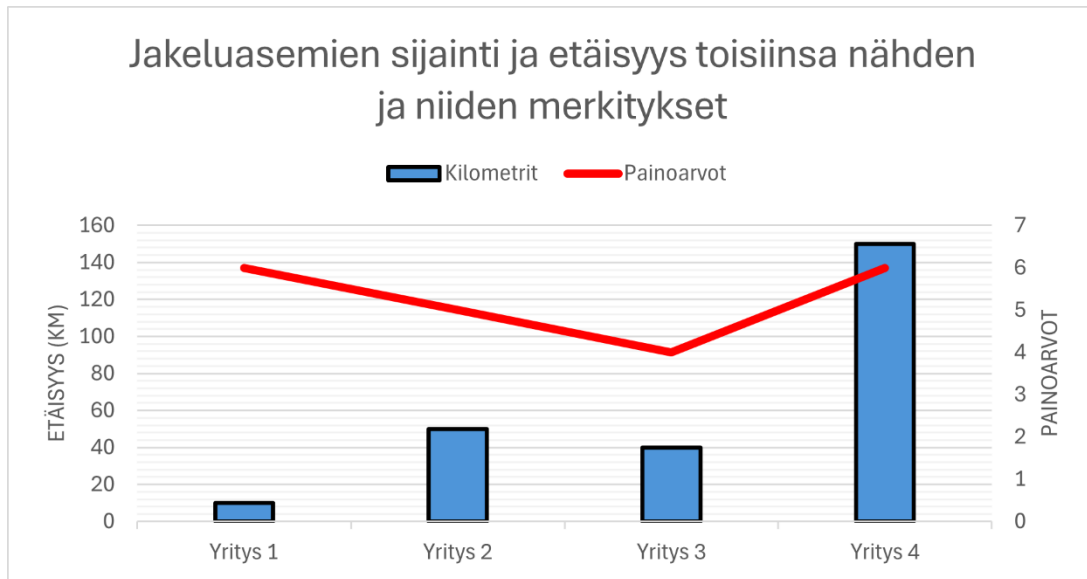
Esimerkiksi yritys 1 ilmoitti merkitykseksi täydet 7 pistettä, verrattuna yrityksen 4 antamaan neljään pisteeseen. Yritys 1 haluaa pysyä lyhyempien ajomatkojensa takia lähellä asiakkaita ja jakeluasemia, kun taas yritys 4:n pidemmät ajomatkat antavat enemmän joustoa asiakkaiden ja jakeluasemien välisissä etäisyyksissä.

Jakeluasemien sijainnit ja niiden lukumäärät tietyllä alueella ovat keskeisessä asemassa yritysten toiminnan kannalta (kuva 15). Yritykset arvioivat, kuinka monta jakeluasemaa tarvitaan 100 kilometrin halkaisijan alueella, jotta verkosto vastaisi yrityksen tarpeita, sekä kuinka tärkeänä yritys pitävät jakeluasemien tiheyttä eri alueilla. Yritys 1 mainitsi, että heidän toimintansa kannalta 10 jakeluasemaa olisi hyvä määrä, kun taas yritykselle 2 riittäisi yksi jakeluasema, mutta se olisi tärkeässä roolissa, saaden täydet 7 pistettä merkityksen kannalta. Yritys 4 kuitenkin arvioi, että heidän toimintansa kannalta peräti 15 jakeluasemaa olisi riittävä määrä. Tässä yritys 4 on todennäköisesti ajatellut asiaa tulevaisuuden kannalta toimintansa laajentamisen ja kaasukäyttöisten ajoneuvojensa lisäämisen kannalta.



Kuva 15. Jakeluasemien riittävä määrä vähintään 100 km:n halkaisijan alueella ja niiden merkitys yritykselle. Jakeluasemien lukumäärä on vasemmanpuoleisella akselilla ja niiden merkitykset oikeanpuoleisella akselilla.

Myös jakeluasemien väliset etäisyydet jakoivat yrityksiä erilleen (kuva 16). Toivottujen kaasuasemien välisten etäisyyksien vaihteluväli oli suurta, sillä esimerkiksi yritys 1 ilmoitti heidän toimintansa kannalta jakeluasemien sopivaksi etäisyydeksi toisistaan 10 kilometriä, kun taas yritykselle 4 tämä on jopa 150 kilometriä. Toisaalta esimerkiksi yritys 3 ilmoitti etäisyydeksi 40 kilometriä ja vähiten merkitykselliseksi kriteeriksi kaikista yrityksistä, antaen arvosanan 4. Yritykset 1 ja 4 antoivat painoarvon 6.



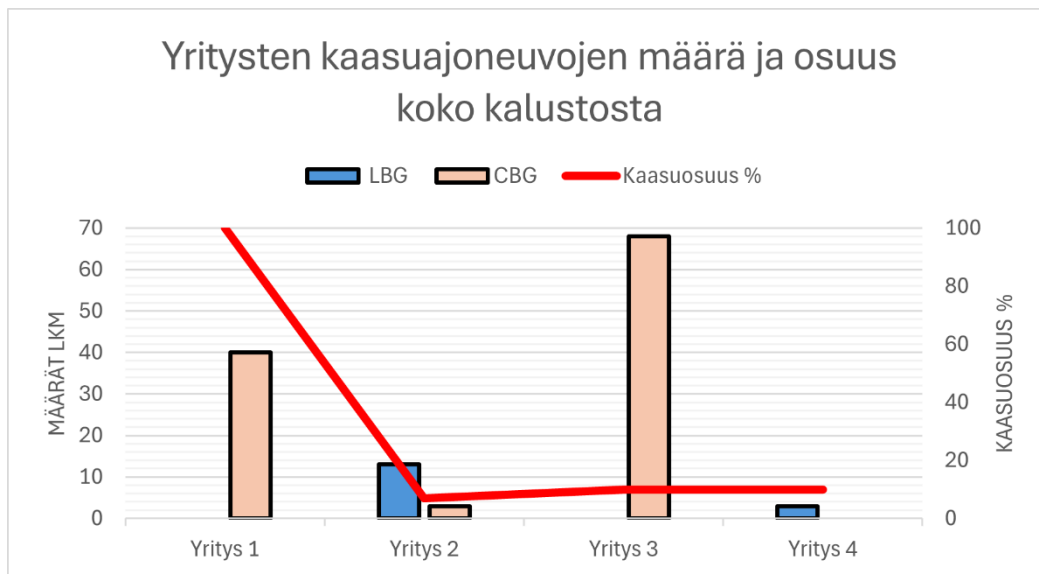
Kuva 16. Jakeluasemien sijainti ja etäisyys toisiinsa nähden sekä niiden merkitykset yrityksille, eli millä etäisyydellä jakeluasemien tulisi sijaita toisistaan yrityksen toiminnan kannalta. Etäisyydet ovat kilometreinä vasemmanpuoleisella akselilla ja merkitykset painoarvoina oikeanpuoleisella akselilla.

4.2.2 Puolistrukturoidun kyselyn tulosten ryhmittely

Puolistrukturoidun kyselyn perusteella voidaan muodostaa kokonaiskuva siitä, miten eri yritykset hyödyntävät kaasujoneuvoja nykyisessä toiminnassaan, millaisia ajoneuvotyyppisiä ja -määriä niillä on käytössään sekä miten ajoneuvojen tekniset ominaisuudet, kuten kantama, vaikuttavat niiden käyttömahdollisuuksiin (Liite 2).

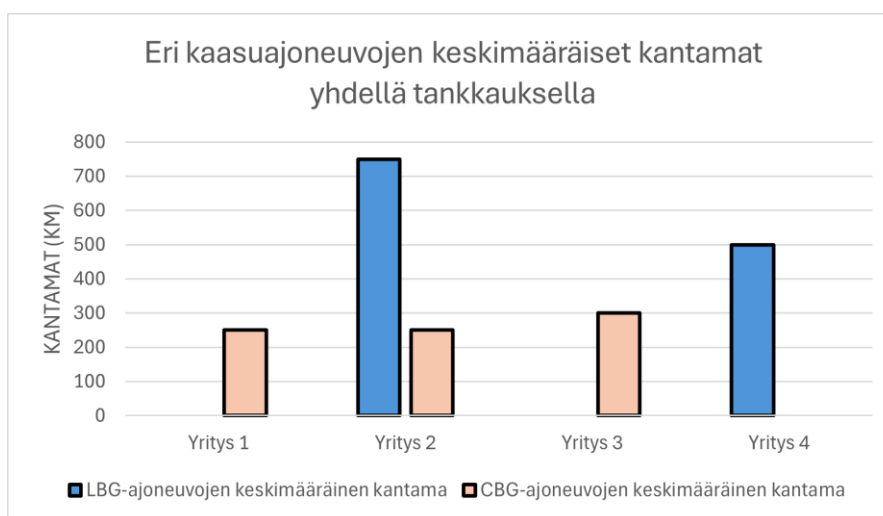
Kysymyksen 1 ”Kuinka monta kaasujoneuvoa yrityksellänne on käytössä, ja minkä tyyppisiä ne ovat?” perusteella selviää, että yrityksillä on merkittäviä eroja kaluston määrässä ja kokoonpanossa (kuva 17). Yrityksellä 1 on käytössään 40 kaasujoneuvoa, kun taas yrityksellä 2 on yhteensä 16 ajoneuvoa, jotka koostuvat kolmesta CBG:tä käyttävästä ajoneuvosta ja kolmestatoista LBG:tä käyttävästä ajoneuvosta. Yrityksellä 3 on käytössään 68 CBG-ajoneuvoa ja yrityksellä 4 on kolme LBG:tä käyttävää ajoneuvoa. Kysymyksen 2, ”Mikä on kaasukäyttöisen raskaan kaluston osuus yrityksenne koko raskaasta kalustosta?”, vastaukset osoittavat yritysten nykyisen toimintasuunnitelman ja sitoutumisen tasot kaasukäyttöiseen kalustoon (kuva 16). Yrityksellä 1 koko raskas kalusto on kaasukäyttöistä, kun taas yrityksillä 3 ja 4 kaasukäyttöisten ajoneuvojen osuus on 10 %. Yrityksellä 2 osuus on puolestaan 7 %. Tämä antaa kuvan siitä, että tietyt yritykset ovat siirtyneet suurelta osin

biokaasun käyttöön ja toisilla yrityksillä biokaasu on vielä pienempi osa yrityksen toiminnasta.



Kuva 17. Yritysten kaasujoneuvojen määrät ja osuudet niiden koko ajoneuvokalustosta. Ajoneuvojen määrät ovat vasemmanpuoleisella akselilla ja osuudet prosentteina oikeanpuoleisella akselilla.

Kysymyksen 3, ”Mikä on eri ajoneuvotyyppienne kantama yhdellä kaasutankkauksella?”, vastaukset osoittavat, että ajoneuvojen kantama vaihtelee huomattavasti ajoneuvoluokittain sekä yrityksittäin (kuva 18). Yritys 1 ilmoittaa CBG-ajoneuvojensa kantamaksi 200–250 kilometriä, kun taas yrityksen 2 CBG-ajoneuvojen kantama on 250 kilometriä ja LBG:tä käytävillä ajoneuvoilla kantama on 500–1000 kilometriä. Yritys 3 ilmoittaa CBG-ajoneuvojensa kantamaksi keskimäärin 300 kilometriä, ja yritys 4 puolestaan LBG-ajoneuvojensa kantamaksi 400–600 kilometriä.



Kuva 18. Yritysten erityyppisten kaasujoneuvojen kantamat yhdellä tankkauksella. Ajoneuvojen kantamat ovat vasemmanpuoleisella akselilla.

Tämä vaihtelu saattaa selittyä paitsi ajoneuvojen ominaisuuksilla, kuten polttoainesäiliön koolla, myös kaluston käyttötarkoituksilla ja ajosuunnitelmilla. Kantama on käytännössä ratkaiseva tekijä reittien suunnittelussa, sillä se määrittää ajoneuvon toimintasäteen ja näin ollen suoraan myös riippuvuuden jakeluverkostosta. Esimerkiksi yrityksen 2 LBG-ajoneuvojen jopa 1000 kilometrin kantama mahdollistaa huomattavasti suuremman joustovaran tankkauksien kannalta verrattuna yrityksen 1 CBG-ajoneuvojen noin 250 kilometrin maksimikantamaan.

Yritysten vastausten ryhmittelyn perusteella voidaan tunnistaa myös useita muita keskeisiä teemoja, jotka ohjaavat biokaasun käyttöönottopäätöksiä. Ympäristövaikutukset ja vastuullisuus muodostavat selvästi keskeisen teeman yritysten päätöksenteossa. Tämä korostuu erityisesti kysymyksissä 12 (ympäristömääräykset ja niiden vaikutus biokaasun käyttöön) ja 13 (biokaasun käytön ympäristövaikutukset ja yrityksen imago). Kaikki yritykset tuovat esille sen, että biokaasun vähäpäästöisyys on merkittävä tekijä vastuullisuusstrategiassa. Ei ainoastaan ympäristön, vaan myös yrityksen imagon ja asiakassuhteiden kannalta. Esimerkiksi yritys 2 toteaa kysymyksessä 12, että *"Kaasu on tällä hetkellä oikeastaan ainut realistinen vaihtoehto vastata vastuullisuushaasteisiin."* Lisäksi Yritys 1 mainitsee kysymyksessä 15, että *"Ympäristöasiat ovat valintaperusteemme."* Tämä osoittaa, että ympäristövastuu ei ole pelkkä sivuseikka, vaan myös keskeinen kriteeri ajoneuvohankinnoissa.

Toinen toistuva teema on taloudelliset tekijät ja kannattavuus, jotka nousevat esiin erityisesti kysymyksissä 4 (biokaasun ja dieselin kustannukset) ja 6 (biokaasuajoneuvojen käyttöönoton kustannukset). Yritys 2 tuo esiin, että biokaasun päivittäiset käyttökustannukset voivat olla dieseliä edullisemmat, kun taas ajoneuvojen hankintakustannukset voivat heikentää kokonaiskannattavuutta. Toisaalta yritys 3 mainitsee, että vaikka polttoainekustannukset voivat olla hieman korkeammat kuin dieselillä, kaasuajoneuvojen ylläpitokustannukset ovat pienemmät. Yritys 4 puolestaan painottaa, että erityisesti suurimmissa ja raskaimmissa ajoneuvoissa biokaasu voi olla taloudellisesti kannattavampi vaihtoehto. Taloudelliset näkökohdat eivät kuitenkaan rajoitu pelkkään polttoainehintaan, vaan myös esimerkiksi tankkausaikaan liittyviin kustannuksiin, kuten yritys 2 toteaa kysymyksessä 8:

"Tankkaustapahtuma on pidempi kuin dieselillä eli kaikki ylimääräinen aika maksaa (kuljettajan palkka). Eli on tärkeää." Tämä havainnollistaa, että myös itse toiminnallinen tehokkuus, eli kuinka hyvin yritys tai organisaatio pystyy tuottamaan tuotteita tai palveluita mahdollisimman pienillä kustannuksilla, vaikuttaa ajoneuvojen käyttövoiman valintaan.

Kolmantena teemana nousee esiin infrastruktuurin ja jakeluasemaverkoston kattavuus. Kaikki yritykset painottivat, että biokaasun käytön laajentaminen on suoraan riippuvainen siitä, miten hyvin jakeluasemia on sijoitettu yritysten toiminta-alueille. Esimerkiksi yritys 2 kertoo kysymyksessä 16 (Kaasuasemien riittävyys ja alueelliset erot), että heidän kaasuajoneujensa sijoittaminen määräytyy sen mukaan, missä jakeluasemia on saatavilla. Mikäli tietyllä alueella ei ole jakeluasemaa, joutuu yritys 2 turvautumaan dieselajoneuvoihin.

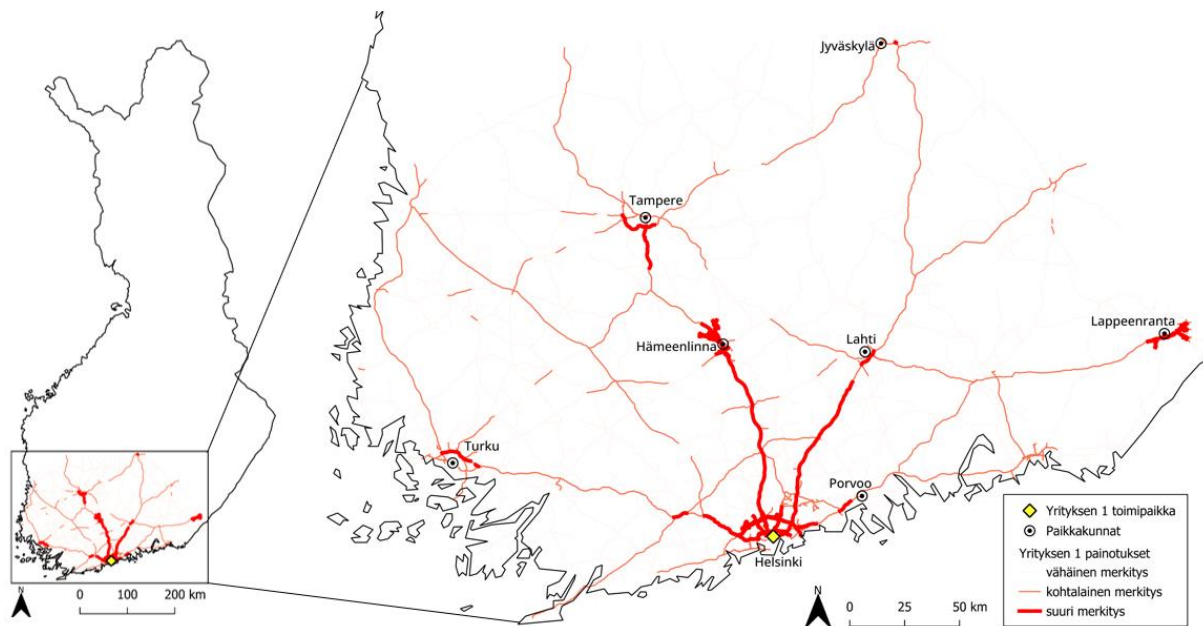
Yritys 4 puolestaan nostaa kysymyksessä 17 (Alueelliset erot kaasutankkausasemaverkostossa) esiin konkreettisen haasteen ja kertoo, että *"Mikäli paikkakunnalla on ainoastaan yksi tankkausasema, sen vikaantuessa tai kapasiteetin ollessa rajoitettu syntyy luonnollisesti ongelmia."* Samoin yritys 3 tuo kysymyksessä 16 esiin, että *"Toimimme ympäri Suomen ja käyttäisimme biokaasua vielä enemmän, mikäli verkosto olisi laajempi."* Nämä vastaukset osoittavat, että biokaasun käyttöön ei suhtauduta pelkästään yhtenä valintana muiden joukossa, vaan toiminnallisena päätöksenä, joka kytkeytyy oleellisesti jakeluinfrastruktuurin saatavuuteen.

Neljäs teema liittyy uusiin kalustohankintoihin ja tulevaisuuden suunnitelmiin, jotka nousevat esiin kysymyksissä 11 (kaasuajoneuvojen hankinta) ja 20 (kaasutankkausverkoston kehittyminen). Useat yritykset ilmaisevat aikovansa lisätä biokaasuajoneuvoja tulevaisuudessa, mutta suunnitelmien toteutuminen on vahvasti sidoksissa infrastruktuurin kehittämiseen. Yritys 1, yritys 2 ja yritys 3 kertovat, että heillä on konkreettisia suunnitelmia uusista biokaasuhankinnoista lähitulevaisuudessa. Yritys 4 kuitenkin huomauttaa kysymyksessä 20, että hankinnat riippuvat siitä, kuinka hyvin tankkausmahdollisuudet kehittyvät tulevaisuudessa heidän käyttämillään reiteillään. Uuden kaasukäyttöisen kaluston hankinta ja sijoittelu vaativat taakseen siis luotettavan ja kattavan jakeluasemaverkoston.

4.3 Uusien jakeluasemien mahdollisten sijaintipaikkojen tarkastelu

4.3.1 Verkostoanalyysin ja yritysnäkökulmien yhdistäminen

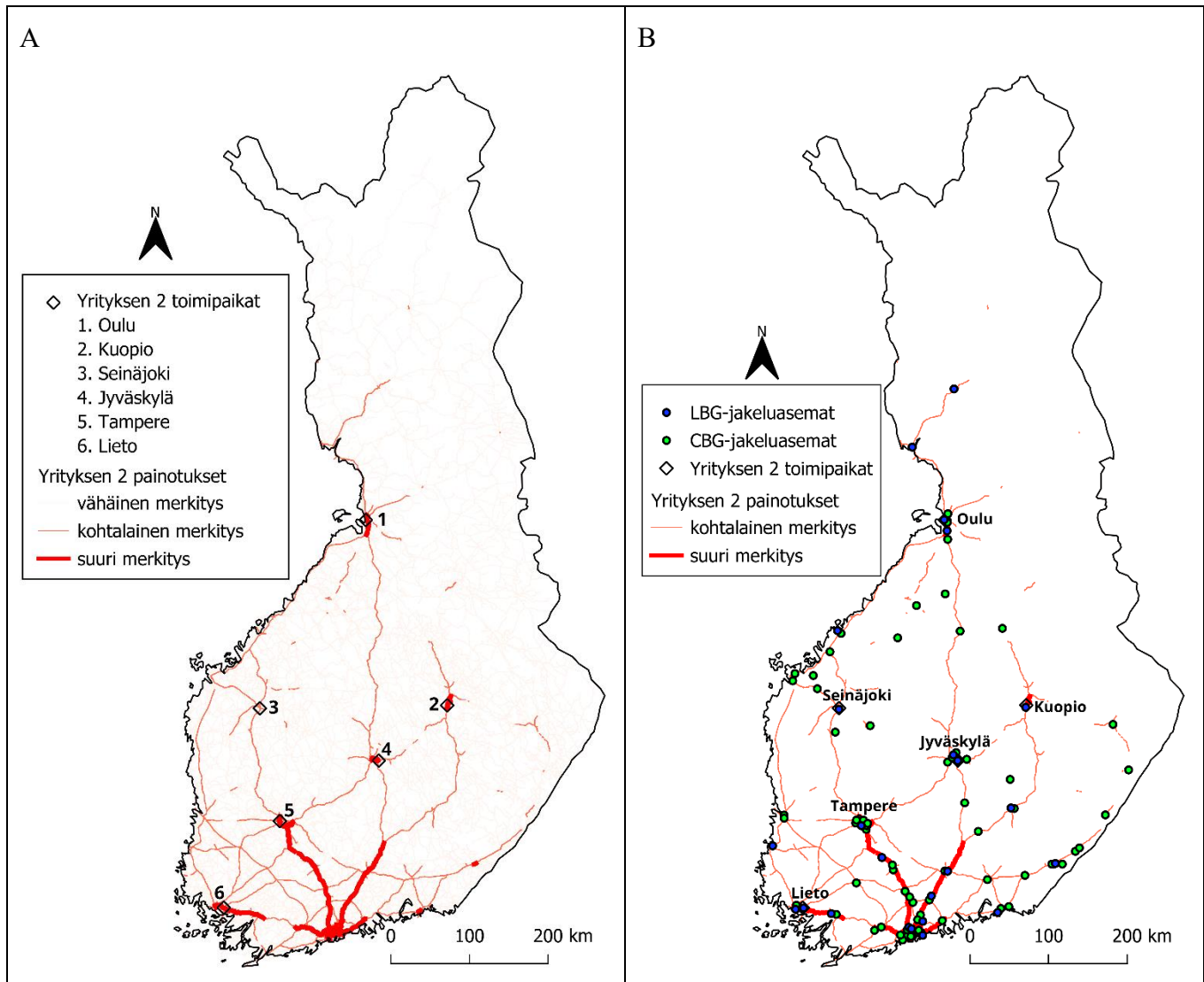
Yrityksen 1 toimipaikka on Helsingissä ja sen toimialue perustuu yrityksen ajoneuvojen keskimääräiseen kantamaan, joka sijoittuu eteläiseen Suomeen (kuva 19). Kartassa tieosuudet on luokiteltu niiden merkityksen mukaan. Suurimman merkityksen saaneet tieosuudet sijoittuvat valtavyylille ja suurten kaupunkikeskusten läheisyyteen. Näitä ovat tieosuudet Helsingistä Hämeenlinnaan ja Lahteen, sekä Lappeenrannan, Porvoon ja Turun alueet.



Kuva 19. Yrityksen 1 toimipaikka ja tieverkkoanalyysi. Suurimman merkityksen saaneet tieosuudet on korostettu paksuammalla ja kirkkaammalla punaisella viivalla, kun taas kohtalaisen merkityksen saaneet ovat haaleampia ja ohuempia. Vähäisen merkityksen saaneet tieosuudet ovat kaikkein haaleimpia ja kapeimpia. Karttaan on myös lisätty muutamia suurimpia paikkakuntia helpottamaan niiden tulkintaa.

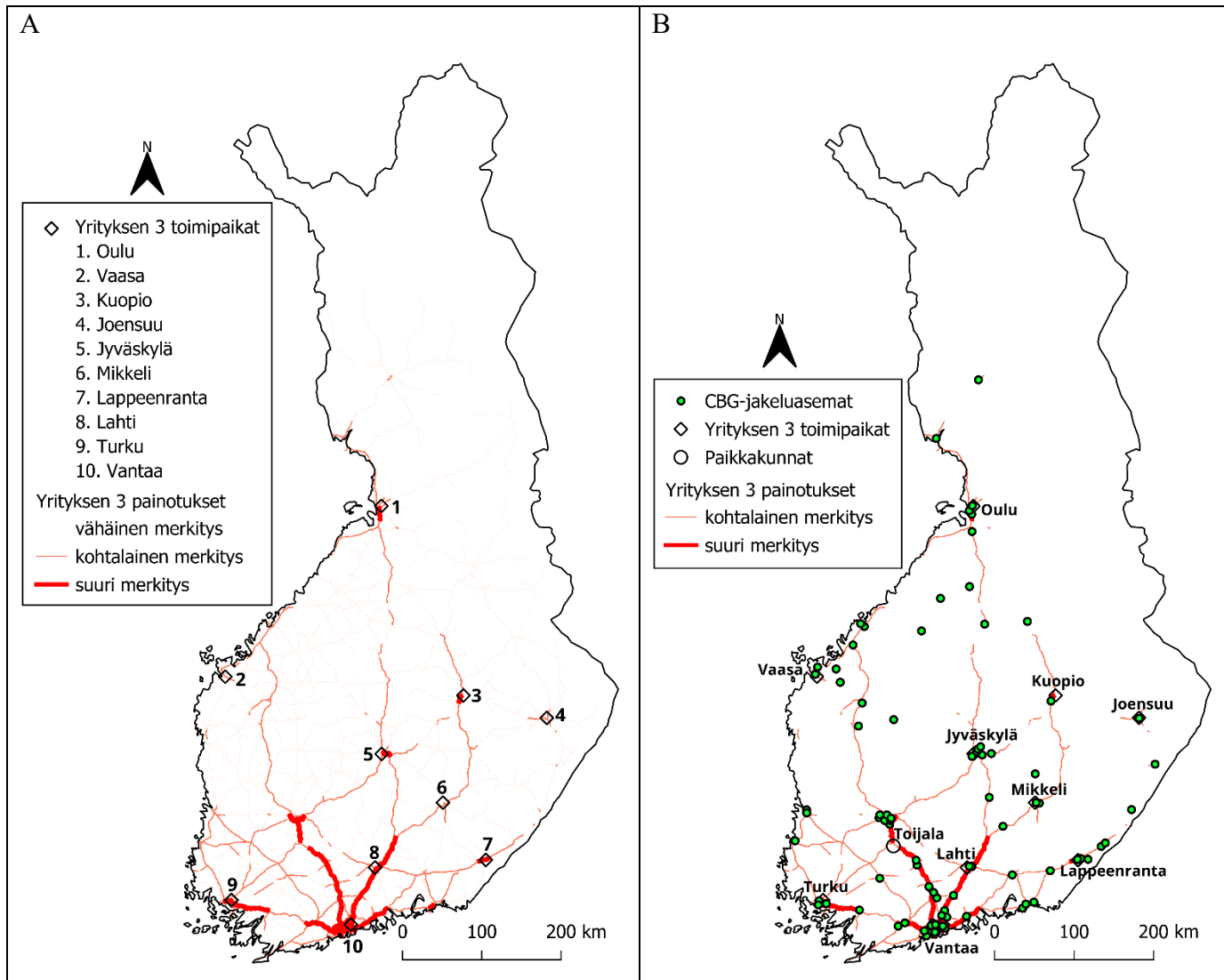
Yrityksen 2 toimipaikat ovat Oulussa, Kuopiossa, Seinäjoella, Jyväskylässä, Tampereella ja Lahdessa (kuva 20A). Yrityksen 2 toimialue perustuu yrityksen ajoneuvojen keskimääräiseen kantamaan ja kattaa koko Suomen lukuun ottamatta aivan Suomen pohjoisinta osaa.

Jokaisella yrityksen toimipaikalla tieosuudet saavat suuren merkityksen, paitsi Seinäjoella, jossa merkitys on kohtalainen. Jakeluasemat sijoittuvat yrityksen 2 toimipaikkojen läheisyyteen (kuva 20B). Jokaisella yrityksen toimipaikan paikkakunnan lähellä on LBG- ja CBG-jakeluasema.



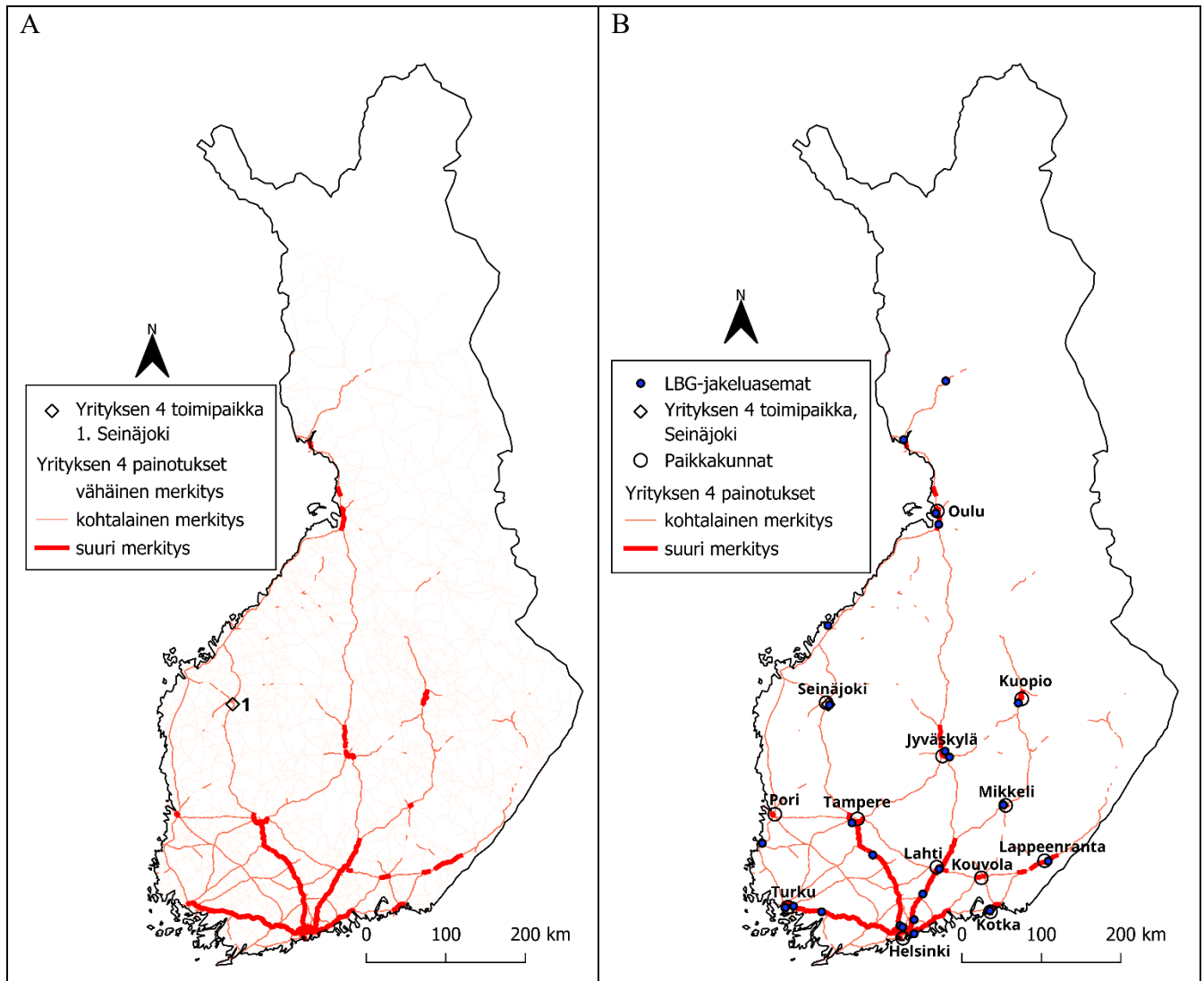
Kuva 20. A) Yrityksen 2 toimipaikat ja tieverkkopainotukset. B) Yrityksen 2 toimipaikat, jakeluasemat ja tieverkkopainotukset. Suurimman merkityksen saaneet tieosuudet on korostettu paksummalla ja kirkkaamman punaisella viivalla, kun taas kohtalaisen merkityksen saaneet ovat haaleampia ja ohuempia. Vähäisen merkityksen saaneet tieosuudet ovat kaikkein haaleimpia ja kapeimpia.

Yrityksen 3 toimipaikat ovat Oulu, Vaasa, Kuopio, Joensuu, Jyväskylä, Mikkeli, Lappeenranta, Lahti, Turku ja Vantaa (kuva 21A). Yritys 3:n toimialue perustuu sen ajoneuvojen keskimääräiseen toimintamatkaan, joka kattaa lähes koko Suomen lukuun ottamatta Pohjois-Lappia, alkaen hieman Rovaniemen pohjoispuolelta. Vaasan, Joensuun ja Mikkelin toimipaikan tieosuudet saavat kohtalaisen merkityksen, mutta muiden toimipaikkojen tieosuudet saavat suuren merkityksen. Jakeluasemat sijoittuvat yrityksen 2 toimipaikkojen läheisyyteen (kuva 21B). Jokaisella yrityksen toimipaikan paikkakunnalla on CBG-jakeluasema. Toijalan alueen tieosuus Etelä-Suomessa, Tampereen ja Hämeenlinnan välillä, nousee erityisesti esille, jossa on katko suuren merkityksen tieosuudesta kohtalaisen merkityksen tieosuuteen.



Kuva 21. A) Yrityksen 3 toimipaikat ja tieverkkopainotukset. B) Yrityksen 3 toimipaikat, jakeluasemat ja tieverkkopainotukset sekä paikkakunta helpottamaan karttojen tulkintaa. Tieosuudet on luokiteltu niiden merkityksen mukaan. Suurimman merkityksen saaneet tieosuudet on korostettu paksummalla ja kirkkaamman punaisella viivalla, kun taas kohtalaisen merkityksen saaneet ovat haaleampia ja ohuempia. Vähäisen merkityksen saaneet tieosuudet ovat kaikkein haaleimpia ja kapeimpia.

Yrityksen 4 toimipaikka sijaitsee Seinäjoella (kuva 22A). Yrityksen toimialue perustuu yrityksen ajoneuvojen keskimääräiseen kantamaan ja kattaa koko Suomen, lukuun ottamatta Pohjois-Lappia, alkaen hieman Rovaniemen pohjoispuolelta. LBG-jakeluasemat sijoittuvat suurimmaksi osaksi yrityksen 2 toimipaikkojen läheisyyteen (kuva 22B). Tarkastelin yrityksen 4 suuren merkityksen saaneita tieosuuksia ja LBG-jakeluasemia, jotta nähdään, sijoittuvatko LBG-jakeluasemat niille näille suuren merkityksen saaneiden tieosuuksien alueille. Porin ja Kouvolan alueilla, joilla on suureksi merkityksiksi määritettyjä tieosuuksia, ei ole LBG-jakeluasemia. Sen sijaan muilla vastaavilla alueilla sijaitsee LBG-jakeluasema.



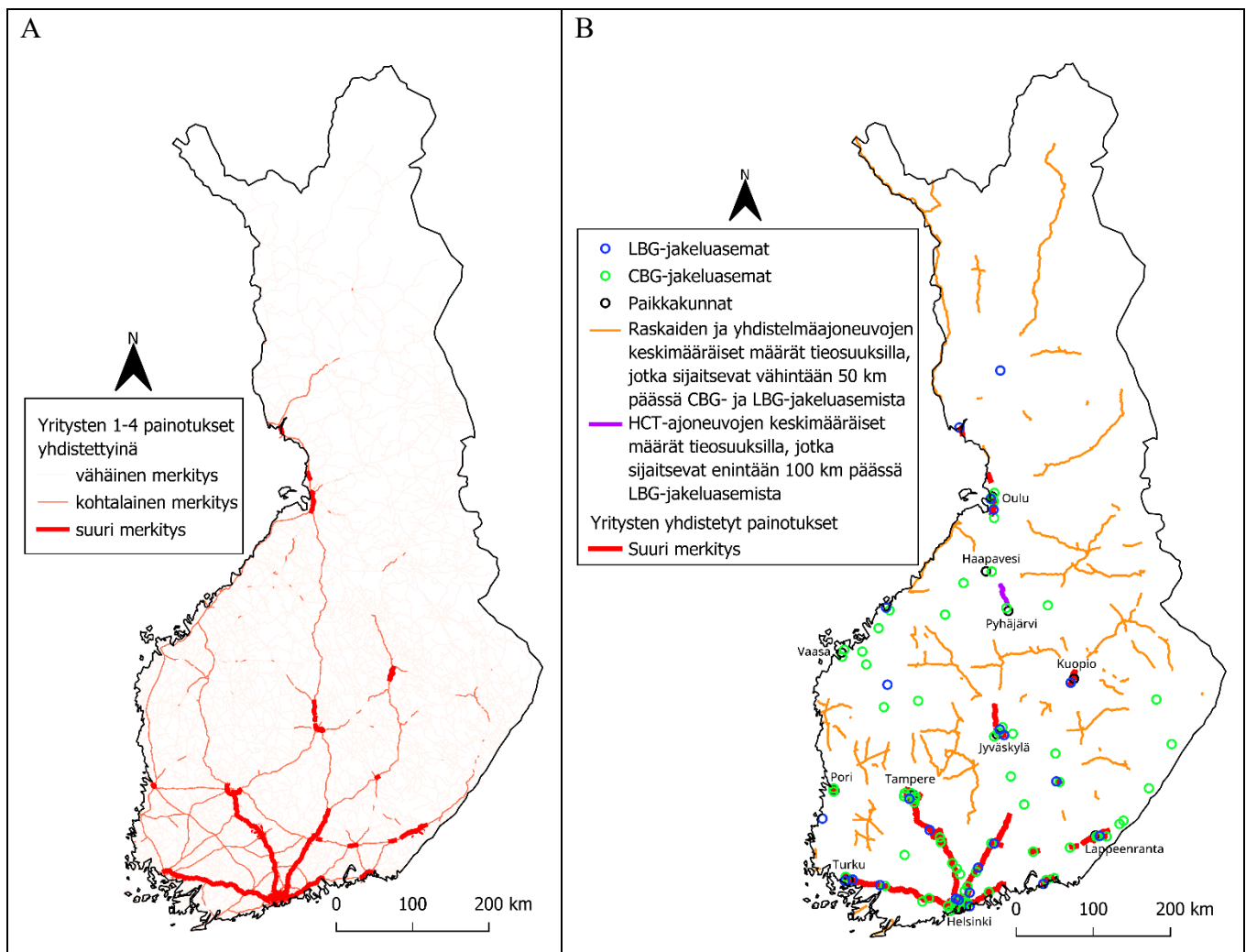
Kuva 22. A) Yrityksen 4 toimipaikka ja tieverkkopainotukset. B) Yrityksen 4 toimipaikat, jakeluasemat ja tieverkkopainotukset sekä suuremmat paikkakunnat helpottamaan karttojen tulkintaa. Tieosuudet on luokiteltu niiden merkityksen mukaan. Suurimman merkityksen saaneet tieosuudet on korostettu paksummalla ja kirkkaamman punaisella viivalla, kun taas kohtalaisen merkityksen saaneet ovat haaleampia ja ohuempia. Vähäisen merkityksen saaneet tieosuudet ovat kaikkein haaleimpia ja kapeampia.

4.3.2 Uusien jakeluasemien sijoittaminen

Kaikkien yritysten merkityksellisimmät tieosuudet yhdistettyinä nähdään, että suurimpien merkitysten saaneet tieosuudet painottuvat suurempien väylien ja paikkakuntien varrelle (kuva 23A). Itä- ja Länsi-Suomessa on suurimmaksi osaksi vain kohtalaisen ja vähäisen merkityksen saaneita tieosuuksia. Oulusta ja Rovaniemeltä pohjoisempaan Lapissa ei enään kohtalaisenkaan merkitysten saaneita tieosuuksia. Lisäksi poikittaisia vähintään kohtalaisen

merkitysten tieosuuksia ei ole lukuunottamatta Etelä-Suomea ja pientä patkkaa Keski-Suomessa Jyväskylän kohdalla.

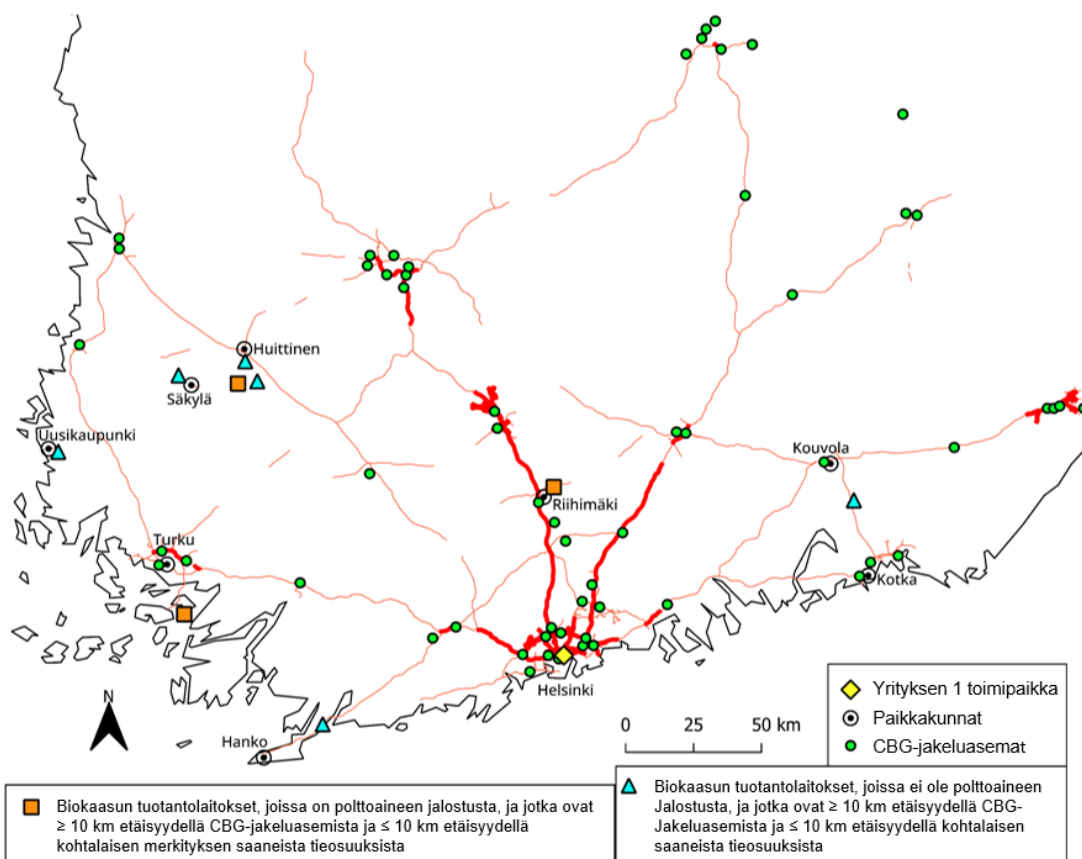
Yrityksiltä suurimmat merkitystä saaneet tieosuudet eivät ole samoja tieosuuksien kanssa, joilla esiintyy keskimääräistä yhdistelmä- ja raskaan ajoneuvojen määriä ja jotka ovat vähintään 50 kilometrin etäisyydellä CBG-jakeluasemista (kuva 23B). Lisäksi nämä yrityksiltä suurimman merkitysten saaneet tieouudet eivät mene päällekkäin HCT-ajoneuvojen keskimääräisten liikennemäärien tieosuuksien kanssa, jotka ovat vähintään 100 kilometrin etäisyydellä LBG-jakeluasemista.



Kuva 23. A) Yritysten 1, 2, 3 & 4 yhdistettyjen tieosuuksien painotukset. B) Punaisella näkyvät ne tieosuudet, jotka ovat saaneet yrityksiltä suurimmat merkitykset. Oranssilla ovat ne raskaiden ja yhdistelmäajoneuvojen keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuudet, jotka sijaitsevat vähintään 50 kilometrin päässä CBG- ja LBG-jakeluasemista. Violetilla ovat ne tieosuudet, joilla on keskimääräistä HCT-ajoneuvojen liikennemäärää, ja jotka ovat vähintään 100 kilometrin etäisyydellä LBG-jakeluasemista. Kuvaan (B) on myös lisätty muutamia paikkakuntia helpottamaan kartan tulkintaa.

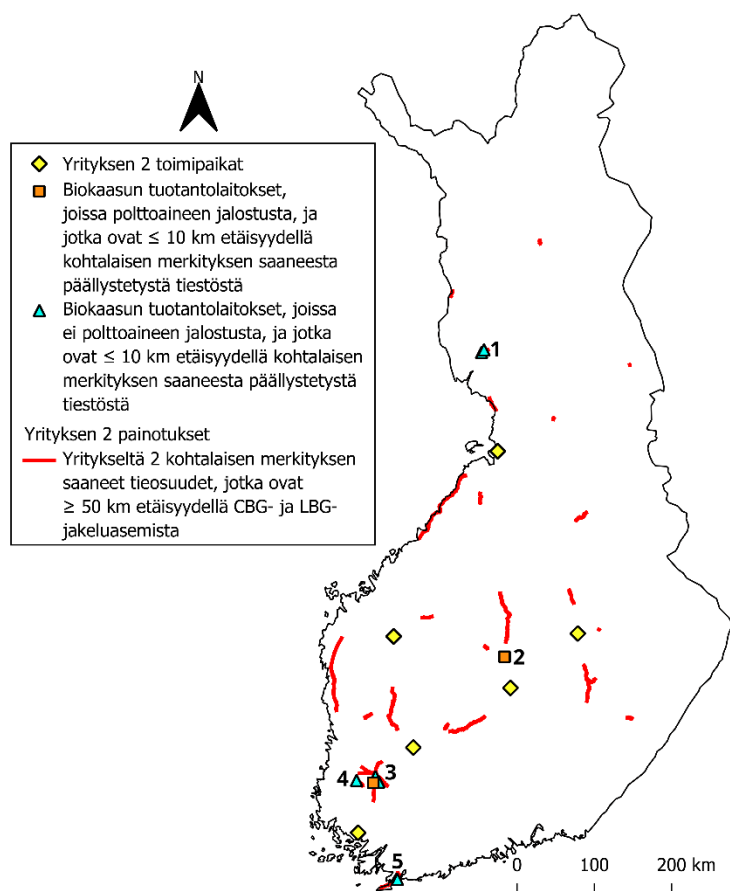
Käsittelen seuraavaksi niitä tuotantolaitoksia, jotka voisivat täydentää tieverkostoa alueilla, joilla ei ole olemassa olevia jakeluasemia. Tavoitteena on tunnistaa mahdollisia alueita, joissa tuotantolaitokset voisivat tukea uuden jakeluinfraktuurin kehittämistä yrityksen painottamien tieosuuksien läheisyydessä, ja joiden avulla voitaisiin täydentää jakeluasemien katvealueita. Nämä perustuvat niihin tieosuuksiin, jotka ovat enintään 10 kilometrin etäisyydellä yritysten vähintään kohtalaisen merkitysten saaneista tieosuuksista ja sijaitsevat yrityksen kyselyssä mainitseman välimatkan päässä lähimmästä jakeluasemasta.

Yritys 1:n osalta jakeluverkkoa mahdollisesti täydentävät tuotantolaitokset sijaitsevat pohjoisesta etelään tarkasteltuna seuraavilla paikkakunnilla (kuva 24): Kolme tuotantolaitosta Huittisten alueella, joista yksi jalostaa polttoainetta ja kaksi ei. Tuotantolaitos Säkylän alueella, jossa ei ole polttoaineen jalostusta. Kaksi tuotantolaitosta Uudenkaupungin alueella, joissa ei ole polttoaineen jalostusta. Tuotantolaitos Riihimäen alueella, jossa on polttoaineen jalostusta. Tuotantolaitos Kouvolan ja Kotkan välillä, jossa ei ole polttoaineen jalostusta. Lisäksi tuotantolaitos Hangon alueella, jossa ei ole polttoaineen jalostusta.



Kuva 24. Tuotantolaitosten paikkakunnat, jotka yhdistyvät yrityksen 1:n tieosuuksien painotuksiin siten, että ne sijaitsevat vähintään 10 kilometrin etäisyydellä CBG-jakeluasemista ja enintään 10 kilometrin päässä yrityksen 1 kannalta vähintään kohtalaisen merkityksen saaneista tieosuuksista. Näitä paikkakuntia ovat Huittinen, Säkylä, Uusikaupunki, Turku, Riihimäki sekä Kouvolan ja Kotkan välinen alue.

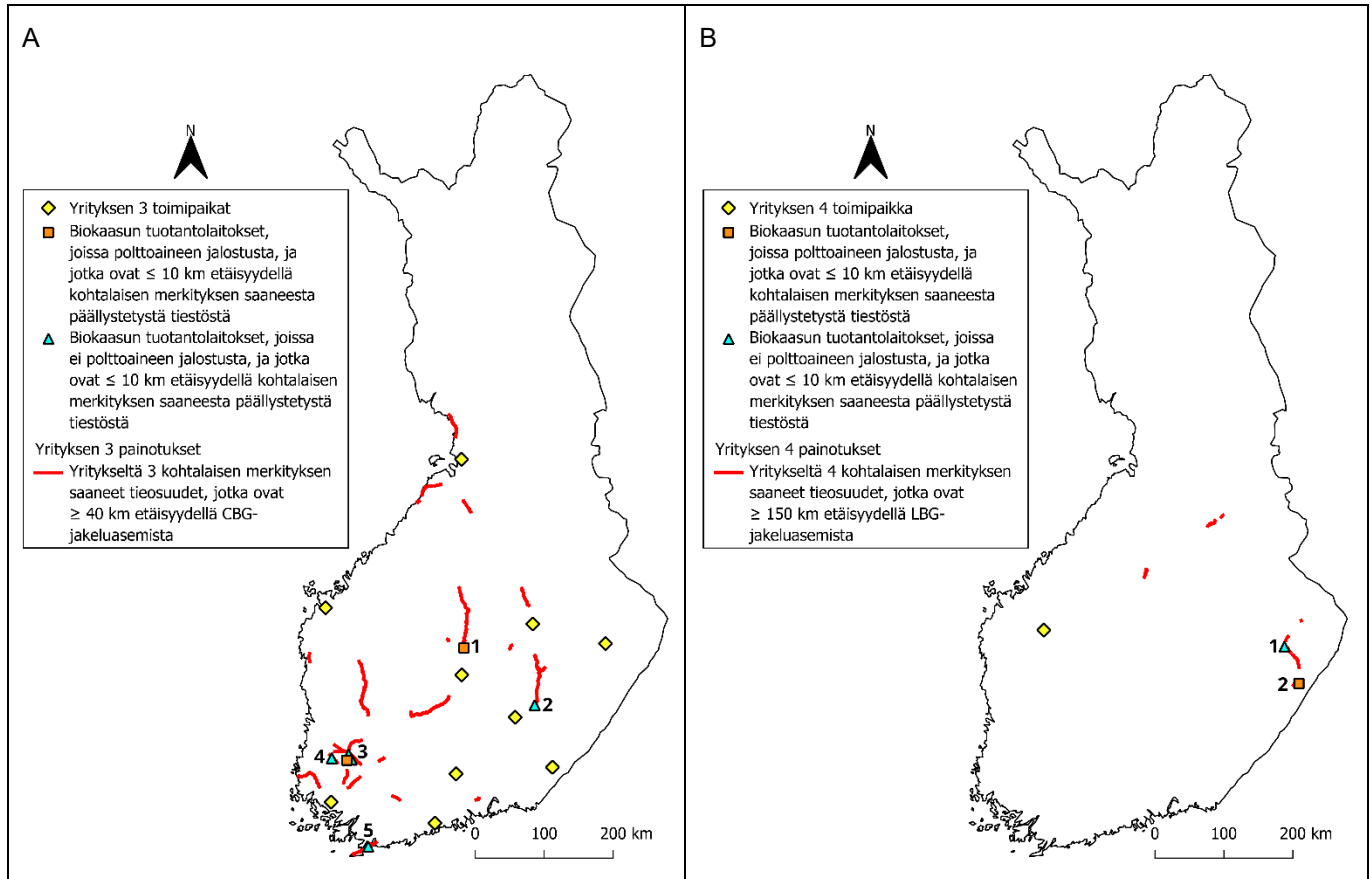
Yritys 2:n osalta jakeluverkkoa mahdollisesti täydentävät tuotantolaitokset sijaitsevat pohjoisesta etelään tarkasteltuna seuraavilla paikkakunnilla (kuva 25): 1, kaksi tuotantolaitosta Rovaniemeltä lounaaseen, jossa ei ole polttoaineen jalostusta. 2, tuotantolaitos Jyväskylästä pohjoiseen, jossa on polttoaineen jalostusta. 3, kolme tuotantolaitosta Huittisten alueella, joista yksi jalostaa polttoainetta ja kaksi ei. 4, tuotantolaitos Säkylän alueella, jossa ei ole polttoaineen jalostusta. 5, tuotantolaitos Hangon alueella, jossa ei ole polttoaineen jalostusta.



Kuva 25. Tuotantolaitosten paikkakunnat, jotka yhdistyvät yrityksen 2:n tieosuuksien painotuksiin siten, että ne sijaitsevat vähintään 50 kilometrin etäisyydellä CBG- ja LBG-jakeluasemista ja enintään 10 kilometrin päässä yrityksen 2 kannalta vähintään kohtalaisen merkityksen saaneista tieosuuksista. Näitä paikkakuntia ovat: 1. Rovaniemi, 2. Jyväskylä, 3. Huittinen, 4. Säkylä ja 5. Hanko.

Yritys 3:n osalta jakeluverkkoa mahdollisesti täydentävät tuotantolaitokset sijaitsevat pohjoisesta etelään tarkasteltuna seuraavilla paikkakunnilla (kuva 26A): 1, laitos Jyväskylän pohjoispuolella, jossa on polttoaineen jalostusta. 2, laitos Mikkelistä kaakkoon, jossa ole ei jalostusta. 3, Huittisten alueella olevat yksi jalostava ja kaksi ei-jalostavaa tuotantolaitosta. 4, laitos Säkylän alueella, jossa ei ole jalostusta. 5, laitos Hangon alueella, jossa ei ole jalostusta.

Yritys 4:n osalta jakeluverkkoa mahdollisesti täydentävät sijaitsevat pohjoisesta etelään tarkasteltuna seuraavilla paikkakunnilla (kuva 26B): 1, laitos Joensuun alueella, jossa ei ole polttoaineen. 2, laitos Kiteen alueella, jossa on polttoaineen jalostusta.

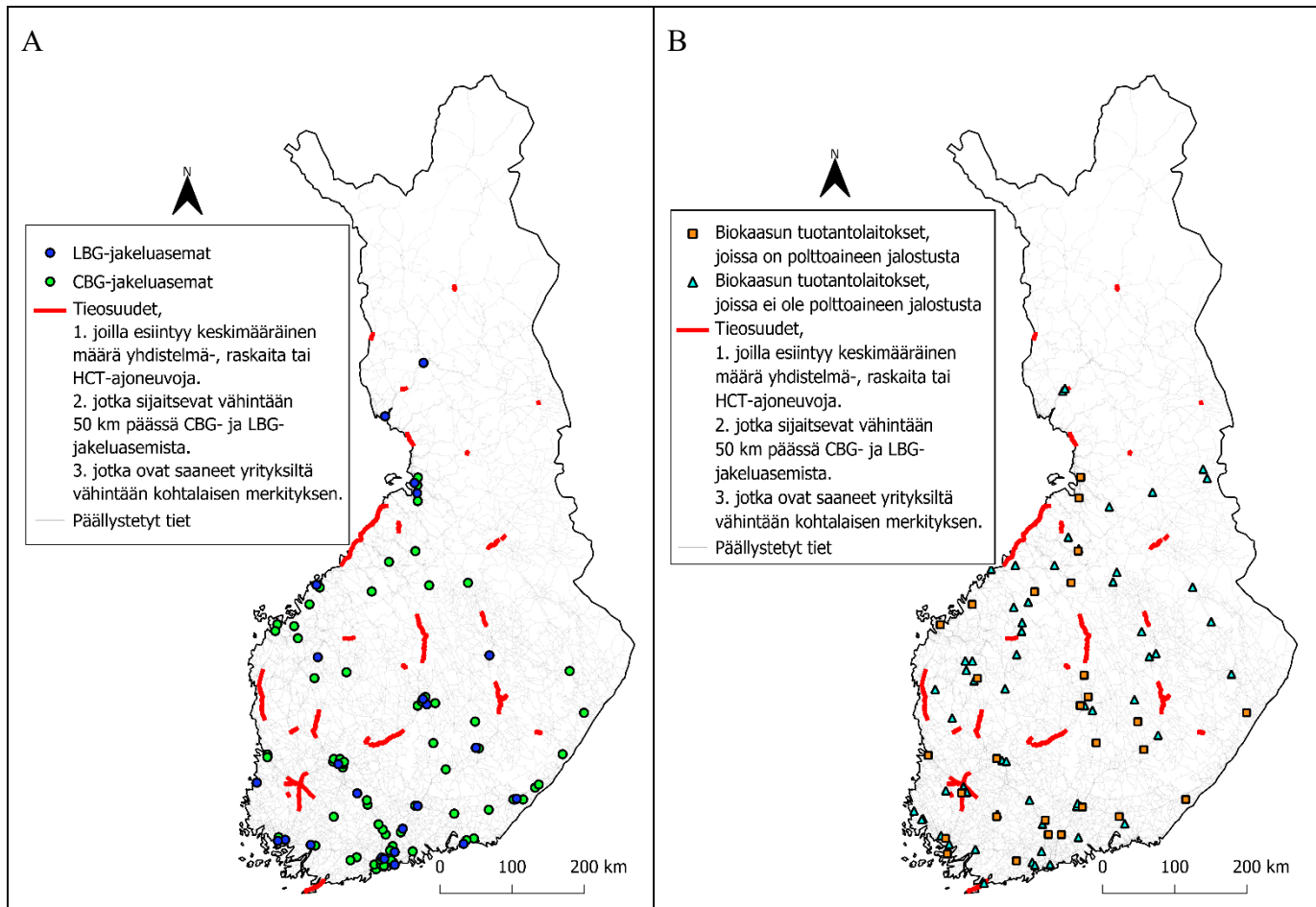


Kuva 26. A) Tuotantolaitosten paikkakunnat, jotka yhdistyvät yrityksen 3:n tieosuuksiin siten, että ne sijaitsevat vähintään 40 kilometrin etäisyydellä CBG-jakeluasemista ja enintään 10 kilometrin päässä yrityksen 3 kannalta vähintään kohtalaisen merkityksen saaneista tieosuuksista. Näitä paikkakuntia ovat 1. Jyväskylä, 2. Mikkeli, 3. Huittinen, 4. Säkyä ja 5. Hanko. B) Tuotantolaitosten paikkakunnat, jotka yhdistyvät yrityksen 4:n tieosuuksiin siten, että ne sijaitsevat vähintään 150 kilometrin etäisyydellä LBG-jakeluasemista ja enintään 10 kilometrin päässä yrityksen 4 kannalta vähintään kohtalaisen merkityksen saaneista tieosuuksista. Näitä paikkakuntia ovat: 1. Joensuu ja 2. Kitee.

Seuraavat tieosuudet kuvaavat liikenteellisesti merkittäviä alueita, joilla jakeluinfrastruktuuri on tällä hetkellä puutteellinen (kuva 27A & kuva 27B). Nämä tieosuudet täyttävät kolme oleellista kriteeriä. Niillä kulkee keskimääräistä HCT-, yhdistelmä- tai raskasta liikennettä, ne sijaitsevat vähintään 50 kilometrin päässä sekä CBG- että LBG-jakeluasemista, ja ne on arvioitu yritysten toimesta vähintään kohtalaisen merkitykselliseksi.

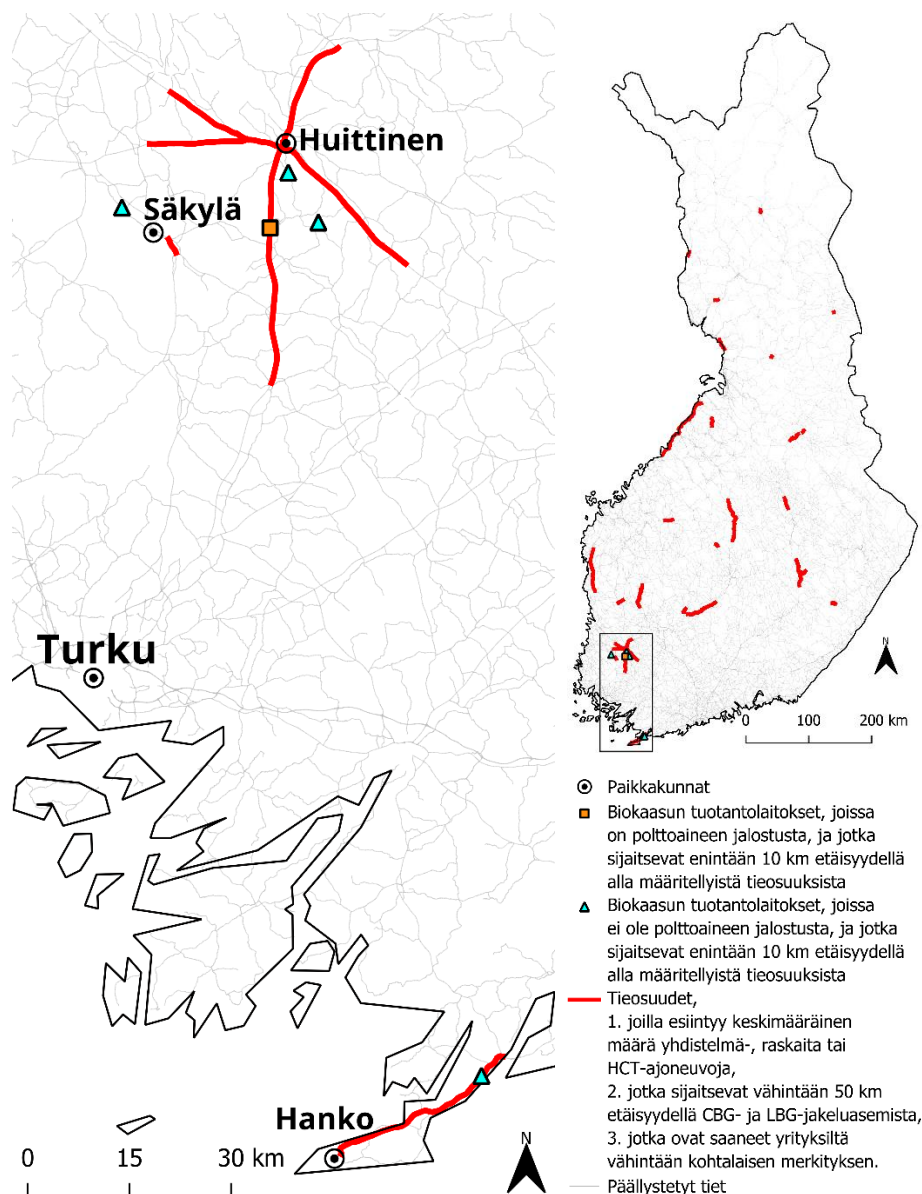
CBG- ja LBG-jakeluasemien sijainnit (kuva 27A) ja biokaasun tuotantolaitokset sijainnit (kuva 27B) suhteessa näihin edellä mainittuihin tieosuuksiin on esitetty alla. Jakeluasemista on puutteita Itä- ja Länsi-Suomen alueilla, joissa on kuitenkin tuotantolaitoksia. Suurin osa

näistä laitoksista on kuitenkin sellaisia, joissa ei ole polttoaineen jalostusta liikennekäyttöön, mikä rajoittaa niiden soveltuvuutta suoraan liikenteen polttoainejakeluun.



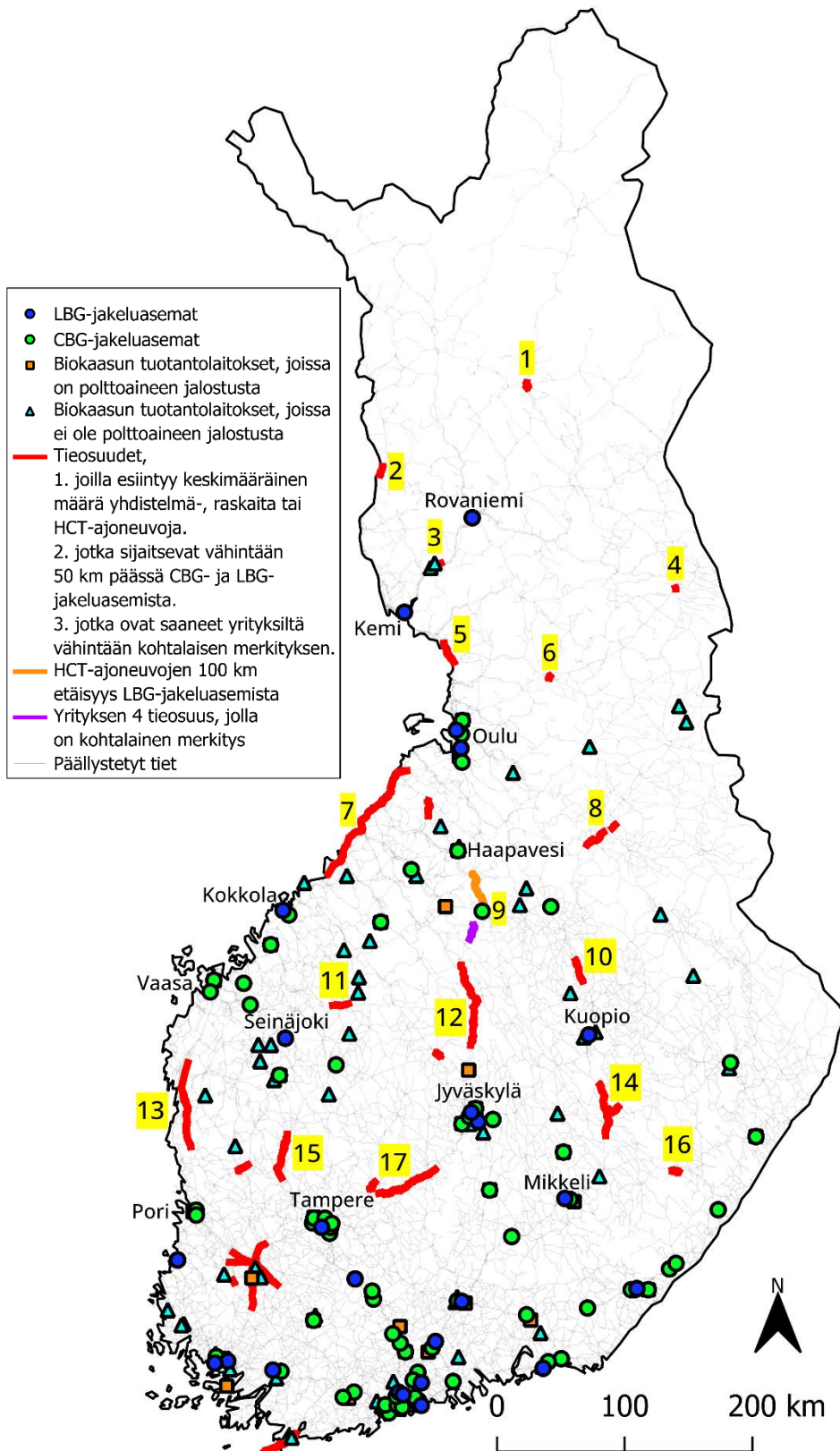
Kuva 27. A) Tieosuudet, joilla on keskimääräistä HCT-, yhdistelmä- tai raskasta liikennettä, jotka sijaitsevat vähintään 50 km etäisyydellä jakeluasemista, sekä ovat saaneet yrityksiltä vähintään kohtalaisen merkityksen. Kartassa näkyvät myös CBG- ja LBG-jakeluasemien sijainnit. B) Tieosuudet, joilla on keskimääräistä HCT-, yhdistelmä- tai raskasta liikennettä, jotka sijaitsevat vähintään 50 km etäisyydellä jakeluasemista, sekä ovat saaneet yrityksiltä vähintään kohtalaisen merkityksen. Tuotantolaitokset on eritelty sen mukaan, onko niissä polttoaineen jalostusta vai ei.

Tuotantolaitokset, jotka esiintyvät sekä verkostanalyysin kartoissa (kuva 11A & 11B) että yrityshaastatteluihin perustuvissa kartoissa, joissa ne toistuvat vähintään kahden yrityksen mainitsemana (kuva 24; kuva 25 & kuva 26A & kuva 26B), on koottu alla olevaan karttaan (kuva 28). Kaikki nämä kyseiset tuotantolaitokset täyttävät kolme keskeistä kriteeriä. Ne sijaitsevat tieosuuksien läheisyydessä, joilla on keskimääräistä HCT-, yhdistelmä- tai raskasta liikennettä, ovat yli 50 kilometrin päässä lähimmästä jakeluasemasta, ja ne on arvioitu vähintään kohtalaisen merkitykselliseksi kaikkien tarkasteltujen yritysten toimesta. Nämä tuotantolaitokset ovat Huittisten, Säskylän ja Hangon alueilla.



Kuva 28. Ne biokaasun tuotantolaitokset, jotka toistuvat vähintään kahden yrityksen analyyseissä (kuva 23A & kuva 23B; kuva 24; kuva 25). Lisäksi nämä tuotantolaitokset sijaitsevat enintään 10 kilometrin etäisyydellä yrityksiltä vähintään kohtalaisen merkityksen saaneilta tieosuuksilta, joilla on keskimääräistä HCT-, yhdistelmä- tai raskasta liikennettä, sekä sijaitsevat vähintään 50 kilometrin etäisyydellä CBG- ja LBG-jakeluasemista.

Tieosuudet, joilla on merkitystä biokaasun jakeluinfrastruktuurin ja raskaan liikenteen kannalta, on esitetty seuraavassa kartassa (kuva 29) Kartassa nousevat esiin ne tieosuudet ja alueet, jotka on valittu yhdistämällä raskaan liikenteen keskimääräiset ajomäärät, biokaasun tuotantolaitosten sijainnit ja yritysten vähintään kohtalaisen merkityksen saaneet tieosuudet. Vaikka kartta ei perustu suoraan laskennallisiin etäisyyksiin, esitetyt tieosuudet ja alueet ovat merkityksellisiä. Näille tieosuuksille tai alueille uusien jakeluasemien sijoittaminen on perusteltua tuotantolaitosten ja nykyisten jakeluasemien sijaintien sekä raskaan liikenteen ajomääriin perustuen.



Kuva 29. Tieosuudet, joiden varrelle tai yhteyteen olisi kannattavaa sijoittaa uusia jakeluasemia tuotantopotentialin ja raskaan liikenteen ajoneuvomäärien perusteella. Näillä tieosuuksilla on keskimääräistä HCT-, yhdistelmä- tai raskasta liikennettä, ne sijaitsevat yli 50 km päässä jakeluasemista ja ovat yritysten arvioissa vähintään kohtalaisen merkityksellisiä. Lisäksi kartassa ovat ne tieosuudet, joissa HCT-ajoneuvojen etäisyys LBG-jakeluasemille on vähintään 100 km ja tieosuus, joka on saanut yritykseltä 4 kohtalaisen merkityksen.

Pohjoisimmasta etelään tarkasteltuna tieosuudet sijoittuvat seuraavasti: tieosuus 1 sijaitsee Sodankylässä, tieosuus 2 Pellossa, ja tieosuus 3 Rovaniemen sekä Kemin välillä. Tieosuus 4 sijaitsee Kuusamon alueella, tieosuus 5 Kemin ja Oulun välillä, ja tieosuus 6 Pudasjärvellä. Tieosuus 7 sijoittuu Oulun ja Kokkolan välille, kun taas tieosuus 8 sijaitsee Kajaanin alueella.

Erytystä huomiota ansaitsee tieosuus 9 Haapaveden eteläpuolella. Tämä oranssilla merkitty tieosuus on HCT-ajoneuvojen keskimääräisten ajomäärien tieosuus, joka on vähintään 100 kilometrin päässä lähimmästä LBG-jakeluasemasta. Tieosuuden eteläpuolella sijaitsee CBG-jakeluasema, jonka eteläpuolella on violetilla merkitty tieosuus, jonka yritys 4 on arvioinut kohtalaisen tärkeäksi. Mikäli kyseiselle CBG-asemalle sijoitettaisiin myös LBG-jakeluasema, voisi se tehokkaasti palvella LBG-ajoneuvoja. Tästä lähin ja mahdollinen LBG-jakeluaseman sijoituspaikka olisi Haapaveden alueella sijaitseva CBG-asema.

Tieosuus 10 sijaitsee Kuopiosta pohjoiseen ja tieosuus 11 puolestaan Seinäjoesta kaakkoon. Tieosuus 11 on myös kartan pohjoisin länsi–itä-suuntaisesti kulkeva tieosuus. Tieosuus 12 sijaitsee Jyväskylästä pohjoiseen, ja tieosuus 13 kattaa Vaasan ja Porin välisen alueen. Vaasan ja Porin välillä sijaitsee myös länsirannikon ainoa biokaasun tuotantolaitos, jossa ei kuitenkaan ole polttoaineen jalostusta.

Tieosuus 14 sijoittuu Kuopion eteläpuolelle ja Mikkelistä koilliseen ja se on kartassa ainoa liikenteellinen solmukohta, sillä tieosuus haarautuu kyseisellä alueella. Tieosuus 15 ulottuu Tampereelta pohjoiseen Seinäjoen suuntaan, ja tieosuus 16 sijaitsee Mikkelistä itään. Tieosuus 16 on kartan itäisin länsi–itä-suuntaisesti kulkeva tieosuus. Tieosuus 17 sijaitsee Tampereen ja Jyväskylän välillä.

Lisäksi kartalle jäi joitakin tieosuuksia, joita en erikseen maininnut. Nämä tieosuudet sijaitsevat lähellä aiemmin mainitsemani tieosuuksia, enkä pitänyt niitä niin merkittävänä, että kaikkien yksilöinti olisi ollut tarpeen. Koska tarkastelu ei perustunut täsmällisiin mittauksiin, katsoin tarkoituksenmukaiseksi keskittyä keskeisimpiin tieosuuksiin. Mainitsemani tieosuudet olivat joko pisimpiä, kauimpana muista tieosuuksista ja jakeluasemista tai muuten oleellisia, kuten perustelin aiemmin. Mainitsematta jäivät tieosuudet tieosuuden 7 itäpuolella sekä tieosuuksien 13 ja 15 välillä.

5 Keskustelu

5.1 Biokaasun jakeluasemaverkoston katvealueet

Analyysieni alussa oletin, että pidemmät tarkasteluetäisyydet, kuten 300 km tai jopa 500 km, olisivat olleet luontevia vaihtoehtoja tarkastella biokaasuinfrastruktuurin kattavuutta.

Käytännön verkostanalyysityössä nämä etäisyydet osoittautuivat kuitenkin liian suuriksi.

Esimerkiksi 300–500 km etäisyyksillä verkostanalyysi ei enää paljastanut merkittäviä aukkoja tai katvealueita jakeluasemien saavutettavuudessa, lukuun ottamatta Lapin aluetta.

Tämä viittaa siihen, että liian suuret tarkasteluetäisyydet voivat peittää alleen alueelliset erot saavutettavuudessa, jolloin todelliset katvealueet jäävät havaitsematta.

Lisäksi suurempien etäisyyksien käyttäminen vääristäisi todellista tilannetta erityisesti Lapissa, jossa väestötiheys ja raskaan liikenteen määrä ovat alhaisempia. Täten ei ole perusteltua käyttää samoja etäisyyksiä koko maan kattavissa analyyseissä, sillä ajoneuvojen keskimääräiset päivittäiset ajomatkat ja liikenteen määrät vaihtelevat alueittain. Raskaan liikenteen taloudellinen tehokkuus edellyttää tiheää ajoa ja logistisesti toimivaa reittisuunnittelua, jolloin etäisyydet jakeluasemilta saavat entistä suuremman merkityksen.

Vaikka LNG:tä tai LBG:tä käyttävät ajoneuvot voivat kulkea pitkiäkin matkoja, niiden kannattava käyttö vaatii lyhyempiä ja toistuvia kuljetusreittejä (Steiner 2018). Tätä myös tukee Kallionpään ym. (2023) osoittaen, että sähkö- ja vaihtoehtoisilla polttoaineilla toimivat raskaat ajoneuvot soveltuvat parhaiten 50–200 km matkoille. Näistä syistä valitsemani tarkasteluetäisyydet, 50–150 km CBG-ajoneuvoille ja 100–150 km LBG-ajoneuvoille, muodostavat tasapainon todellisten liikennemäärien, analyysin toteutettavuuden sekä jakeluasemien alueellisen saavutettavuuden välillä. Näin on mahdollista tunnistaa katvealueita tavalla, joka vastaa sekä kaluston teknisiä ominaisuuksia että käytännössä kuljetusalan vaatimuksia.

Raskas liikenne Suomessa keskittyy erityisesti eteläisen ja läntisen Suomen päällystetyille päätieverkoille (kuva 7). Liikenteen määrät heijastavat tieosuuksien aktiivisuutta, jolla on taloudellisista merkitystä myös kansainvälisen kaupan näkökulmasta, erityisesti Hangon alueella (kuva 11B). HCT-ajoneuvojen liikenne keskittyy pohjois–eteläsuuntaisille pääväylille (kuva 7C). Tämä viittaa paitsi ajoneuvojen suurten ajomatkojen tarpeeseen, myös siihen, että HCT-yhdistelmien toiminnalle olennaiset reitit muodostavat selkärangan koko Suomen logistiikkajärjestelmälle.

HCT-ajoneuvot käyttävät käytännössä yksinomaan LBG:tä. Jakeluasemien sijainti pääväylien läheisyydessä on tärkeä tekijä toimintavarmuuden kannalta. LBG-asemien riittämätön kattavuus saattaa siis rajoittaa näiden ajoneuvojen käyttöönottoa laajemmin erityisesti syrjäseuduilla. Selkein LBG-jakeluasemien katvealue sijaitsee Pyhjäjärven alueella, jossa etäisyys lähimpään jakeluasemaan on vähintään 100 km (kuva 9B). Ilman LBG-jakeluaseman lisäämistä tällä tieosuudella HCT-ajoneuvojen reittisuunnittelu voi vaikeutua. Tämä saattaa puolestaan vähentää niiden kuljetusyrittysten halukkuutta lisätä kaasukäyttöisen kaluston määrää, jotka liikennöivät kyseisellä tieosuudella.

CBG- ja LBG-jakeluasemat sijaitsevat pääosin suurimpien paikkakuntien alueella ja tärkeimpien valtateiden risteyskohdissa sekä logistisissa solmupisteissä (kuva 9A & kuva 9B). Tämä jakautuma kertoo jakeluasemainfrastruktuurin kehittämisen strategisesta suunnasta, jossa painopiste on kysyntäpisteiden ja keskittymien lähellä. Sen sijaan etenkin syrjäseutujen alueiden kattavuus on jäänyt vähemmälle huomiolle. Tämä herättää kysymyksen siitä, ohjataan infrastruktuurin kehitystä liaksi nykyisen kysynnän perusteella. Pitäisikö sen sijaan katse suunnata myös tulevaisuuteen ja investoida laajempaan verkostoon, joka mahdollistaa siirtymän uusiutuviin polttoaineisiin myös alueilla, joissa käyttö on vielä vähäistä?

Myös biokaasun tuotantolaitosten sijaintia havainnollistavat kartat tuovat esiin merkittäviä alueellisia eroja (kuva 10A & kuva 10B). Polttoainetta jalostavia tuotantolaitoksia puuttuu erityisesti Koillis- ja Pohjois-Suomesta (kuva 10A). Sen sijaan tuotantolaitokset, jotka eivät jalosta polttoainetta, ovat levittäytyneet lähes koko maan alueelle (kuva 10B). Biokaasun tuotanto ei siis välttämättä rajoitu tietylle alueelle. Jakeluverkoston puute sekä tuotannon ja jakelun väliset sopimukset voivat rajoittaa tuotannon hyödyntämistä ja kannattavuutta liikenteen tarpeisiin.

Jyväskylän pohjoispuolella on katvealue, jossa ei ole tuotantolaitoksia eikä myöskään jakeluasemia (kuva 10A & kuva 10B). Tällaiset alueet saattavat jäädä kokonaan infrastruktuurikehityksen ulkopuolelle. Toisaalta ne voivat tarjota mahdollisuuden uusille jakeluasemille, joissa tuotanto ja jakelu suunnitellaan alueellisten tarpeiden mukaan, mahdollisesti yhteistyössä biokaasua käyttävien asiakkaiden kanssa.

Myös Tampereen ja Jyväskylän väliseltä tieosuudelta puuttuvat sekä tuotantolaitokset että jakeluasemat, vaikka alueella on keskimääräistä enemmän raskasta liikennettä (kuva 8A & kuva 8B; kuva 10A & kuva 10B). Syynä puutteeseen voivat olla taloudelliset ja toiminnalliset

päätökset. Kysyntää ei välttämättä ole tarpeeksi ja kaasujoneuvojen käyttäjät voivat kokea, että he pääsevät Tampereen ja Jyväskylän välillä ilman tankkausta.

Myös Pohjois- ja Itä-Suomen CBG- että LBG- asemien kattavuus on raskaan liikenteen näkökulmasta osin puutteellinen, sillä keskimääräisten ajoneuvomäärien tieosuudet jäävät yli 50 kilometrin päähän lähimmästä jakeluasemasta (kuva 9A & kuva 9B). Tämänkaltaiset katvealueet voivat muodostaa pullonkauloja biokaasuun siirtymiselle. Tämä koskee erityisesti niitä kuljetusyhtiöitä, jotka liikennöivät pääosin tai säännöllisesti näillä tieosuuksilla sekä taajamissa tai pienemmissä paikkakunnissa

Tuotantolaitokset, joissa ei ole polttoaineen jalostusta ja jotka sijaitsevat vähintään 50 kilometrin päässä lähimmästä jakeluasemasta, sijaitsevat seuraavien tieosuuksien yhteydessä: Kauhava–Kokkola, Uusikaupunki sekä Utajärvi–Suomussalmi (kuva 11B). Näitä tieosuuksia voidaan pitää mahdollisina uusien jakeluasemien sijainneille. Nämä tieosuudet yhdistävät keskimääräiset liikennemäärät, olemassa olevan tuotantopotentiaalın sekä riittävän etäisyyden nykyiseen jakeluverkkoon. Mikäli näille alueille päätettäisiin perustaa uusia jakeluasemia, voisivat ne toimia esimerkiksi kokeiluina alueellisen biokaasuinfrastruktuurin laajentamiseen.

5.2 Biokaasuinfrastruktuurin, sääntelyn ja ympäristötekijöiden vaikutukset yritystoimintaan

Raskaiden biokaasujoneuvojen hankintakustannukset ovat Suomessa usein korkeammat kuin vastaavien dieselajoneuvojen, mikä hidastaa niiden yleistymistä (Pääkkönen ym. 2019). Kannattavuutta voitaisiinkin parantaa polttoainekohtaisella ajoneuvoverolla ja keventämällä kaasukäyttöisten kuorma-autojen verotusta. Nämä toimenpiteet lisääisivät kaasun kysyntää ja tekisivät siitä kilpailukykyisemmän vaihtoehdon raskaan liikenteen sektorilla. Polttoaineen hinta onkin ratkaisevassa asemassa, jotta uusiutuvaa energiaa tukevat toimet eivät valu hukkaan (Pääkkönen ym. 2019). Käytettyjen kaasukuorma-autojen heikko saatavuus kuitenkin vaikeuttaa uusien toimijoiden tuloa markkinoille, ja raskaan liikenteen siirtyminen kaasuun voi näin hidastua.

Yrityshaastattelut vahvistavat nämä kustannuksiin liittyvät haasteet. Yritys 1 pitää kaasukäyttöisiä ajoneuvoja kalliina hankintahinnan ja teknisten ongelmien vuoksi. Yritys 4 taas arvioi, ettei kaasun edullisempi hinta riitä kompensoimaan korkeampia hankinta- ja huoltokuluja, jolloin kannattavuus riippuu ajosuoritteesta. Yritys 2 tukeekin tätä toteamalla,

että kaasun käyttö muuttuu kannattavaksi vasta suurilla ajomäärillä. Lisäksi yritys 3 antaa tästä vielä konkreettisen esimerkin kertomalla, että biokaasu on kannattava valinta, mikäli ajoneuvolla ajetaan 130 000–150 000 kilometriä vuodessa.

Infrastruktuuri vaikuttaa merkittävästi biokaasuajoneuvojen käyttöönottoon ja hankintaan, sillä jakeluasemien sijainnit ovat tärkeitä erityisesti pitkän matkan kuljetuksissa. Yrityksen 2:n kohdalla korostuvatkin etenkin Itä-Suomen ja Porin seudun puutteet, ja yritys ei ole voinut sijoittaa esimerkiksi LBG-ajoneuvojaan Joensuuhun ja Ylivieskaan LBG-jakeluasemien puuttumisen takia.

Yritys 3, joka toimii pääasiassa taajamissa ja lyhyillä ajomatkoilla, ei koe jakeluasemien sijainnilla olevan suurta vaikutusta toimintaansa. Se tunnistaa kuitenkin Länsirannikon, erityisesti Vaasa–Oulu-välin, merkittäväksi kehittämiskohteeksi, sillä esimerkiksi Kokkolan jälkeen ei ole enää CBG-jakeluasemia ennen Oulua (kuva 21B). Lisäksi verkostanalyysien tuloksena havaitsemani katkoksellinen muutos Toijalan alueella tieosuuden merkityksessä kertoo, että kyseinen alue ei ole jatkuvasti yhtä tärkeä koko tiejakson pituudelta (kuva 21B). Vaihtelu tiestön merkitysluokissa tässä tapauksessa heijastaa paikallisia eroja liikenteen määrissä tai logistiikkatarpeissa eli mahdollisissa asiakkaiden sijainneissa.

Yritys 4 on haastattelujeni ainoa yritys, joka hyödyntää pelkästään LBG:tä. Sen näkökulmasta ja painotuksista saadaan siten erilaista näkökulmaa verkoston kattavuuteen. Yritys mainitsee oman toimintansa kannalta katvealueiksi Länsi-Uudenmaan, Kainuun, Kuusamon ja Lapin. Yritys 4 painottaakin, että erityisesti vakioiteilla tankkausmahdollisuudet vaikuttavat merkittävästi reittisuunnitteluun, ja korostaa, että jo yhden jakeluaseman käyttökatko voi estää kaasujoneuvojen käytön tietyllä paikkakunnalla kokonaan. Itä-Suomessa sijaitsevat Joensuun ja Kiteen tuotantolaitokset voisivat parantaa saavutettavuutta, mikäli niiden kapasiteettia jalostaa kaasua hyödynnettäisiin (kuva 26B).

Yritykset ovat kuitenkin kokeneet jakeluasemaverkoston kehittyneen pääosin myönteisesti, vaikka esimerkiksi yritys 1 raportoi asemien sulkemisesta Itä-Helsingissä. Eri toimijoiden aktiiviset investoinnit ja toimenpiteet ylläpitävät tätä myönteistä kehitystä. Esimerkiksi viime vuosina uudet jakeluasemainvestoinnit ovat painottuneet erityisesti raskaan liikenteen tarpeisiin, mutta samalla ne palvelevat myös olemassa olevaa henkilöautokantaa (Hohteri 2023). Gasumin liikenneliiketoiminnan maajohtaja Juho Kurra kertookin, että heidän investointinsa on suunnattu strategisesti tärkeisiin liikenteen solmukohtiin, joissa on usein

tarjolla sekä CBG:tä että LBG:tä. Näin jakeluasemat pystyvät palvelemaan laajasti eri ajoneuvoluokkia.

Yritykset painottavat ajoneuvohankinnoissaan erityisesti ympäristöllisiä tekijöitä. Yritykset 1 ja 3 nimeävät ympäristöystävällisyyden kaasujoneuvojen tärkeimmäksi valintaperusteeksi. Lisäksi yritys 2 pitää biokaasua ainoana realistisena keinona vastata vastuullisuushaasteisiin, ja yritys 4 arvioi biokaasun parantavan asiakaskokemusta sekä yrityksen mainetta. Tämä osoittaa, että ekologisuus toimii yhä useammin kilpailuetuna logistiikka-alalla.

Sääntely ja poliittiset ohjaukset ovat ratkaisevassa roolissa biokaasun yleistymisessä. Verohuojennukset, suorat tuet ja jakeluverkon kehittäminen voivat nopeuttaa käyttöönottoa. Yritys 1 kokee, etteivät tuet vaikuta päätöksentekoon, kun taas yritys 3 hyödyntää tukia, mutta ei pidä niitä ratkaisevana tekijänä. Yritys 4 sen sijaan pitää tukia välttämättöminä korkean biokaasujoneuvojen hankintahinnan vuoksi, ja yritys 2 korostaakin tarvetta ennakoitaville ja läpinäkyville tukijärjestelmille. Lisäksi LBG:n turvallinen käsittely edellyttää kuljettajilta erikoiskoulutusta (Steiner 2018). Tämä koulutusvaatimus voi vaikeuttaa kuljettajien saatavuutta, erityisesti esimerkiksi tuuraustilanteissa.

Biokaasun liikennekäytön laajentaminen vaatii usein paikallisen tai alueellisen kysynnän nopeaa kasvua, erityisesti pieniltä tuotantolaitoksilta. Alkuvaiheessa tarvitaan nopeasti paikallista tai alueellista kysyntää tuotetulle liikennekaasulle (Larsson ym. 2016). Esimerkiksi Valio ja St1 suunnittelevat yhteistyötä lannasta tuotetun biokaasun jalostamista liikennepolttoaineeksi (St1 2023). Näin biokaasun käytöllä voidaan kompensoida maatalouden metaanipäästöjä (Stettler ym. 2023).

Vaikka kaasukäyttöiset raskaat ajoneuvot ovat Suomessa yleistyneet nopeammin kuin sähköiset vastaavat, eivät ne ole vielä vakiintuneet johtavaksi päästövähennyskeinoksi liikennesektorilla (Kallionpää ym. 2023). Biokaasua pidetäänkin usein välivaiheen ratkaisuna ennen sähkö- tai vetypohjaisia teknologioita. Tämä ei kuitenkaan ole yksimielinen näkemys, sillä kaasukaluston saatavuus paranee, ja alan asiantuntijat ennustavat kaasun hallitsevan raskasta liikennettä jo 2030-luvun alkupuolella (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2024). Lisäksi osa EU-maista kyseenalaistaa sähköistämisen kestävyys- ja tehokkuuden (Calise ym. 2023). Tämä antaa enemmän tilaa ja mahdollisuuksia vaihtoehtoisille polttoaineille, kuten biokaasulle. Pääkkönen ym. (2019) arvioivat, että Suomessa merkittävällä panostuksella suurin osa raskaasta kalustosta voisi olla kaasukäyttöistä 10–20 vuoden kuluessa.

5.3 Jakeluverkoston kehittäminen ja laajentaminen uusilla jakeluasemilla

Suomen tieverkon rakenne painottuu selkeästi etelä–pohjoissuuntaisiin väyliin, mikä heijastuu myös raskaan liikenteen kuljetusvirtoihin (kuva 7C & kuva 23A). Poikittaisten yhteyksien harvuus voi aiheuttaa alueellista epätasapainoa infrastruktuurin sijoittamisessa, erityisesti Itä- ja Länsi-Suomessa, joissa jakeluasemia on vähemmän huolimatta mahdollisesta kysynnästä ja tuotantopotentiaalista. Vaikka näillä reiteillä liikennemäärät ovat alhaisempia, niiden strateginen merkitys voi kasvaa esimerkiksi huoltovarmuuden tai vaihtoehtoisten kuljetusreittien kannalta.

Yritysten tärkeimmäksi määrittämät tieosuudet sijoittuvat pääosin kasvukeskusten ja päätieverkon läheisyyteen (kuva 23A). Tämä on odotettavaa, sillä suurin osa logistiikkavirrasta kulkee näitä väyliä pitkin. Samalla kuitenkin havaitaan, että ne tieosuudet, jotka sijaitsevat yli 50 kilometrin etäisyydellä jakeluasemista, ja joilla kulkee keskimääräistä raskasta liikennettä, eivät useinkaan vastaa yritysten tärkeiksi arvioimia tieosuuksia (kuva 23B). Tämä viittaa siihen, että tärkeimmät tieosuudet painottuvat alueille, joissa jakeluverkosto palvelee liikennettä riittävästi, ja joissa yritysten logistiset tarpeet ovat hyvin katettuja. Infrastruktuuria on siis onnistuttu rakentamaan keskeisten väylien varteen.

Tuotantolaitokset, jotka eivät vielä jalosta kaasua liikennekäyttöön mutta sijaitsevat liikenteellisesti merkittävillä alueilla, tarjoavat merkittävää laajennusmahdollisuutta (kuva 26B). Esimerkiksi Itä- ja Länsi-Suomen tuotantolaitokset voisivat täydentää jakeluverkostoa, mikäli niihin investoitaisiin jalostuskapasiteettia. Useimmissa laitoksissa tätä polttoaineen jalostusta ei kuitenkaan vielä ole, mikä asettaa rajoitteita infrastruktuurin hyödyntämiselle liikennekäytössä (kuva 11B; kuva 27A & 27B).

Huittisten, Säskylän ja Hangon alueiden tuotantolaitokset nousevat erityisen merkittäviksi (kuva 28). Tulosteni perusteella juuri näiden laitosten yhteyteen tai läheisyyteen olisi kannattavinta sijoittaa uusia jakeluasemia, sillä alueilla jakeluasemaverkosto on puutteellinen. Näillä alueilla voitaisiin saavuttaa merkittävä parannus verkoston kattavuuteen. Lisäksi Etelä-Suomessa myös Hanko, joka on merkittävä raskaan liikenteen solmukohta sataman vuoksi, sijaitsee nykyisellään jakeluasemaverkoston ulkopuolella.

Ne tieosuudet ja alueet, jotka eivät perustu laskennallisiin kriteereihin, mutta nousivat useasti esille mahdollisina kehityskohteina, ovat esimerkiksi Haapaveden eteläpuolella HCT-ajoneuvojen keskimääräisen liikenteen tieosuus, joka sijaitsee vähintään 100 km päässä

lähimmästä LBG-asehasta (kuva 29). Kyseisestä tieosuudesta etelään sijaitsee kuitenkin CBG-jakeluasema, jonka yhteyteen LBG-aseman rakentaminen voisi parantaa Oulun ja Jyväskylän välistä jakeluasemaverkostoa.

Muita samanlaisia kehittämiskohteita eri puolilla Suomea, jotka eivät perustu laskennallisiin kriteereihin, mutta nousivat toistuvasti esiin analyyseissäni, on useita. Näitä ovat muun muassa tieosuudet Koillis-Suomessa (Kuusamo ja Pudasjärvi), Pohjois-Suomessa (Kemi–Oulu), Itä-Suomessa (Kajaani ja Kuopio) sekä Länsi-Suomessa (Oulu–Kokkola, Seinäjoki ja Pori–Vaasa) (kuva 29). Näillä tieosuuksilla yhdistyvät biokaasun tuotantopotentiaali sekä raskaan liikenteen keskimääräiset liikennemäärät, mutta nykyinen jakeluasemainfrastruktuuri ei ole tarpeeksi kattava täyttämään liikenteen tarpeita näillä tieosuuksilla.

Etelä- ja Keski-Suomen osalta Tampereen, Seinäjoen ja Jyväskylän alueiden tieosuudet edustavat liikenteellisesti keskeisiä väyliä (kuva 29). Vaikka alueilla onkin useita jakeluasemia, juuri näiden paikkakuntien välisien tieosuuksien varelle sijoitetut jakeluasemat voisivat merkittävästi parantaa reittien joustavuutta ja käytettävyyttä. Erityisesti pitkän matkan kuljetuksissa pienikin muutos jakeluasemien sijainneissa voi helpottaa reittisuunnittelua merkittävästi. Näin voitaisiin vähentää tarpeettomia kiertoreittejä, lyhentää pysähdyksiin kuluva aikaa ja mahdollistaa tarkemman aikataulussa pysymisen (Zhong ym. 2019; Geotab 2024). Tämä taas osaltaan vähentää ajoneuvojen polttoaineen kulutusta ja siitä johtuvia kustannuksia.

Kuljettajien valintakäyttäytyminen tukee tätä havaintoa. Zhongin ym. (2019) tutkimuksen mukaan kuljettajat eivät valitse tankkausasemaa pelkän etäisyyden perusteella, vaan suosivat mahdollisimman pientä poikkeamaa reitiltä, erityisesti pysähdysten välillä. Kruit (2024) mukaan kuljettajat miettivät mahdollista reitiltä poikkeaman pituutta suhteessa odotettuun polttoaineen hinnansäästöön. Pienikin reitiltä poikkeaminen voi siis olla hyväksyttävää, mikäli jakeluasema tarjoaa selvästi edullisempaa polttoainetta, tai yrityksellä on asemalle hinnanalennuksiin perustuvia sopimuksia.

Toisaalta, mikäli reitiltä poikkeama aiheuttaa merkittäviä viivästyksiä, kuten usein tapahtuu kaupunkialueilla, valinta tankkauksesta voi kallistua kaupunkikeskittymien ulkopuolelle (Kampker ym. 2023). Esimerkiksi taajamien ulkopuolella voidaan sallia hieman pidemmät etäisyydet, mikäli matka-aika pysyy silti lyhyenä. Kaupunkialueilla taas jakeluasemien tulisi sijoittua kuljetusreittien varrelle vähentääkseen ruuhkien ja pysähdysten aiheuttamia viiveitä.

6 Johtopäätökset

Suomen nykyinen kaasujakeluasemaverkosto palvelee raskasta liikennettä pääosin hyvin Etelä-Suomen alueella, erityisesti pääväylien varrella. Paikkatietoanalyysien ja yritysten vastausten perusteella katvealueita kuitenkin esiintyy biokaasun jakeluasemaverkostossa. Tällaisia katvealueita ovat esimerkiksi Länsirannikolla Porin ja Vaasan sekä Vaasan ja Oulun välillä, Keski-Suomessa Jyväskylästä pohjoiseen, Itä-Suomessa Mikkelin ja Kiteen välillä sekä Pohjois-Suomessa Kainuun, Kuusamon ja Lapin alueilla.

Näillä alueilla esiintyy joko puutteita jakeluasemainfrastruktuurissa, ja tuotantolaitosten osalta, tai etäisyydet ovat liian pitkiä jakeluasemien välillä. Jakeluasemaverkoston puutteet katvealueilla vaikeuttavat reittien suunnittelua, lisäävät ajokilometrejä ja voivat jopa estää biokaasuajoneuvojen käyttöönoton. Erityisesti Jyväskylän ja Oulun välinen tieosuus nousee esille kaikkein raskaimpien ajoneuvojen osalta, jossa uudelle nesteytetylle biokaasun jakeluasemalle olisi tarvetta.

Lisäksi biokaasun tuotantolaitokset Huittisten, Säskylän ja Hangon alueilla ovat tärkeitä ja keskeisiä tukipisteitä, jotka voivat parantaa jakeluverkoston kattavuutta ja saavutettavuutta. Näiden laitosten läheisyydessä olevat tieverkot kattavat raskaiden ajoneuvojen keskimääräiset liikennemäärät sekä yritysten painotusten perusteella vähintään kohtalaisen merkittäviä tieosuuksia. Tämä korostaa näiden laitosten roolia raskaan liikenteen kehittämisessä ja jakeluasemaverkoston laajentamisessa.

Ympäristölliset tekijät ja asiakkaiden odotukset ympäristöystävällisyydestä ohjaavat eniten yritysten valintoja ajoneuvojen biokaasun käytössä. Yritysten päätöksiin siirtyä biokaasuajoneuvoihin tai lisätä niiden määrää toiminnassaan vaikuttavat kuitenkin myös muut tekijät. Näitä ovat muun muassa toimiva ja kattava jakeluverkosto, ajoneuvojen päivittäiset ajosuoritteet sekä polttoaineen hinta. Yrityshaastattelut osoittavat, että mikäli yhdellä reitillä ei ole kaasua saatavilla, saattaa pahimmassa tapauksessa koko verkoston kattavuus menettää suuren osan merkityksestään.

Tilanne on kuitenkin parantunut, ja suurin osa yrityksistä kokee jakeluverkoston kehittyneen viime vuosina, mikä vahvistaa uskoa biokaasun käyttöön raskaan liikenteen ratkaisuna tulevaisuudessa. Jakeluasemaverkoston kehittämisessä on siis tärkeää keskittyä myös alueisiin, jotka eivät yksittäisinä vaikuta olennaisilta, mutta joiden kautta voidaan vahvistaa koko verkoston käytettävyyttä ja kannattavuutta kaikkien biokaasun käyttäjien tarpeisiin.

Tekoälyn käyttö

Generatiivista tekoälyä on hyödynnetty (kuva 3) laatimisen apuna.

Lähteet

- Abanades, S., Abbaspour, H., Ahmadi, A., Das, B., Ehyaei, M, A., Esmacilion, F., Assad, E, H, M., Hajilounezhad, T., Jamali, H, D., Hmida, A., Ozgoli, A, H., Safari, S., AlShabi, M & Bani Hani, H, E. (2022). A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 19(4) :3377–3400. <<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03301-6>>
- Abdullah, G, A., Pasaribu, T, N., Utam, P, H & Ratmono, M, B. (2025). Multi-criteria decision-making for wind power project feasibility: Trends, techniques, and future directions. *Cleaner Engineering and Technology*. 27. <<https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.100987>> 6.5.2025
- ArcGIS. Classification methods. <<https://doc.arcgis.com/en/microsoft-365/latest/get-started/classification-methods.htm>> 19.3.2025
- Arrheniusa, K., Karlssona, A., Hakonena, A., Ohlsonb, L., Yaghooby, H & Bükera, O. (2018). Variations of fuel composition during storage at Liquefied Natural Gas refuelling stations. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 49: 317–323. <<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.11.014>>
- Autoalan tiedotuskeskus. (2025). Autokannan kehitys ja autotiheys. <https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/liikennekaytossa_olevat_autot> 6.5.2025
- Autoalan tiedotuskeskus. (2025). Liikennekäytössä olevien ladattavien autojen määrä. <https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys> 6.5.2025
- Autoalan tiedotuskeskus. (2025). Liikennekäytössä olevien kaasuautojen määrä. <https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/kaasuautojen_maaran_kehitys?2909_o=20&download_10492=1&gsid=f8e52be4-f8fa-4edb-8a1f-b05262635dbe&sort_column=4&sort_direction=1> 6.5.2025
- Autoalan tiedotuskeskus. (2025). Kaasuautojen määrän kehitys. <https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/kaasuautojen_maaran_kehitys> 6.5.2025
- Bal, F & Vleugel, J. M. (2018). Heavy-duty trucks and new engine technology: Impact on fuel consumption, emissions and trip cost. *International Journal of Energy Production and Management*. 3(3): 167–178. <<https://doi.org/10.2495/EQ-V3-N3-167-178>>

- Benjaminsson, J & Nilsson, R. (2009). Distribution Options for Natural Gas and Biogas in Sweden. <www.energigas.se>
- Berrutoa, R., Busatoa, P., Bochtisb, D, D & Sørensen, C, G. (2013). Comparison of distribution systems for biogas plant residual. *Biomass and bioenergy*. 52: 139–150. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.030>>
- Biokaasu. (2024). Biokaasu2030. <<https://biokaasu2030.fi/>> 19.3.2025
- Borden, D, Dent. (1998). Cartography: Thematic Map Design. <<https://magrawala.github.io/cs448b-fa17/assets/docs/Dent-Chap11.pdf>> 6.5.2025
- Bremond, U., Bertrandias, A., Steyer, J-P., Bernet, N & Carrere, H. (2021). A vision of European biogas sector development towards 2030. Trends and challenges. *Journal of Cleaner Production*. 287. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125065>>
- Brewer C., A & Pickle L. (2003). Evaluation of methods for classifying epidemiological data on choropleth maps in series. *Annals of the American Association of Geographers*. 92(4): 662–81. <DOI: 10.1111/1467-8306.00310>
- Bumharter, C., Bolonio, D., Martínez, I, A, M, J, G & Ortega F, M. (2023). New opportunities for the European Biogas industry: A review on current installation development, production potentials and yield improvements for manure and agricultural waste mixtures. *Journal of Cleaner Production*. 388. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135867>>
- Calise, F., Cappiello, F. L., Cimmino, L & Vicidomini, M. (2023). Dynamic analysis of a power plant producing liquefied biomethane for heavy road transport. Proceedings of ECOS 2023 - The 36th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. <<https://doi.org/10.52202/069564-0157>>
- Cunanan, C., Tran, M. K., Lee, Y., Kwok, S., Leung, V & Fowler, M. (2021). A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *Cleaner Technology*. 3(2): 474-489. <<https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>> 6.5.2025
- Digiroad (2025). Digiroad, kansallinen tie- ja katuverkon tietojärjestelmä. <<https://vayla.fi/vaylista/aineistot/digiroad>> 6.5.2025
- Digiroad. (2024). WFS-rajapinta. <<https://avoinapi.vaylapilvi.fi/vaylatiedot/digiroad/ows?service=wfs&request=getCapabilities>> 6.5.2025

- Edwards, R., Larivé, J-F & Beziat, J-C. (2011). Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Well-toWheels Report. Version 3c. <doi:10.2788/79018>
- EHDP. Jenks Natural Breaks Explained. <<https://www.ehdp.com/methods/jenks-natural-breaks-2.htm>> 19.3.2025
- ELY-keskus. (2014). Raskaan liikenteen uudet enimmäismitat ja -massat. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/97265/Raportteja_25_2014.pdf> 6.5.2025
- ELY-keskus (2025). Biokaasun tuotantolaitoksiin liittyvät luvat ja menettelyt. <<https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/biokaasun-tuotantolaitokset>> 19.3.2025
- Euroopan parlamentti. (2023). EU ban on the sale of new petrol and diesel cars from 2035 explained. <<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20221019STO44572/eu-ban-on-sale-of-new-petrol-and-diesel-cars-from-2035-explained>> 19.3.2025
- European Biogas Association. (2018). Overview on key EU policies for the biogas sector. <<https://www.europeanbiogas.eu/overview-on-key-eu-policies-for-the-biogas-sector/>> 19.3.2025
- Feiz, R., Metson, G, S., Wretman, J & Ammenberg, J. (2022). Key factors for site-selection of biogas plants in Sweden. *Journal of Cleaner Production*. 354. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131671>>
- Finlex. (2019). Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta. <<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2019/31>> 6.5.2025
- Fintraffic. Liikennemäärät. <<https://www.fintraffic.fi/fi/fintraffic/liikennemaarat>> 6.5.2025
- Fintraffic. Fintraffic lyhyesti. <<https://www.fintraffic.fi/fi/fintraffic/fintraffic-lyhyesti>> 6.5.2025
- Fintraffic. Tieliikennemäärätiedon tuottaminen. <<https://www.fintraffic.fi/fi/fintraffic/liikennemaarat/tieliikennemaaratiedon-tuottaminen>> 6.5.2025
- Gasgrid. (2024). Kaasun siirtoverkosto. <<https://gasgrid.fi/kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/>> 19.3.2025
- Geotab. (2024). The business impact of off-route fleet refueling <<https://www.geotab.com/blog/fleet-refueling/>> 19.3.2025

- Global Green Growth Institute. (2023). Fuleing the future: A report on BioCNG with best practices and case studies. GGGI Technical Report No. 31. <https://gggi.org/wp-content/uploads/2024/01/GGGIFlagship_TechReport31.pdf> 19.3.2025
- Guler, D & Yomralioglu, T. (2021). Location Evaluation of Bicycle Sharing System Stations and Cycling Infrastructures with Best Worst Method Using GIS *The Professional Geographer*. 73(3):535–552. <DOI: 10.1080/00330124.2021.1883446>
- Gustafsson, M. & Anderberg, S. (2021). Dimensions and characteristics of biogas policies – Modelling the European policy landscape. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 135. <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110200>>
- Gustafsson, M & Anderberg, S. (2022). Biogas policies and production development in Europe: a comparative analysis of eight countries. *Biofuels*. 13(2): 1–14. <<https://doi.org/10.1080/17597269.2022.2034380>>
- Gustafsson, M & Svensson, N. (2021). Cleaner heavy transports e Environmental and economic analysis of liquefied natural gas and biomethane. *Journal of Cleaner Production*. 278. (2021). <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123535>>
- Hirsjärvi, S & Hurme, H. (2008). Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki University Press, Helsinki. ISBN: 978–952–495–073–2
- Hohteri, H. (2023). Uuden kaasuauton ostajan vaihtoehdot kapenevat: Suomeen voi tilata enää yhden merkin kolmea mallia. *Maaseudun Tulevaisuus*. <<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/koneet-ja-autot/dd4024d6-3a0c-45fa-a541-5054a84888b2>> 6.5.2025
- Huttunen, M, J & Kuittinen, V. (2013). Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17. <<http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasulaitosrekisteri2013.pdf>>
- Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S & Rintala, J. (2014). A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. *Applied Energy*. 113: 1–10. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.005>>
- IEA Bioenergy. (2021). Implementation of bioenergy in China. Country reports. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_China_final.pdf> 19.3.2025
- International Council on Clean Transportation. (2020). Decarbonization of on-road freight transport and the role of LNG from a German perspective. <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/LNG-in-trucks_May2020.pdf> 19.3.2025

- Jameel, K, M., Mustafab, A, M., Ahmedc, S, H., Mohammedd, J, A., Ghazye, H., Shakirf, N, M., Lawasg, M, A., Mohammedh, K, S., Idani, H, A., Mahmoudj, H, Z., Sayadik, H & Kianfar, E. (2024). Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review. *Results In Chemistry*.
<<https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101549>>
- Jensen, S. S., Winther, M., Jørgensen, U & Møller, H. B. (2017). Scenarios for use of biogas for heavy-duty vehicles in Denmark and related GHG emission impacts. *Aalborg University*.
<https://www.trafikdage.dk/td/papers/papers17/483_SteenSolvangJensen.pdf>
- Kaasuautoilijat ry. (2024). Kaasuasemat.
<<https://kaasuautoilijat.fi/2019/07/24/tankkausverkosto/>> 19.3.2025
- Kallionpää, E., Nair, S & Liimatainen, H. (2023). Perspectives of using Electric- and Alternatively Fuelled Freight Transport Vehicles among Road Haulage Companies in Finland. *Transportation Research Procedia*. 72: 1894–1901.
<DOI:10.1016/j.trpro.2023.11.668>
- Kampker, A., Heimes, H., Schmitt, F., Bayerlein, M & Scheffs, P. (2023). Fixed Route Refueling-Strategy For Fuel Cell Trucks. *Conference on production systems and logistics*. <<https://doi.org/10.15488/15253>>
- Kelley, S & Kubly, M. (2017). Decentralized refueling of compressed natural gas (CNG) fleet vehicles in Southern California. *Energy Policy*. 109: 350–359.
<<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.017>>
- Kirchmeyr, F & Stürmer, B. (2020). Overview and Categorization of European Biogas Technologies. *Digital global Biogas Operation*. <https://www.kompost-biogas.info/wp-content/uploads/2020/09/DiBiCoo_D2.2-Chapter-9.pdf>
- Kruit, M. (2024). Smart refueling decisions using a reinforcement learning approach: a case study at Nijhof-Wassink. *Master Thesis Industrial Engineering and Management*. University of Twente. <https://essay.utwente.nl/98539/1/Kruit_MA_BMS.pdf>
- Kubly, J. M., Roberts, D, T., Upchurch, D, C & Tierney, S. (2009). Network Analysis. *International Encyclopedia of Human Geography*. 391–398.
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080449104004818>>
- Kurtin, M, K. (2018). 1.12 - Network Analysis. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences - Comprehensive Geographic Information Systems*. 153–161.
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095489095993>>

- Lampinen, A. (2012). Liikennebiokaasun käyttöönotto Suomessa. *Tekniikan Waiheita*. 30(1): 5–20. <<https://journal.fi/tekniikanwaiheita/article/view/64019>>
- Larsson, M., Grönkvist, S & Alvfors, P. (2016). Upgraded biogas for transport in Sweden. Effects of policy instruments on production, infrastructure deployment and vehicle sales. *Journal of Cleaner Production*. 112: 3774–3784. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.056>>
- Lyytimäki, J., Rikkinen, P., Assmuth, T., Tapio, P., Paloniemi, R., Vainio, A., Pyysiäinen, J & Rantala S. E. (2021). Two sides of biogas: Review of ten dichotomous argumentation lines of sustainable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 141. <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110769>>
- Maedge, M. (2013). CNG/LNG fuelled vehicles: The European perspective. <https://www.entsog.eu/sites/default/files/entsog-migration/publications/TYNDP/2013/7-Workshop/WS_130322_TYNDP2013-2022_NGVA-Maedge.pdf>
- Mertins, A., Heiker, M., Rosenberger, S & Wawer, T. (2023). Competition in the conversion of the gasgrid: Is the future of biogas biomethane or hydrogen? *International journal of hydrogen energy*. 48(83): 32469–32484. <<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.270>>
- Motiva. (2013). Biokaasun tuotanto maatilalla. <https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf> 19.3.2025
- Motiva. (2014). Luvat ja hyväksynnät. <http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu/luvat_ja_hyvaksynnät> 19.3.2025
- Näpärä, L. (2017). Haastattelun lajityypit. <<https://spoken.fi/haastattelun-lajityypit/>> 6.5.2025
- Papacz, W. (2011). Biogas as vehicle fuel. Powertrain and Transport, Journal of KONES. University of Zielona Góra, Faculty of Mechanical Engineering. 18(1). 403–410. <<https://www.semanticscholar.org/paper/Biogas-as-vehicle-fuel-Papacz/3ec23e545dd722da72a3c7768a77cbd47d49c6b1>>
- Prussi, M., Julea, A., Lonza, L & Thiel, L, C. (2021). Biomethane as alternative fuel for the EU road sector: analysis of existing and planned infrastructure. *Energy Strategy Reviews*. 33. <<https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100612>>
- Pääkkönen, A., Aro, K., Aalto, P., Konttinen, J. & Kojo, M. (2019). The potential of biomethane in replacing fossil fuels in heavy transport. Case study on Finland. *Sustainability*. 11. <<https://doi.org/10.3390/su11174750>>

- Qgis. Distance matrix. <https://download.qgis.org/qgisdata/QGIS-Documentation-2.6/live/html/en/docs/user_manual/processing_algs/saga/shapes_points/distancematrix.html> 19.3.2025
- Rikalović, A & Cocić, I. (2021). Gis based multi-criteria decision analysis for industrial site selection: the state of the art. *Journal of Applied Engineering Science*. 3(293): 197–206 <doi:10.5937/jaes12-4938>
- Roinila, J. (2019). Tilastotietoja kaasuautojen markkinoista Suomessa ja Euroopassa. Kaasuautoilijat Ry. <<https://kaasuautoilijat.fi/2019/07/24/kaasuautomarkkinoiden-kehitys/>> 19.3.2025
- Scarlat, N., Dallemand, J-F & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable energy*. 129: 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Sinotrukhowo. The Difference Between LNG And CNG Trucks. <<https://sinotrukhowo.cn/the-difference-between-lng-and-cng-trucks/>> 19.3.2025
- SKAL ry. (2023). Raskaan liikenteen käyttövoimasiirtymän tilannekuva. <https://skal.fi/wp-content/uploads/2023/01/raportti_kayttovoimasiirtymasta_milla_energialla_kuljetamme-1.pdf> 19.3.2025
- SKAL. Ajoneuvojen käytöstä tiellä annetussa asetuksessa määritellään suurimmat sallitut mitat ja massat. <<https://skal.fi/kuljetusala/ajoneuvosaadokset/mitat-ja-massat/>> 6.5.2025
- Soquet-Boissy, A & Saint-Supéry, V, M. (2023). Overview of biofuels policies and markets across the EU. *European Renewable Ethanol Industry*. <<https://www.epure.org/wp-content/uploads/2023/02/230227-DEF-REP-Overview-of-biofuels-policies-and-markets-across-the-EU-February-2023-1.pdf>>
- Sporer, M. (2011). Co-evolution in the Process of Establishing Liquified Methane as Truck Fuel. Master of science in environmental and economics. University of Gothenburg. *Master Degree project*. 201:38. <<https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/26308>>
- St1. (2023). Valion ja St1:n yhteisyritys Suomen Lantakaasu Oy suunnittelee biokaasulaitosinvestointia Lapinlahdelle, Sonkajärvelle ja Nurmekseen. <<https://www.st1.fi/valion-ja-st1n-yhteisyritys-suomen-lantakaasu-oy-suunnittelee-biokaasulaitosinvestointia-lapinlahdelle-sonkajarvelle-ja-nurmekseen>> 19.3.2025
- Srisowmeya, G., Chakravarthy, M. & Devi, N. (2020). Critical considerations in two-stage anaerobic digestion of food waste – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 119. <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109587>>

- Steiner, P. (2018). How to stimulate the sales of Liquefied Natural Gas-Vehicles. A case study in the Belgian market. *Centre for environmental and climate research*. Lund university. <<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8948152>>
- Stettler, M. E. J., Woo, M., Ainalis, D., Achurra-Gonzalez, P., Speirs, J., Cooper, J., Lim, D. H., Brandon, N & Hawkes, A. (2023). Review of well-to-wheel lifecycle emissions of liquefied natural gas heavy goods vehicles. *Applied Energy*. 333. <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120511>>
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. (2025). Biokaasulaitokset kartalla. <<https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ZHpWSB6Av2QQlZSGySCriDCW7piuXnBM&femb=1&ll=63.8112684411592%2C24.942536703124993&z=6>> 19.3.2025
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. (2024). Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030, 2035 ja 2040. Suomen Biokierto ja Biokaasu Ry:n julkaisuja. <<https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2024/05/Biokaasun-tuotanto-ja-kaytto-Suomessa-2030-2035-ja-2040-artikkeli-10052024.pdf>> 19.3.2025
- Supermap. Service Area Analysis. <<https://help.supermap.com/iDesktop/en/tutorial/Network/7-2ServiceAreaDia>> 6.5.2025
- Thrän, D., Schaubach, K., Majer, S & Horschig, T. (2020). Governance of sustainability in the German biogas sector—adaptive management of the Renewable Energy Act between agriculture and the energy sector. *Energy, Sustainability and Society*. 10(3). <<https://doi.org/10.1186/s13705-019-0227-y>>
- Tilastokeskus. (2023). Liikenteen energiankulutus laski 4 % vuonna 2022. <<https://stat.fi/julkaisu/cl8mx14xx1wo10cvzn321a0ss>> 6.5.2025
- Tilastokeskus. (2024). Ydin-, tuuli- ja vesivoiman kasvu vauhdittivat siirtymää kohti puhtaampaa energiajärjestelmää vuonna 2023. <<https://stat.fi/julkaisu/cln32y7ve5mem0bvzcoduq5xx>> 6.5.2025
- Tong, F., Azevedo, I & Jaramillo, P. (2018). Economic viability of a natural gas refueling infrastructure for long-haul trucks. *Journal of Infrastructure Systems*. 25(1). <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000460)>
- Traficom. (2024). Ajoneuvoluokat. <<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/ajoneuvoluokat>> 6.5.2025

- Traficom. (2025). Ajoneuvokannan tilastot. <<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot?toggle=K%C3%A4ytt%C3%B6voimat>> 6.5.2025
- Traficom. (2024). Liikennesektorin päästöt. <<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/kotimaan-liikenteen-co2-paastot-liikennemuodoittain>> 6.5.2025
- Traficom. (2024). Pidemmät ja raskaammat HCT-rekat <<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/pidemmat-ja-raskaammat-hct-rekat>> 6.5.2025
- Traficom. (2019). Pitkät HCT-rekat yleistyvät. <<https://www.traficom.fi/fi/tilastot-ja-julkaisut/blogit/pitkat-hct-rekat-yleistyvat>> 6.5.2025
- Transport & Environment. (2018) CNG and LNG for vehicles and ships - the facts. <https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2018_10_TE_CNG_and_LNG_for_vehicles_and_ships_the_facts_EN.pdf> 19.3.2025
- Tratzi, P., Torre, M., Paolini, V., Tomassetti, L., Montiroli, C., Manzo, E & Petracchini, F. (2022). Liquefied biomethane for heavy-duty transport in Italy: A well-to-wheels approach. *Transportation Research Part D*. 107. <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103288>>
- Tsvetkova, A. (2015). Designing Sustainable Industrial Ecosystems: The Case of a Biogas-for-traffic Solution. *Doctoral dissertation*. Åbo Akademi University Turku, Finland. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/101941/tsvetkova_anastasia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Tuomi, J & Sarajärvi, A. (2009). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. Painos. 6. uud. laitos. ISBN: 978-951-31-5369-4
- Työ- ja Elinkeinoministeriö. (2021). Biokaasu ja sähköpolttoaineet sisällytetään liikennepolttoaineiden kansalliseen jakeluvoitteeseen. <<https://tem.fi/-/biopolttoaineet-jakeluvoitteeseen>> 19.3.2025
- Työ- ja Elinkeinoministeriö & Valtiovarainministeriö (2022). LNG-terminaalilaivan vuokraus varmistaa kaasun riittävyyttä Suomessa. <<https://valtioneuvosto.fi/-/10623/lng-terminaalilaivan-vuokraus-varmistaa-kaasun-riittavyytta-suomessa>> 19.3.2025
- Uyan, M & Ertunç, E. (2023). GIS-based optimal site selection of the biogas facility installation using the Best-Worst Method. *Process Safety and Environmental Protection*. 180: 1003–1011. <<https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.10.058>>

- Uusitalo, V., Havukainen J., Soukka, R., Väisänen, S., Havukainen, M & Luoranen, M. (2015). Systematic approach for recognizing limiting factors for growth of biomethane use in transportation sector. A case study in Finland. *Renewable Energy*. 80: 479-488. <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.02.037>>
- Vasana, V., Sridharana, N, V., Feroskhana, M., Vaithyanathana, S., Subramanianb, B., Tsaic, P-C., Line, Y-C., Layg, C-H., Wangh, C-T & Ponnusamy. V, K. (2024). Biogas production and its utilization in internal combustion engines - A review. *Process Safety and Environmental Protection*. 186: 518–539. <<https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.014>>
- Valve, H., Lazarevic, D & Humalisto, N. (2021). When the circular economy diverges: The co-evolution of biogas business models and material circuits in Finland. *Ecological Economics*. 185. <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107025>>
- Volvotrucks. (2019). Vetoautojen ja yhdistelmien suurimmat massat ja mitat Suomessa 21.1.2019 alkaen. <https://www.volvotrucks.fi/content/dam/volvo-trucks/markets/finland/trucks/VETOAUTO_juliste_2019.pdf> 6.5.2025
- Väylävirasto. (2025). Väyläviraston avoimet rajapinnat. <<https://vayla.fi/vaylista/aineistot/avoindata/rajapinnat>> 6.5.2025
- Väylävirasto. (2023). <<https://avoinapi.vaylapilvi.fi/vaylatiedot/digiroad/ows?service=wfs&request=getCapabilities>>> 19.3.2025
- Väylävirasto. (2024). WFS-rajapinta. <<https://avoinapi.vaylapilvi.fi/vaylatiedot/ows?service=wfs&request=getCapabilities>> 19.3.2025
- Webropol. (2013). < <https://webropol.fi/webropol-10-vuotta/>> 19.3.2025
- Winqvist, E., Rikkonen, P & Varho, V. (2018). Suomen biokaasualan haasteet ja mahdollisuudet. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*. 47. <<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-630-8>>
- Winqvist, E., Rikkonen, P., Pyysiäinen, J & Varho, V. (2019). Is biogas an energy or a sustainability product? - Business opportunities in the Finnish biogas branch. *Journal of Cleaner Production*. 233: 1344–1354. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.181>>
- Winqvist, E., Van Galen, M., Zielonka, S., Rikkonen, P., Greijdanus, A., Oudendag, D & Zhou, L. (2021). Expert Views on the Future Development of Biogas Business Branch

- in Germany, The Netherlands, and Finland until 2030. *Sustainability*. 13(3): 1148.
<<https://doi.org/10.3390/su13031148>>
- Yang, L., Ge, X., Wan, C., Yu, F & Li, Y. (2014). Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 40: 1133-1152. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.008>>
- Yle. (2021). “Niin kuin potkittaisi haarojen väliin jatkuvasti” – Erkki Kalmari on taistellut yli 20 vuotta kotimaisen biokaasun puolesta. <<https://yle.fi/a/3-11712167>>
- Ympäristöministeriö. (2018). Orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon soveltaminen. *Ympäristönsuojeluosasto*. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf/1f31fd19-504d-1f23-d46a-aa34b1fe7e08/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf?t=1603260910164>
19.3.2025
- Zito, P. F., Brunetti, A & Barbieri, G. (2022). Multi-step membrane process for biogas upgrading. *Journal of Membrane Science*. 652.
<<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.120454>>
- Zhong, Q., Tong, D., Kuby, M., Wei, F., Fowler, J & Bailey, K. (2019). Locating Alternative Fuel Stations for Maximizing Coverage and Ensuring Sufficient Spacing: a Case Study of CNG Truck Fueling. *Process Integration and Optimization for Sustainability*. 3: 455–470. <<https://doi.org/10.1007/s41660-019-00092-9>>

Liitteet

Liite 1. Strukturoidut ja puolistrukturoidut kysymykset

1. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on ajoneuvon kantama yhdellä tankkauksella? Asteikolla 1–7
 b) Mikä on ajoneuvojenne keskimääräinen kantama (km), jonka ne pääsevät yhdellä kaasutankkauksella?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 5
 Yritys 2: 6
 Yritys 3: 4
 Yritys 4: 6
 Keskiarvo: 5,3
- b) Yritys 1: 250
 Yritys 2: 600
 Yritys 3: 300
 Yritys 4: 500
 Keskiarvo: 412,5

2. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on ottaa huomioon ajoneuvojen keskimääräinen päivittäinen ajosuorite kaasuasemien sijaintien kannalta? Asteikolla 1–7
 b) Kuinka paljon arvioitte kaasulla käyvien ajoneuvojenne ajavan keskimäärin päivässä (km)?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 2
 Yritys 2: 6
 Yritys 3: 6
 Yritys 4: 7
 Keskiarvo: 5,3
- b) Yritys 1: 200
 Yritys 2: 450
 Yritys 3: 140
 Yritys 4: 800
 Keskiarvo: 397,5

3. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on ottaa huomioon ajoneuvojen keskimääräinen viikoittainen ajosuorite kaasuasemien sijaintien kannalta? Asteikolla 1–7
 b) Kuinka paljon arvioitte kaasulla käyvien ajoneuvojenne ajavan keskimäärin viikossa (km)?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 2

Yritys 2: 4
 Yritys 3: 6
 Yritys 4: 6
 Keskiarvo: 4,5

- b) Yritys 1: 1200
 Yritys 2: 2250
 Yritys 3: 700
 Yritys 4: 5000
 Keskiarvo: 2287,5

4. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeitä kaasutankkausasemat ovat päivittäisessä toiminnassa? Asteikolla 1–7
 b) Kuinka monta biokaasutankkausmahdollisuutta yrityksenne tarvitsee päivittäisillä reiteillä?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 6
 Yritys 2: 7
 Yritys 3: 7
 Yritys 4: 6
 Keskiarvo: 6,5

- b) Yritys 1: 1
 Yritys 2: 1
 Yritys 3: 1
 Yritys 4: 3
 Keskiarvo: 3,8

5. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeitä kaasutankkausasemat ovat viikoittaisessa toiminnassa? Asteikolla 1–7
 b) Kuinka monta biokaasutankkausmahdollisuutta yrityksenne tarvitsee keskimäärin viikoittaisilla reiteillä?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 6
 Yritys 2: 7
 Yritys 3: 7
 Yritys 4: 6
 Keskiarvo: 6,5

- b) Yritys 1: 5
 Yritys 2: 5
 Yritys 3: 5
 Yritys 4: 3
 Keskiarvo: 4,5

6. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on etäisyys lähimmälle kaasuasemalle yrityksen terminaaleista tai jakelukeskuksista?
Asteikolla 1–7
- b) Mikä on keskimääräinen etäisyys (km) yrityksenne toimipaikasta, sen eniten käyttämään kaasuasemaan?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 5
Yritys 2: 7
Yritys 3: 6
Yritys 4: 4
Keskiarvo: 5,5

- b) Yritys 1: 3
Yritys 2: 5
Yritys 3: 5
Yritys 4: 2
Keskiarvo: 3,8

7. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on etäisyys ajoreitin varrella sijaitsevalle kaasuasemalle? Asteikolla 1–7
- b) Kuinka monen kilometrin poikkeaman reitiltä yrityksenne on valmis hyväksymään päästäkseen tankkaamaan biokaasua?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 7
Yritys 2: 7
Yritys 3: 6
Yritys 4: 7
Keskiarvo: 6,8

- b) Yritys 1: 5
Yritys 2: 2
Yritys 3: 4
Yritys 4: 10
Keskiarvo: 5,3

8. KYSYMYS:

- a) Kuinka keskeistä on etäisyys kaasuasemille asiakkaiden sijainneista? Asteikolla 1–7
- b) Mikä on keskimääräinen etäisyys (km) kaasuasemille asiakkaidenne sijainneista?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 7
Yritys 2: 5
Yritys 3: 6
Yritys 4: 4
Keskiarvo: 5,5

- b) Yritys 1: 5
 Yritys 2: 5
 Yritys 3: 4
 Yritys 4: 100
 Keskiarvo: 28,5

9. KYSYMYS

- a) Kuinka olennaista on kaasuasemien tiheys tietyllä alueella? Asteikolla 1–7
 b) Kuinka monta kaasuasemaa on riittävä määrä tai pitäisi olla vähintään esimerkiksi 100 km halkaisijan alueella, jotta verkosto olisi tarpeeksi kattava yrityksen tarpeisiin?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 5
 Yritys 2: 7
 Yritys 3: 6
 Yritys 4: 4
 Keskiarvo: 5,5

- b) Yritys 1: 10
 Yritys 2: 1
 Yritys 3: 4
 Yritys 4: 15
 Keskiarvo: 7,5

10. KYSYMYS:

- a) Kuinka keskeistä on kaasuasemien etäisyys tärkeimmiltä logistisilta solmukohtilta? Asteikolla 1–7
 b) Kuinka lähellä (km) kaasuasemien tulisi sijaita tärkeimpiä rahtikeskuksia, satamia, tai teollisuusalueita teidän toimintanne kannalta?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 5
 Yritys 2: 7
 Yritys 3: 4
 Yritys 4: 5
 Keskiarvo: 5,3

- b) Yritys 1: 5
 Yritys 2: 2
 Yritys 3: 4
 Yritys 4: 10
 Keskiarvo: 5,3

11. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on ottaa huomioon etäisyydet eri kaasuasemien välillä? Asteikolla 1–7
 b) Millä etäisyydellä (km) eri kaasuasemien tulisi sijaita toisiinsa nähden teidän toimintanne kannalta?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 6
 Yritys 2: 5
 Yritys 3: 4
 Yritys 4: 6
 Keskiarvo: 5,3
- b) Yritys 1: 10
 Yritys 2: 50
 Yritys 3: 40
 Yritys 4: 150
 Keskiarvo: 62,5

12. KYSYMYS:

- a) Kuinka ratkaisevaa on, että kaasuasemat sijaitsevat lähellä valtateitä tai muita pääliikenneväyliä? Asteikolla 1–7
- b) Kuinka kaukana (km) asemat saavat mieluiten olla päätieverkosta?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 6
 Yritys 2: 7
 Yritys 3: -
 Yritys 4: 6
 Keskiarvo: 6,3
- b) Yritys 1: 3
 Yritys 2: 2
 Yritys 3: -
 Yritys 4: 10
 Keskiarvo: 5

13. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on etäisyys kaasuasemille ajoneuvojen yöpymispaikoista? Asteikolla 1–7
- b) Millä etäisyydellä (km) kaasuasemien olisi hyvä sijaita niistä paikoista, joissa ajoneuvot pysähtyvät yöksi, esimerkiksi lepopaikat ja pysäköintialueet?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 2
 Yritys 2: 5
 Yritys 3: 6
 Yritys 4: 1
 Keskiarvo: 3,5
- b) Yritys 1: 10
 Yritys 2: 2
 Yritys 3: 4

Yritys 4: 100

Keskiarvo: 29

14. KYSYMYS:

- a) Kuinka tärkeää on etäisyys biokaasuun erikoistuneiden huoltopisteiden ja yrityksenne toimipaikan välillä?
Asteikolla 1–7
- b) Kuinka kaukana (km) biokaasuun erikoistuneet huoltopisteet sijaitsevat yrityksenne ajoneuvojen käyttöalueella?

VASTAUKSET:

- a) Yritys 1: 5
Yritys 2: 7
Yritys 3: 5
Yritys 4: 6
Keskiarvo: 5,8
- b) Yritys 1: 15
Yritys 2: 10
Yritys 3: 5
Yritys 4: 5
Keskiarvo: 8,8

Liite 2. Puolistrukturoidut kysymykset

1. Yrityksen nykyiset kaasuajoneuvot

KYSYMYS: Kuinka monta kaasuajoneuvoa yrityksellänne on käytössä, ja minkä tyyppisiä ne ovat (kevyet kuorma-autot, raskaat kuorma-autot, kevyet ajoneuvoyhdistelmät ja raskaat ajoneuvoyhdistelmät)?

VASTAUKSET:

Yritys 1: 40

Yritys 2: 3 kpl, 18 tonnista jakeluautoa (CBG), 1 kpl 18 tonnin rekkaveturi (LBG) 1 kpl 28 tonnin rekkaveturi (LBG) ja 11 kpl 28 tonnia tasonostinautoja (LBG).

Yritys 3: 68 raskasta kuorma-autoa

Yritys 4: 3kpl raskaita yhdistelmiä, lisää tulee, kun tankkausmahdollisuudet reiteillä yleistyvät.

2. Mikä on kaasukäyttöisen raskaan kaluston osuus yrityksenne koko raskaasta kalustosta?

VASTAUKSET:

Yritys 1: 100 %

Yritys 2: 7 %

Yritys 3: 10 %

Yritys 4: 10 %

3. Ajoneuvojen kantama eri ajoneuvotyypeittäin.

KYSYMYS: Mikä on eri ajoneuvotyyppienne (esimerkiksi kevyet kuorma-autot, raskaat kuorma-autot, kevyet ajoneuvoyhdistelmät ja raskaat ajoneuvoyhdistelmät) kantama, jonka ne pääsevät yhdellä kaasutankkauksella? Voitte antaa eri vastaukset (km) eri ajoneuvoluokille.

VASTAUKSET:

Yritys 1: auton mukaan 200–250 km

Yritys 2: Jakeluautot 250 km ja raskaat 500–1000 km

Yritys 3: Noin 300 km

Yritys 4: 600–400

4. Biokaasun ja dieselin kustannukset

KYSYMYS: Miten biokaasun käyttö vaikuttaa ajoneuvokilometreihin kohdistuviin kustannuksiin verrattuna dieseliin?

VASTAUKSET:

Yritys 1: dieselin hinta on nyt laskenut, biokaasun hinta voisi vielä laskea myös, hintaetua ei ole isommin kumpaankaan suuntaan

Yritys 2: Kustannukset halvemmat, jos ei lasketa auton pääomaa mukaan.

Yritys 3: Polttoainekustannukset hieman suuremmat, mutta ylläpitokustannukset hieman pienemmät.

Yritys 4: Polttoainekustannukset ovat edullisemmat. Hankinta- ja huoltohinnat kalliimmat

5. Biokaasuaajoneuvojen käyttöikä

KYSYMYS: Mikä on biokaasukäyttöisten ajoneuvojen käyttöikä ja miten se suhteutuu dieselikäyttöisten ajoneuvojen käyttöikään?

VASTAUKSET:

Yritys 1: keskimäärin 5–7 vuotta, veikkaisin että samaa luokkaa diesel autoissa

Yritys 2: Meillä on 5 vuoden leasing sopimukset eli sama kuin dieselkalustolla

Yritys 3: Tarkka käyttöikä ei ole vielä tiedossa, koska tällä hetkellä vanhimmat käytössä olevat ajoneuvot ovat noin 5 vuoden ikäisiä. Olettava käyttöikä on sama.

Yritys 4: Käyttöikä on sama, kun dieselissä.

6. Biokaasun hinta ja käyttöönoton kustannukset

KYSYMYS: Miten biokaasulla toimivien ajoneuvojenne käyttöönottokustannukset vertautuvat muilla polttoaineilla toimivien ajoneuvojen käyttöönottokustannuksiin? Miten nämä kustannukset vaikuttavat ottaa kaasu käyttöön?

VASTAUKSET:

Yritys 1: kaasuauto on diesel autoja kalliimpia, joissakin on ollut jonkin verran teknisiä ongelmia, mitkä tuovat lisäkuluja

Yritys 2: Käyttökustannukset halvemmat eli jos autolla ajetaan 130 000–150 000 kilometriä (vähintään) / vuosi viiden vuoden sopimuskaudella niin kaasun käyttö on hyvä vaihtoehto myös taloudellisesti

Yritys 3: Käyttöönottokustannus melkein sama eli ei vaikutusta.

Yritys 4: Kokonaisuutena samassa tai vähän alle vastaavan dieselin kanssa. Polttoainekustannukset pienemmät, hankinta- ja huoltokustannukset edullisemmat. Eli mitä isompi suorite, sen enemmän säästää.

7. Terminaalien sijainnit

KYSYMYS: Millä paikkakunnilla sijaitsevat terminaalinne, joista kaasukäyttöinen kalusto lähtee liikkeelle? Voitte vastata kaupungin, kaupunginosan tai kaupunkien tarkkuudella, mutta voitte myös määritellä tarkemmin, mikäli haluatte.

VASTAUKSET:

Yritys 1: Metsälä / Helsinki

Yritys 2: Lieto, Seinäjoki, Kuopio, Jyväskylä, Oulu, Tampere

Yritys 3: Oulu, Vaasa, Kuopio, Jyväskylä, Joensuu, Mikkeli, Lappeenranta, Turku, Vantaa, Lahti

Yritys 4: Seinäjoki

8. Tankkausnopeus ja ruuhkat kaasuasemilla

KYSYMYS: Kuinka tärkeää on tankkausnopeus ja mahdollisen ruuhkan ottaminen huomioon kaasuasemilla verrattuna esimerkiksi dieselillä toimiviin ajoneuvoihinne?

VASTAUKSET:

Yritys 1: odottelu maksaa rahaa, ruuhkaa ei ole ollut kovin paljoa, onneksi

Yritys 2: Tankkaustapahtuma on pidempi kuin dieselillä eli kaikki ylimääräinen aika maksaa (kuljettajan palkka). Eli on tärkeää

Yritys 3: Jonkun verran tärkeää

Yritys 4: Pysähdyksen kesto max 15min

9. Ajoneuvojen kantama ja reittisuunnittelu

KYSYMYS: Kuinka biokaasukäyttöisten ajoneuvojen kantama suhteessa kaasuasemien sijaintiin vaikuttaa reittisuunnitteluunne?

VASTAUKSET:

Yritys 1: pitkillä reiteillä tehdään tankkaussuunnittelua (ajojärjestelyn avustamana), mutta paikallisajossa kuljettaja tankkaa keskimäärin kerran päivässä ajaessaan sopivalla etäisyydellä sijaitsevan aseman ohi (kuski itse suunnittelee)

Yritys 2: Vaikuttaa ja esimerkiksi autojen sijoitteluun. Meillä on terminaalit Joensuussa ja Ylivieskassa, joihin olisimme sijoittaneet kaasujoneuvoja, jos niissä olisi LBG-tankkausasema

Yritys 3: Ei juurikaan vaikutusta, koska toimimme pääasiassa taajamissa.

Yritys 4: Ajamme vakioreittejä, eli vaikuttaa paljon.

10. Kaasuasemien sijainti ja uudet infrastruktuurihankkeet

KYSYMYS: Kuinka kaasuasemien sijainti lähellä nykyisiä, rakenteilla olevia tai suunnitteilla olevia infrastruktuurihankkeita, kuten moottoriteitä tai logistiikkakeskuksia, vaikuttaa yrityksenne toimintaan?

VASTAUKSET:

Yritys 1: ei vaikutusta

Yritys 2: Mahdollistaa kaasujoneuvojen lisäämisen

Yritys 3: Ei juurikaan vaikutusta.

Yritys 4: Ei varsinaisesti väliä, sijainti reitillä tärkeämpää

11. Kaasujoneuvojen hankinta ja tulevaisuuden suunnitelmat

KYSYMYS: Milloin nykyiset kaasujoneuvot on hankittu, ja onko yrityksellä suunnitelmia hankkia lisää ajoneuvoja lähitulevaisuudessa?

VASTAUKSET:

Yritys 1: vanhimmat autot ovat noin 7 vuoden ikäisiä, mutta keski-ikä on alle 4 vuotta, hankimme lisää varsinkin kaasulla toimivia kuorma-autoja

Yritys 2: Automme ovat vuosilta 2020–2023 ja suunnitelmissa on hankkia sekä korvaavia, että lisäkalustoa

Yritys 3: Ajoneuvot hankittu 2019–2024 ja hankimme lisää myös tulevaisuudessa.

Yritys 4: Ensimmäinen hankittu 2019, lisää tulee, kun reiteillä on mahdollisuus tankata

12. Ympäristömääräykset ja niiden vaikutus biokaasun käyttöön

KYSYMYS: Kuinka uudet tai tulevat säännökset ja ympäristömääräykset vaikuttavat päätöksiin biokaasun käytöstä?

VASTAUKSET:

Yritys 1: meille biokaasun vähäpäästöisyys on tärkeää

Yritys 2: Kaasu on tällä hetkellä oikeastaan ainut realistinen vaihtoehto vastata vastuullisuushaasteisiin.

Yritys 3: Pyrimme käyttämään uusiutuvia polttoaineita ja biokaasu sopii hyvin tarpeisiimme.

Yritys 4: Päästövähennys ja tulevat vaatimukset on suurin vaikuttaja

13. Biokaasun käytön ympäristövaikutukset ja yrityksen imago

KYSYMYS: Miten yritys arvioi biokaasun käytön ympäristövaikutuksia ja niiden merkitystä asiakkaille tai yrityksen imagolle?

VASTAUKSET:

Yritys 1: asiakkaille ekologisuudella on kasvava ja iso merkitys, samoin meidän yrityksemme imagolle ja kilpailukyvyille

Yritys 2: Saksalaisomisteisella yhtiöllä on ollut hieman haasteita ymmärtää biokaasu.

Yritys 3: Merkittävä vaikutus.

Yritys 4: Ympäristövaikutus on merkittävä

14. Tukien ja kannustimien hyödyntäminen

KYSYMYS: Onko yrityksellänne suunnitelmia hyödyntää tukia tai kannustimia biokaasun käyttöönotossa? Miten nämä tuet ja kannustimet otetaan huomioon päätöksiä tehtäessä?

VASTAUKSET:

Yritys 1: tuet ovat hyvä asia, mutta eivät vaikuta päätöksentekoon kaasuautojen osalta

Yritys 2: Mitä tukia on saatavilla esim 2025 ajoneuvohankintoihin?

Yritys 3: Hyödynnämme mahdollisia tukia, mutta niillä ei ole vaikutuksia päätöksentekoon.

Yritys 4: Tuet ovat tärkeitä suuren hankintahinnan takia. Jos tuet loppuvat pitää laskenta tehdä uudelleen onko kannattavaa hankkia kaasukäyttöisiä.

15. Tekijät, jotka vaikuttavat uusien kaasujoneuvojen hankintaan

KYSYMYS: Mitkä tekijät (esimerkiksi kustannukset, infrastruktuuri ja ympäristömääräykset) vaikuttavat eniten yrityksen päätöksiin hankkia uusia kaasujoneuvoja?

VASTAUKSET:

Yritys 1: ympäristöasiat ovat valintaperustemme

Yritys 2: Vastuullisuusasiat ajavat asiaa mutta hankintaa ei tehdä, jos ei sitä pystytä myös osoittamaan liiketaloudellisesti kannattavaksi.

Yritys 3: Tankkausaseman sijainti, biokaasun hinta ja päästövähennykset merkittävimmät päätöksen vaikuttavat tekijät.

Yritys 4: Ympäristö

16. Kaasuasemien riittävyys ja alueelliset erot

KYSYMYKSET: Onko yrityksenne toiminta keskittynyt tietyille alueille ja miten kaasutankkausasemien riittävyys tai puute vaikuttavat toimintaanne?

VASTAUKSET:

Yritys 1: toimimme pääkaupunkiseudulla, jossa on kieltämättä alueita, joilla asemia voisi olla enemmän

Yritys 2: Alueena koko Suomi ja kaasutankkausasemien sijoittuminen ohjaa ajoneuvojemme sijoittelua. Joudumme sijoittamaan dieselajoneuvoja tietyille alueille kaasupisteiden puutteen takia.

Yritys 3: Toimimme ympäri Suomen ja käyttäisimme biokaasua vielä enemmän, mikäli verkosto olisi laajempi.

Yritys 4: Kaasuajoneuvot on valikoitu tietyille reiteille, jossa tankkaaminen mahdollista

17. Alueelliset erot kaasutankkausasemaverkostossa

KYSYMYKSET: Miten alueelliset erot (esimerkiksi tankkausverkoston kattavuus kaupunkialueilla verrattuna harvaan asutuilla alueilla) ovat vaikuttaneet toimintaanne?

VASTAUKSET:

Yritys 1: nykyisin asemia on ympäri suomea ja riittävästi myös pääkaupunkiseudulla, joten helpottaa tietysti, kun ei tarvitse poiketa reitiltä isommin tankataksemme

Yritys 2: Vaikuttaa lähinnä ajoneuvojen kotipisteiden määrittämiseen.

Yritys 3: Kaasuautojen toimintaan vaikuttaa, ei yrityksen

Yritys 4: Sijoitamme kalustomme alueelle, jossa on riittävä verkosto. Mikäli paikkakunnalla on ainoastaan yksi tankkausasema, sen vikaantuessa tai kapasiteetin ollessa rajoitettu syntyy luonnollisesti ongelmia.

18. Merkittävimmät puutteet tankkausasemaverkostossa

KYSYMYKSET: Millä alueilla olette havainneet merkittävimpiä puutteita kaasutankkausasemaverkostossa, ja miten nämä alueet vaikuttavat yrityksenne kuljetustoimintoihin?

VASTAUKSET:

Yritys 1: itäväylä helsingissä: sörnäinen, herttoniemi, itäkeskus

Yritys 2: Itä-Suomi on heikkoa aluetta kuten myös esim. Pori.

Yritys 3: Länsirannikko Vaasa-Oulu

Yritys 4: Länsi-Uusimaa on yksi alue, jossa verkosto on puutteellinen. Käsittääkseni tähän on kuitenkin tulossa ratkaisu. Lisäksi Kainuu, Kuusamo ja Lappi on alueita, joissa ei ole juurikaan mahdollisuutta kaasun tankkaamiseen. Olisimme halunneet hankkia kaasukalustoa myös noille alueille, mutta emme ole voineet sitä tehdä.

19. Kaasuasemien lisääminen tai muuttaminen reiteille

KYSYMYKSET: Onko kaasutankkausasemia lisätty tai muutettu reiteillenne kaasukaluston käyttöönottopäätöksenne jälkeen, ja miten tämä on vaikuttanut toimintaanne?

VASTAUKSET:

Yritys 1: pari asemaa on lopetettu juuri tuolla edellä mainitulla alueella ja ne pitäisi korvata

Yritys 2: On lisätty ja helpottaa reittisuunnittelua

Yritys 3: On lisääntynyt ja se mahdollistaa uudelleen reititystä kaasuautoille.

Yritys 4: Verkosto on laajentunut ja uusissa asemissa on usein ollut parempi kapasiteetti (=paineistun kaasun paineet ovat riittävät kuorma-autoille)

20. Kaasutankkausverkoston kehittyminen ja laajentaminen

KYSYMYS: Onko kaasutankkausasemien verkoston kehittyminen tietyillä alueilla vaikuttanut siihen, missä ja miten olette laajentaneet kaasukäyttöistä kalustoanne ja reittejanne?

VASTAUKSET:

Yritys 1: sillä voi olla vaikutusta, jos asemien määrä vähenee ja jää aukkoja

Yritys 2: Kyllä on

Yritys 3: Tottakai, ei voida ajaa jos ei saa kaasua

Yritys 4: On vaikuttanut