

Kuopion linja-autoliikenteen käyttövoimaselvitys

Raportti



13.11.2018

TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja päästöjen vähentämiseksi on selvitetty linja-autoliikenteen uusia, ympäristöystävällisempiä käyttövoimavaihtoehtoja. Kuopion kaupunkiseudun joukkoliikenneohjelmassa on asetettu 10 sähköbussin tavoite vuodelle 2025. Eri käyttövoimien nopean kehityksen vuoksi on tarkasteltu eri käyttövoimien soveltuvuutta Kuopion kaupunkiseudun joukkoliikenteeseen.

Joukkoliikenteen matkamäärät ovat kasvaneet viime vuosina merkittävästi Kuopiossa. Kuopiossa tehtiin 6,6 milj. matkaa vuonna 2017. Uuden linjastosuunnitelman myötä Kuopiossa liikennöidään 68 bussilla 5,56 milj. km/vuosi ja liikennöintikustannukset ovat 13,9 milj. eur/vuosi. Kuopion kaupungin linjastorakenne perustuu keskustan läpi kulkeviin heilurilinjoihin.

Euro-päästöluokituksen myötä dieselbussiliikenteen päästöt ovat vähentyneet jo merkittävästi 1990-luvun alusta. Nykyisin uudet bussit täyttävät Euro 6 -päästöluokan, jonka hiukkaspäästöt ovat 98 % pienemmät ja typenoksidipäästöt 94 % pienemmät kuin 1990-luvun alun Euro 1 -päästöluokan bussien.

Uusiutuvaa biodieseliä valmistetaan kasvi- ja puupohjaisesta selluloosasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä. Uusiutuvan biodieselin hiilidioksidipäästöt (well-to-wheel) ovat noin 80–90 % pienemmät kuin fossiilisen dieselin. Dieseliä 10 % kalliimpaa uusiutuvaa biodieseliä voidaan käyttää kaikissa dieselbusseissa. Uusiutuvan biodieselin käyttöä rajoittaa tällä hetkellä (syksy 2018) jakelun keskittyminen eteläiseen Suomeen. Kysynnän kasvaessa jakelu kuitenkin todennäköisesti laajenee, mutta tuotannon rajallisuus voi nostaa hintaa.

Biokaasua käyttävien kaasubussien (CBG) hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 %, typenoksidipäästöt noin 40 % ja pienhiukkaspäästöt noin 70 % pienemmät kuin dieselbussien. Biokaasun polttaminen ehkäisee kasvihuoneilmiötä, koska palamisreaktiossa metaani muuttuu vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi. Kuopion seudulla biokaasua ei jalosteta liikennepolttoaineeksi toistaiseksi, vaan tuotanto käytetään lämmön tuotantoon vuoteen 2026 asti.

Sähkö on merkittävässä määrin yleistymässä kaupunkien linja-autoliikenteessä. Täyssähköbusseja ladataan päätepyssäkeillä, jolloin latausaikaa on tarpeen varata noin 5 min/20 km tai vaihtoehtoisesti tarvitaan isommat akut, mikäli busseja ladataan vain varikoilla. Sähköbussien merkittävimpiä etuja ovat paikallispäästöttömyys, hiljaisuus ja pienet käyttökustannukset.

Kaasubussiliikenteeseen siirryttäessä isoimmat kustannukset aiheutuvat tankkausaseman rakentamisesta. Varsinkin isommalla kalustomäärällä kannattaa tankkausaseman investointi (noin 1,5 milj. euroa) ottaa liikennöitsijän vastuulle. Sähköbussiliikenteessä isoimmat kustannukset aiheutuvat korkeasta kaluston hankintahinnasta (noin 420 000 euroa) ja latausasemien rakentamisesta (noin 250 000 euroa/latausasema). Uuteen käyttövoimaan siirryttäessä olisi luontevaa pidentää liikennöintisopimusten kestoa noin 10 vuoteen suurempien investointikustannusten vuoksi, jos liikennöitsijä vastaa investoinneista.

Liikenne voidaan kilpailuttaa siten, että edellytetään tiettyä käyttövoimaa tai annetaan lisäpisteistä alemmista päästöistä. Vaihtoehtoisesti voidaan pyytää myös vaihtoehtoisia tarjouksia eri käyttövoimista. Uusiin käyttövoimiin siirryttäessä liikennöintikustannukset kasvavat noin viisi (5) prosenttia. Uusiin käyttövoimiin kannattaa siirtyä kuitenkin vasta riittävän suurilla liikennöintikokonaisuuksilla. Sähköbussien osalta viiden prosentin taso saavutetaan jo noin kahdeksalla bussilla. Biokaasuun siirryttäessä riittävä kokonaisuus saavutetaan noin 15–20 kaasubussilla, jos varikkojen vieressä ei ole ennalta biokaasun tankkausasemaa. Kuopion keskustan ympäristön linjoilla esitetään varautumista sähköbussiliikenteeseen siirtymiseksi. Muilla linjoilla voidaan antaa kilpailutuksessa lisäpisteitä uusiutuvan biodieselin käytöstä. Pidemmällä aikavälillä voidaan siirtyä myös biokaasun käyttöön sitten, kun seudulla tuotetaan myös paikallisesti biokaasua riittävästi.

ESIPUHE

Valtioneuvosto on asettanut tavoitteeksi liikenteen kasvihuonepäästöjen vähentämisen 50 prosentilla vuodesta 2005 vuoteen 2030. Kansainvälisesti päästöjen vähentämistavoitteita linjaa Pariisin ilmastopöytäkirja. Euroopan unionin tasolla ilmastopolitiikkaa ohjaavat energia- ja ilmastopaketit sekä ilmastopolitiikka vuoteen 2050. Kuopion kaupunki on sitoutunut kuntien energiatehokkuussopimuksessa 2017–2025 edistämään myös liikenteen energiatehokkuutta.

Kuopiossa on tehty päätöksiä uusien käyttövoimien edistämisestä liikenteessä. Kuopion joukkoliikenneohjelmassa 2025 on asetettu tavoitteeksi, että kaupunkiseudulla on vuoteen 2025 mennessä 10 sähköbussia.

Päästöjen vähentämiseksi asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi on tehty Jyväskylän kaupungin kanssa yhteistyössä linja-autoliikenteen käyttövoimaselvitys. Kuopiossa on linja-autoliikenne kilpailutettu kokonaisuudessaan ensi kertaa siten, että kilpailutettujen liikennöintisopimusten mukainen liikenne on alkanut vuonna 2014. Lähivuosina, vuodesta 2019 alkaen, ovat ensimmäiset liikennöintisopimukset päättymässä. Käyttövoimaselvitys antaa suuntaviivoja, millä tavoin liikennettä voitaisiin hankkia nykyistä ympäristöystävällisemmin.

Työn laadittu yhteistyössä Jyväskylän kanssa. Työtä on ohjannut projektiryhmä, johon ovat kuuluneet:

Harri Auvinen, pj.	Kuopion kaupunginhallituksen edustaja
Sakari Pääkkö (varalla Sami Voutila)	Kuopion kaupunkiseudun jl-ltk
Kaisu Matinniemi (varalla Seija Pasanen)	Kuopion kaupunki, joukkoliikenneyksikkö
Antti Tirkkonen (varalla Tero Myyryläinen)	Kuopion kaupunki, joukkoliikenneyksikkö
Tapio Kettunen (varalla Minna Kuuluvainen)	Kuopio, alueelliset ympäristösuojelupalvelut
Pekka Kauhanen (varalla Seppo Kiiski)	Siilinjärven kunta
Kari Ström	Jyväskylän kaupunki
Ari Tuovinen	Jyväskylän kaupunki

Konsulttina työssä on toiminut WSP, jossa työstä ovat vastanneet Simo Airaksinen, Annakaisa Lehtinen ja Vili-Vernerinen Lehtinen. Lisäksi työhön ovat osallistuneet Kim Venesjärvi, Antti Kataja ja Samuli Kyytsönen.

Työ on alkanut maaliskuussa 2018 ja on valmistunut lokakuussa 2018.

Työssä on toteutettu liikenteenharjoittajille kysely, jolla on selvitetty, millä edellytyksillä liikennöitsijät voivat aloittaa liikennöinnin uudella käyttövoimalla.

Konsultti on vierailut työn aikana Vaasan kaupungilla ja Wasa City Busilla huhtikuussa 2018. Vaasassa on alkanut liikennöinti biokaasubusseilla helmikuussa 2017. Työn aikana konsultti on vierailut Scanialla. Työn aikana konsultti on tavannut myös Gasumin edustajia kahdesti Kuopion ja Jyväskylän käyttövoimaselvitykseen liittyen.

Työssä on hyödynnetty myös konsultin aiemmin tekemiä selvityksiä käyttövoimavaihtoehtoista sekä selvitysten yhteydessä käytyjä keskusteluja tilaajien, kalustovalmistajien ja muiden sidosryhmien kanssa.

Työstä on laadittu erilliset raportit Kuopion ja Jyväskylän kaupungeille.

KÄSITTEITÄ

Biodiesel	Ensimmäisen sukupolven biodieseliä valmistetaan öljypitoisista kasveista ja bioraaka-aineista. Ensimmäisen sukupolven biodieseliä ei välttämättä voi käyttää moottorissa muuten kuin fossiiliseen dieselpolttoaineeseen sekoitettuna. Toisen sukupolven biodiesel (ks. uusiutuva diesel).
Biokaasu	Liikennepolttoaineeksi jalostettua raakabiokaasua. Biokaasu on uusiutuva energianlähde. Biokaasua pidetään uusiutuvana energianlähteenä, koska se syntyy yhdyskuntajätteiden (mm. kotitalouksien biojäte) ja jätevedenpuhdistamoiden lietteiden mädätyksessä muodostuvasta raakabiokaasusta.
EEV	Kevytrakenteinen Euro 5-päästöluokan dieselbussi
Hybridibussi	Bussi, jonka käyttövoimana on sekä sähkö että dieselpolttoaine ja energiavarastona akut
Kaasubussi	Bussi, joka käyttää polttoaineena biokaasua (CBG) tai maakaasua (CNG)
Latausoperaattori	Lataussovelluksen ja/tai latauspalvelun toimittaja. Latauspalveluun voi sisältyä mm. lataustapahtumien seuranta ja raportointi sekä latauslaitteiden tekninen valvonta ja huoltotoimenpiteiden koordinointi.
Maakaasu	Maakaasu on fossiilinen polttoaine. Maakaasusta jalostetaan liikennekaasua kaasuautojen polttoaineeksi. Liikennepolttoaineesta käytetään lyhennettä CNG (paineistettu maakaasu).
Nesteytetty kaasu	Liikennepolttoaineena nesteytettyä kaasua käytetään pääsääntöisesti raskaassa liikenteessä. Nesteytetyn kaasun lämpötila on -163 °C ja paine 1 bar. Nesteytetty kaasu voi olla alkuperän mukaan joko maakaasua (LNG) tai biokaasua (LBG).
Paineistettu kaasu	Liikennepolttoaineena paineistettua kaasua käytetään henkilöautoissa ja kaupunkibusseissa. Paineistetun kaasun lämpötila on 15 °C ja paine 200 bar. Paineistettu kaasu voi olla alkuperän mukaan joko maakaasua (CNG) tai biokaasua (CBG).
Pantografi	Sähköbussin katolle tai vaihtoehtoisesti latauslaitteeseen asennettava komponentti, joka välittää sähkövirtaa bussiin sitä ladattaessa
Pikalataus	Bussilinjan varrella suoritettava lyhytkestoinen sähköbussin lataus (esimerkiksi virroitinlataus)
Plug-in-hybridi	Hybridibussi, jossa on sekä polttomoottori (diesel) että sähköbussi. Tavanomainen hybridi kerää sähköä vain jarrutusenergiasta. Plug-in-hybrididiä ladataan joko varikolla tai linjan varrella, pääsääntöisesti pääte pysäkeillä.
Pääte pysäkilataus	Sähköbussiliikenteen järjestämistapa, jossa sähköbussuja ladataan päivän aikana linjan varrella ja lähtökohtaisesti myös bussivarikolla yön aikana
Raakabiokaasu	Yhdyskuntajätteiden (mm. kotitalouksien biojäte) ja jätevedenpuhdistamon lietteiden mädätyksessä muodostuva kaasu
Rinnakkaishybridi	Hybridibussi, jossa on sekä poltto- että sähkömoottorilla mekaaninen yhteys vetäviin pyöriin. Voimanlähteenä voi toimia joko poltto- tai sähkömoottori tai molemmat yhdessä.

Sarjahybridi	Hybridibussi, jossa ei ole mekaanista yhteyttä polttomoottorin ja vetävien pyörien välillä. Polttomoottori pyörittää generaattoria, jonka tuottama sähkö ohjataan sähkömoottoriin tai varastoidaan akkuihin. Voimanlähteenä toimii sähkömoottori.
Sähköbussi	Bussi, jonka käyttövoimana on sähkö ja energiavarastona akut
Uusiutuva diesel	Toisen sukupolven biodiesel eli uusiutuva diesel voidaan käyttää tavallisissa dieselmootoreissa sellaisenaan tai yhdessä fossiilisen dieselin kanssa. Uusiutuvaa biodieseliä valmistetaan kasvi- ja puupohjaisesta selluloosasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä.
Varikkolataus	Bussivarikolla suoritettava sähköbussin lataus. Sähköbussiliikenne voi perustua myös pelkkään varikkolataukseen, jolloin se on toinen sähköbussiliikenteen järjestämistapa päätepysäkkilatauksen ohella.
Virroitinlataus	Sähköbussin yläpuolelta tapahtuva automaattinen ja suuritehoinen latausmenetelmä
Well-to-wheel päästöt	Hiilidioksidipäästöt, kun huomioidaan energiantuotanto ja bussiliikenteen käytön aikaiset päästöt

SISÄLTÖ

1.	Työn lähtökohdat ja tavoitteet.....	7
1.1.	Työn tausta ja tavoitteet.....	7
1.2.	Joukkoliikenne Kuopiossa.....	7
2.	Käyttövoimavaihtoehtojen kuvaus.....	10
2.1.	Diesel.....	10
2.2.	Biokaasu.....	13
2.3.	Sähkö.....	18
2.4.	Helsingin, Tukholman ja Oslon tavoitteet.....	26
3.	Käyttövoimien vaikutukset bussiliikenteeseen ja kilpailutukseen.....	28
3.1.	Yleiset vaikutukset.....	28
3.2.	Diesel.....	31
3.3.	Biokaasu ja sähkö.....	31
3.4.	Roolit.....	32
4.	Käyttövoimavaihtoehtojen vertailu.....	35
4.1.	Päästöt ja kustannukset.....	35
4.2.	Kooste käyttövoimien eduista ja haasteista.....	40
4.3.	Kokonaiskustannusten vertailu.....	42
5.	Suosituksat ja etenemispolut Kuopiossa.....	47
	Lähteet.....	55

1. TYÖN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

1.1. Työn tausta ja tavoitteet

Ilmastomuutoksen hillinnän sekä päästöjen vähentämistavoitteiden vuoksi on ollut tarve tutkia joukkoliikenteen eri käyttövoimavaihtoehtoja. Kuopion kaupunki on sitoutunut kuntien energiatehokkuussopimuksessa 2017–2025 edistämään energiatehokkuutta myös liikenteessä. Kuopion kaupunkiseudun joukkoliikenneohjelmassa 2025 on asetettu tavoitteeksi, että Kuopion kaupunkiseudulla on vuonna 2025 kaikkiaan 10 sähköbussia.

Kuopion alueella on tehty päätöksiä uusien käyttövoimien edistämisestä liikennepolttoaineena. Kuopion resurssiviisaisohjelmassa on asetettu tavoitteeksi vuodelle 2030, että alueella on kattava sähköautojen latauspisteverkosto ja useita biokaasun tankkausasemia. Gasum avaa Matkuksen kauppa-alueen yhteyteen kaasun jakeluaseman vuonna 2018 tai 2019. Matkuksessa myydään aluksi maakaasua. Biokaasun jakelu voidaan aloittaa myöhemmin, mikäli lähialueilla tuotetaan biokaasua. Gasumilla ja Kuopion Energialla on sopimus vuoteen 2026 asti, että Gasumin Kuopion laitoksen biokaasu toimitetaan kaasuturbiinilaitokselle lämmön tuotantoon.

Käyttövoimaselvityksessä tavoitteena on ollut tutkia yleisellä tasolla eri käyttövoimavaihtoehtojen (diesel, kaasu, sähkö) soveltuvuus kaupunkiliikenteen bussien käyttövoimana. Lisäksi tavoitteena on ollut vertailla eri käyttövoimavaihtoehtoja päästöjen ja kokonaiskustannusten näkökulmasta. Lisäksi on selvitetty yleinen käytäntö joukkoliikennetoimijoiden rooleista eri käyttövoimavaihtoehtoisissa ja kustannusten kohdentumisesta eri osapuolille sekä kaluston saatavuus tällä hetkellä ja lähivuosina.

Kaupunkikohtaisesti on selvitetty:

- käyttövoimavaihtoehtojen soveltuvuus alueille
- vaihtoehtoisten käyttövoimien mahdollisuudet korvata nykyistä dieselkalustoa
- kunkin vaihtoehtoisen käyttövoiman saatavuus alueella
- tarvittavat investoinnit infrastruktuuriin
- joukkoliikennetoimijoiden roolit eri käyttövoimavaihtoehtoisissa
- kokonaiskustannukset ja niiden kohdentuminen eri osapuolille
- vaikutukset liikennöintisopimukseen (mm. sopimuskauteen)
- alueen liikennöitsijöiden näkemykset käyttövoimavaihtoehtoihin.

Lisäksi kaupunkikohtaisesti on laadittu alustavat toteuttamissuunnitelmat/etenemispolut eri vaihtoehtoilta.

1.2. Joukkoliikenne Kuopiossa

Kuopion kaupunkiseudun bussiliikenne on kilpailutettu viitenä kohteena, joista yksi on pienkalustokohte. Ensimmäisinä päättyneissä sopimuksissa on päätetty käyttää optioita siten, että uudet liikennöintisopimukset alkavat kesällä 2019. Kaksi sopimusta päättyy kesällä 2021. Kuopion kaupunkiseudun linjastosuunnitelman tarkistuksen myötä liikennettä on suunniteltu jonkin verran lisättäväksi nykyisestä siten, että automäärä uusissa sopimuksissa on 68. Liikennöintikustannuksiksi on arvioitu

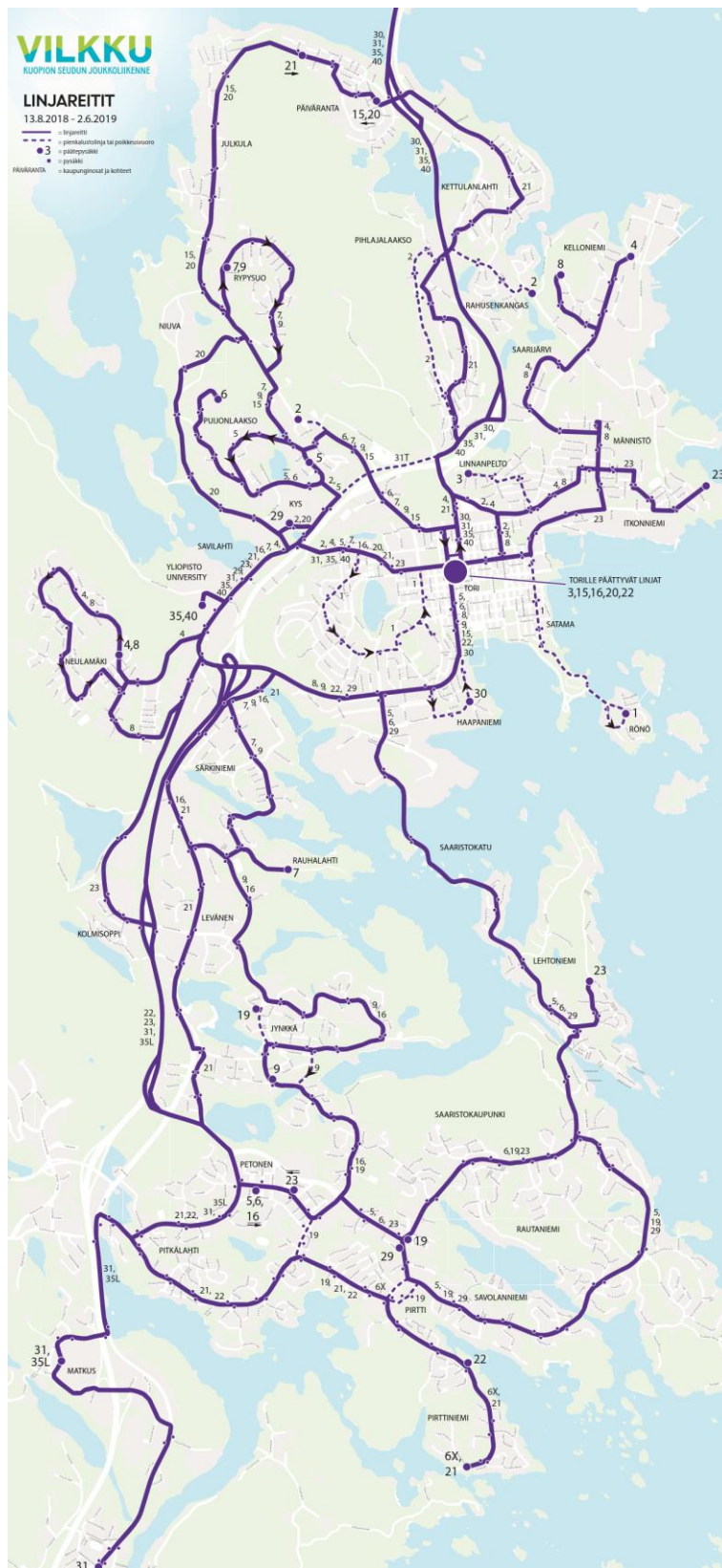
13,9 miljoonaa euroa/vuosi. Linjakilometreiksi on arvioitu uusissa sopimuksissa yhteensä 5,56 milj. km/vuosi.



Kuva 3. Dieselbussi Kuopiossa

Pääosa kaupunkiliikenteen linjoista on heilurilinjoja, jotka ajavat Kuopion torin kautta. Linjoilla on yleensä muutaman minuutin ajantasausaika keskustan pysäkeillä, mutta ruuhka-aikoina ajantasausaikaa ei välttämättä jää torille. Aiemmin sähköbussilinjoiksi on suunniteltu linjoja 4 ja 8, joilla ajetaan jatkossa arkisin yhteensä seitsemän (7) lähtöä/suunta/tunti. Linjojen kierrosaika on 80–90 min ja linjapituudet ovat noin 12 km. Kaikkien kaupunkiliikenteen linjojen linjapituus on keskimäärin noin 15 km. Siilinjärven suuntaan ajetaan kaupunkiliikenteen linjoja, joilla on pidempiä moottoritieosuuksia.

Kuopion kaupunkiseudun joukkoliikenteen matkamäärät ovat olleet merkittävässä kasvussa viime vuosina. Matkamäärät kasvoivat 14,3 % vuonna 2016 ja 9,1 % vuonna 2017 edelliseen vuoteen verrattuna. Kuopion kaupunkiseudun joukkoliikenteen matkamäärä oli 6,6 miljoonaa vuonna 2017.



Kuva 4. Kuopion linjakartta liikennöintivuodelle 2018-2019.

2. KÄYTTÖVOIMAVAIHTOEHTOJEN KUVAUS

2.1. Diesel

2.1.1. Fossiilinen diesel

Diesel on bussiliikenteen perinteisin käyttövoima ja useimmat Suomessa käytössä olevista busseista on varustettu dieselmotorilla. Dieselöljy on fossiilinen polttoaine, jonka saatavuus maailmanlaajuisesti on pitkällä aikavälillä rajallista. Lyhyellä aikavälillä dieselöljyn saatavuus on kuitenkin erinomainen.



Kuva 5. Volvon dieselkäyttöinen telibussi

Dieselbusseja valmistetaan 2-akselisina busseina (pituus noin 11–13 m), 3-akselisina telibusseina (pituus noin 15 m) sekä nivel- ja tuplanivelbusseina (pituudet 18 m/24 m). Suomessa eri kaupunkiseuduilla liikennöidään pääasiassa 12–13 metrin pituisilla 2-akselisilla busseilla ja 15 metrin pituisilla telibusseilla. 2-akselisessa dieselbussissa on noin 30–40 istumapaikkaa ja telibussissa noin 50 istumapaikkaa.

Suomen markkinoilla dieselbusseja on saatavana useilta kalustotoimittajilta, kuten Irisbus, Iveco, Mercedes-Benz, Scania, Solaris, VDL ja Volvo. Dieselbussin käyttöikä on Suomessa kaupunkiliikenteessä noin 15 vuotta. Dieselbussien jälkimarkkinat ovat ennustettavat, joten dieselbussille voidaan arvioida jälleenmyyntiarvo.

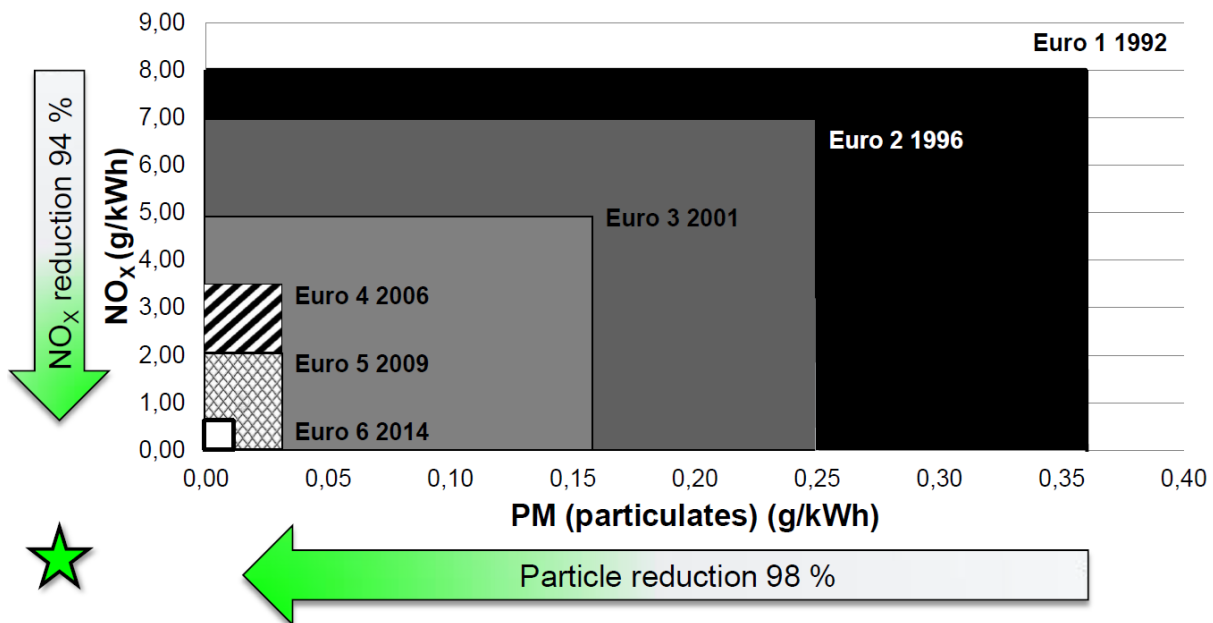


Kuva 6. Dieselbussi liikenteessä HSL-alueella (Kuva: VDL)

Kaupunkidieselbussin toimintasäde on noin 600 kilometriä. Kaupunkiajossa 2-akselinen dieselbussi kuluttaa noin 33 l/100 km. Modernissa dieselbussissa käytetään myös AdBlue -lisäainetta, joka vähentää typpioksidipäästöjä. AdBlue-aineen kulutus on noin 1,4 l/100 km. Dieselmoottorien kehitys on viime vuosina kulkenut kohti pienempiä ja tehokkaampia moottoreita, minkä avulla polttoaineen kulutusta on saatu jonkin verran laskettua.

Dieselpolttoaineen saatavuus ja toimitusvarmuus ovat Suomessa erinomainen. Bussien tankkaus voidaan järjestää varikolla tai varikon ulkopuolisella tankkausasemalla. Polttoaineen tankkaamiseen menee aikaa joitakin minuutteja. Dieselmoottori tuottaa vain vähän hukkalämpöä, joten bussin moottorin ja sisätilojen lämmittämiseksi talvella tulee bussit varustaa dieselkäyttöisellä lisälämmittimellä. Lisälämmittimen polttoaineenkulutus on noin 3 litraa/tunti.

Dieselbussi aiheuttaa erityisesti typpioksidi-, pienhiukkas- ja kasviuonekaasupäästöjä. Nykyisissä EURO 6 -päästöluokan dieselbusseissa typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt ovat vanhempiin dieselbusseihin verrattuna selkeästi vähäisempiä (Kuva 1).



Kuva 1. Euro -päästöluokkien päästöt (Kuva: Scania)

Dieselibussit aiheuttavat myös liikennemelua, joka koostuu moottorimelusta sekä ajoneuvon vierintämelusta. Kaupunkiliikenteessä moottorin aiheuttama melu on hallitsevassa asemassa aina taajama-nopeuksilla ajettaessa. Vasta yli 50 km/h nopeuksilla vierintämelu on hallitsevampaa. Kaupunkiliikenteessä toistuvat kiihdytykset, jarrutukset sekä tyhjäkäynti lisäävät dieselibussin aiheuttamaa melua ja päästöjä.

2.1.2. Biodiesel

Dieselpolttoainetta voidaan valmistaa myös eloperäisistä ja uusiutuvista raaka-aineista, jolloin yleisesti käytetään nimitystä biodiesel. Biodieseliä voidaan valmistaa esimerkiksi erilaisista viljelyskasveista, ruokajätteistä, palmuöljystä ja puusta. Biodiesel ei sisällä lainkaan rikkiä ja se vähentää päästöjä verrattuna fossiilisen dieselin käyttöön.

Biodieselistä puhuttaessa tulee erottaa ensimmäisen ja toisen sukupolven biodiesel toisistaan. Ensimmäisen sukupolven biodieseliä valmistetaan öljypitoisista kasveista ja bioraaka-aineista. Ensimmäisen sukupolven biodieseliä ei välttämättä voi käyttää ajoneuvon moottorissa muuten, kuin fossiiliseen dieselpolttoaineeseen sekoitettuna.

Toisen sukupolven biopohjaista dieselöljyä eli uusiutuvaa biodieseliä voidaan käyttää tavallisissa dieselmootoreissa sellaisenaan tai yhdessä fossiilisen dieselin kanssa. Uusiutuvaa biodieseliä valmistetaan kasvi- ja puupohjaisesta selluloosasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä. Uusiutuvan biodieselin käyttö on kestävämpää ja sen valmistus ei kilpaile ruokatuotannon kanssa. Uusiutuva biodiesel myös vähentää tehokkaammin päästöjä kuin ensimmäisen sukupolven biodiesel. Uusiutuvaa biodieseliä valmistavat Suomessa Neste (Neste MY) ja UPM (BioVerno).

Tässä raportissa on tarkasteltu käyttövoimavaihtoehtojen yhteydessä vain toisen sukupolven uusiutuvaa biodieseliä. Uusiutuvan biodieselin jakelu on laajentumassa ja todennäköisesti jakelu laajenee kysynnän kasvaessa lähivuosina myös Kuopioon. Härmän Liikenne Seinäjoella on siirtynyt syksyllä 2018 kokonaan uusiutuvan biodieselin käyttöön.

Suomen jakeluvuolovelaki (446/2007) edellyttää, että biopolttoaineiden laskennallinen osuus liikennepolttonesteiden jakelijan kulutukseen toimittamien moottoribensiinin, dieselöljyn ja biopolttoaineiden energiasällön kokonaismäärästä tulee olla vähintään 20 prosenttia vuonna 2020. Pääkaupunkiseudulla HSL:n kilpailuttamassa bussiliikenteessä osa liikenteestä ajetaan biodieselillä. HSL:n tavoitteena on leikata joukkoliikenteen lähipäästöjä sekä hiilidioksidipäästöjä yli 90 prosenttia vuodesta 2010 vuoteen 2025. Tavoitteeseen pääseminen ei onnistu ilman uusinta ajoneuvoteknologiaa, parhaimpia polttoaineita ja sähköbussien käyttöönottoa.

Biopolttoaineiden edistämiseksi HSL maksaa liikennöitsijöille ympäristöbonuksia päästöjen vähentämisestä. Bonukset maksetaan normaalien liikennöintikorvausten päälle. Vuonna 2018 HSL-liikenteessä kolmelle liikennöitsijälle maksetaan yhteensä miljoona euroa ympäristöbonuksia biodieselin käytöstä. Biodieseliä voidaan käyttää myös lisälämmittimessä ympäristöhaittojen vähentämiseksi.

2.2. Biokaasu

2.2.1. Biokaasun tuotanto ja kaasubussien ominaisuudet

Kaasubussit ovat maailmanlaajuisesti yleisiä ja niitä on käytössä Euroopassa noin 17 000 bussia. Esimerkiksi Ruotsissa on yli 2 000 kaasubussia. Kaasubussien toimintavarmuus on hyvä ja käyttöikä yhtä pitkä kuin perinteisillä dieselbusseilla.

Kaasubussit voivat käyttää polttoaineena sekä biokaasua (CBG) että maakaasua (CNG). Liikennepolttoaineeksi jalostettu biokaasu ei juurikaan eroa maakaasusta kemiallisesti, sillä molemmissa kaasuissa on pääkomponenttina metaani. Tästä syystä niitä voidaan myös sekoittaa keskenään. Ruotsissa kaasubusseissa käytetään polttoaineena biokaasua, mutta muualla Euroopassa yleisesti maakaasua. Tässä työssä keskitytään biokaasubusseihin.

Yhdyskuntajätteiden (mm. kotitalouksien biojäte) ja jätevedenpuhdistamon lietteiden mädätyksessä muodostuu raakabiokaasua. Jotta kaasua voidaan hyödyntää bussiliikenteen käyttövoimana, jalostetaan mädätyslaitoksen tuottama raakabiokaasu tuotantolaitoksessa liikennepolttoaineeksi. Liikennekäyttöön jalostettaessa raakabiokaasusta poistetaan hiilidioksidi ja epäpuhtaudet. Puhdistamisen jälkeen biokaasu voidaan paineistaa (CBG) tai nesteyttää (LBG) jakelua varten. Tällä hetkellä Suomessa käytetään liikennepolttoaineena ainoastaan paineistettua biokaasua (CBG).

Kuopion alueella toimii tällä hetkellä useita biokaasua tuottavia laitoksia ja siten osa tuotetusta kaasusta olisi mahdollista jalostaa liikennekäyttöön. Kuopiossa yhdyskuntajätteitä ja jätevedenpuhdistamon lietteitä hyödynnetään biokaasun tuotannossa Kuopion Veden laitoksella Lehtoniemessä, Gasumin laitoksessa Heinälammirinteellä (aiemmin Biotehdas Oy:n laitos), Jättekukon kaatopaikoilla Heinälammirinteellä ja Silmäsuolla sekä Luonnonvarakeskuksen Maaningan tutkimuslaitoksella. Kuopion Veden laitoksen biokaasusta tuotetaan sähköä ja lämpöä jätevedenpuhdistamon omiin prosesseihin. Heinälammirinteen kaatopaikalta ja Gasumin laitokselta biokaasut johdetaan poltettavaksi Kuopion Energian kaasuturbiinilaitokselle. Gasumin ja Kuopion Energian sopimus on voimassa vuoteen 2026 asti. Kaasuturbiinilaitos tuottaa lämpöä 34 000 MWh vuodessa. Kuopion alueelta ei siten ole saatavissa toistaiseksi paikallisesti tuotettua biokaasua. On mahdollista, että vuonna 2026 alueella on paikallisesti tuotettua biokaasua.

Kuopion Matkukseen rakennetaan Gasumin tankkausasema vuoden 2018 aikana. Asemalla voi tankata nesteytettyä ja paineistettua kaasua. Aluksi kaasu on maakaasua, mutta mahdollisesti myöhemmin myös biokaasua.

Suomen maakaasu- ja biokaasumarkkinat muuttuvat vuoden 2020 alusta, kun perustetaan erillinen kaasuverkkoyhtiö. Nykyisin kaasun runkoverkosto on Gasumilla, joka on myös kaasun tuottaja. Suomen ja Viron yhdistävä Baltic Connector –kaasuputki valmistuu vuoden 2019 loppuun mennessä. Baltic Connectorin ja siihen liittyvien hankkeiden myötä Baltian maat ja Suomi yhdistyvät Euroopan kaasumarkkinoihin. Koska jatkossa maakaasua on saatavissa useammasta suunnasta, on perusteltua erottaa kaasuverkosto ja kaasun tuotanto erillisiksi yhtiöiksi. Jatkossa kaasumarkkinat ovat aiempaa enemmän sähkömarkkinoiden kaltaisia, kun kaasuputkisto ja tuotanto ovat erillään. Sähköverkoston tavoin paikallisverkosto on alueellisilla yhtiöillä. Mikäli biokaasuvoimalat ovat kaasuverkon yhteydessä, on jatkossa mahdollista ostaa biokaasua aiempaa helpommin useampaa tuottajaa kilpailutamalla.



Kuva 2. Kaasubussi liikenteessä Vaasassa

Vaasassa kaasubussien energiankulutus on noin 0,35 kg/km ja operointisäde noin 500–700 km, joten busseja tankataan pääasiassa yöllä varikolla. Tankkausta varten tulee varikolla olla biokaasun hidastankkauslaitteet. Biokaasun jakeluun voidaan käyttää samoja siirto-, varastointi ja tankkausmenetelmiä kuin maakaasulle. Biokaasun siirtoon voidaan käyttää putkistoa tai säiliökuljetusta. Biokaasun saatavuus alueella on siten hyvä.

Bussiliikenteen toimintavarmuuden takaamiseksi kaasubussivarikolla tulee varautua mahdollisiin biokaasun jakelun häiriötilanteisiin. Biokaasun jakelun varajärjestelmänä voidaan kaasubussivarikolle hankkia säiliö nesteytettyä maakaasua (LNG). Esimerkiksi Vaasan kaasubussivarikolla on myös maakaasusäiliö mahdollisten biokaasun jakeluhäiriöiden varalle.

Kaasubussien pikatankkaus kestää noin 5–10 minuuttia ja hidastankkaus noin 15 minuuttia bussia kohden. Varikolla hidastankkauksessa voidaan tankata aina vain yhtä kaasubussia kerrallaan, joten hidastankkauksen kokonaiskesto varikolla riippuu kaasubussien määrästä.



Kuva 3. Kaasubussi pikatankkauksessa kaasubussivarikolla



Kuva 4. Kaasubussin hidastankkauslaite

Talviolosuhteissa kaasubussin moottorin ja sisätilojen lämmittämiseen tarvitaan polttoainekäyttöistä lisälämmitintä. Lisälämmitin voi olla kaasu- tai dieselkäyttöinen. Siten lisälämmittimeen soveltuu myös joko biokaasu tai biodiesel. Lisälämmittimen polttoaineenkulutus on noin 3 litraa/tunti. Koska kaasumoottorin käyttölämpötila on jonkin verran dieselmoottoria korkeampi, on kaasubussin lisälämmittämisen tarve vähäisempää verrattuna dieselbussiin.

Kaasubussikalusto ei moottoritekniikkaa lukuun ottamatta poikkea perinteisestä dieselbussikalustosta ja sen operoinnista. Kaasubusseista on saatavana ainakin 2-akselisia busseja, telibusseja ja nivelbusseja. Kaasubussissa (2-akselinen kaupunkibussi) on noin 30–40 istumapaikkaa ja matkustajakapasiteetti on yhteensä noin 70–80 paikkaa. Kaasubusseja on saatavana useilta kalustotoimittajilta, kuten Iveco, MAN, Mercedes-Benz, Scania ja Solaris.



Kuva 5. Kaasubussin sisätilat

Merkittävin ero maakaasubussin ja biokaasubussin välillä on se, että maakaasu on fossiilinen polttoaine, kun taas biokaasu on uusiutuva energianlähde. Maakaasun käyttäminen kaasubussin polttoaineena jopa lisää bussiliikenteen hiilidioksidipäästöjä dieselbussiliikenteeseen verrattuna, kun huomioidaan tuotanto ja bussiliikenteen käytön aikaiset päästöt (well-to-wheel).

Biokaasu on uusiutuva energianlähde, jonka hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin dieselpolttoaineella, kun huomioidaan tuotanto ja bussiliikenteen käytön aikaiset päästöt (well-to-wheel). Kaasubussit eivät ole paikallispäästöttömiä, mutta dieselbussiliikenteeseen verrattuna paikallispäästöt ovat alhaisempia. Biokaasua käyttövoimaan käyttävillä kaasubusseilla on dieselbusseja alhaisemmat pienhiukkas-, typenoksidi- ja melupäästöt. Esimerkiksi typenoksidipäästöt ovat noin 40 % ja pienhiukkaspäästöt noin 70 % pienemmät kuin EURO 6 -päästöluokan dieselbussilla.

Kaasubussien merkittävä hyöty on se, että raakabiokaasua (metaania) muodostuu mädätyksessä joka tapauksessa, sen hyödyntämisestä riippumatta. Siten sen lisäksi, että biokaasun käyttö bussiliikenteessä korvaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä, se vähentää myös muilta sektoreilta aiheutuvia metaanipäästöjä. Biokaasun polttaminen ehkäisee kasvihuoneilmiötä, koska palamisreaktiossa voimakas kasvihuonekaasu metaani muuttuu vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi.

2.2.2. Kaasubussit Vaasassa ja Lappeenrannassa

Vaasassa on ollut alkuvuodesta 2017 alkaen liikenteessä 12 Scanian kaasubussia. Vaasan kaupungin lähtökohta kaasubussien hankinnalle on ollut yhdyskuntajätteestä ja jätevedenpuhdistamon lietteistä tuotetun biokaasun hyötykäyttö sekä fossiilisten polttoaineiden korvaaminen. Tämän mahdollistamiseksi Vaasan kaupunki on investoinut raakabiokaasun polttoainejalostamoon sekä kaasubussikalustoon. Kaupungin omistamat kaasubussit on luovutettu bussiliikenteen tarjouskilpailun voittaneen liikennöitsijän käyttöön. Vaasan runkobussiliikenne hoidetaan pääasiassa 12 kaasubussin liikenteellä, mutta bussiliikenteen ruuhkavuorot hoidetaan edelleen perinteisillä dieselbusseilla.

Vaasan kaupunki on hankkinut Scanian kaasubussit 10 vuoden leasing-sopimuksella. Lisäksi kaupunki vastaa kaasubussikaluston huolto- ja energiakustannuksista. Vaasan kaupunki on tehnyt sopimuksen paikallisen biokaasun tuotantolaitoksen kanssa siitä, että kaupunki ostaa tuotantolaitokselta vähintään 700 000 linjakilometriä vastaavan määrän biokaasua vuosittain. Vaasan kaupungin maksamat energiakustannukset sisältävät myös kaasubussivarikon sekä kaasubussien hidas- ja pikatankkausasemien kustannukset. Vaasassa kaasubussivarikko tankkausasemineen sijaitsee paikallisen biokaasun tuotantolaitoksen välittömässä läheisyydessä.

Vaasan kaupungin mukaan kaasubussit ovat olleet toimintavarmoja. Vaasassa tavoitteena oli, että jokaisella kaasubussilla liikennöidään keskimäärin 60 000 linjakilometriä vuodessa. Kaasubusseilla liikennöitiin Vaasassa ensimmäisenä vuonna yhteensä noin 792 000 linjakilometriä, joten asetettu tavoite ylitettiin. Myös kaasubussien matkustajat ja liikennöitsijä ovat olleet tyytyväisiä kaasubussiliikenteeseen. Kaasubussien hankinnan kilpailutus sujui Vaasassa erinomaisesti. Liikennöinnin aloittamisessa viivettä aiheutti kuitenkin hidastankkausaseman toteutuksesta tehdyt valitukset ensin markkinaoikeuteen ja sitten korkeimpaan hallinto-oikeuteen, joissa valitukset kaatuivat. Vaasa on saanut biokaasubussiprojektistaan Motivan kunniamaininnan.

Savonlinja on hankkinut kaksi Scanian kaasubussia, joilla se liikennöi Lappeenrannan paikallisliikenteessä. Bussit toimitetaan joulukuussa 2018.

2.2.3. Kaasubussit HSL-alueella

HSL-alueella kaasubusseja on ollut merkittävässä määrin vuodesta 2002 lähtien, jolloin HKL-Bussiliikenne (nyk. Helsingin Bussiliikenne) osti 32 Volvon kaasubussia liikenteeseen. HSL-alueella on myös aiemmin ollut yksittäisiä kaasubusseja käytössä. Tammelundin Liikenne on hankkinut yhteensä 16 kaasubussia, jotka ovat olleet Mercedes-Benzejä. Lisäksi Concordia Bus Finland (nyk. Nobina) on hankkinut kolme kaasubussia. Tammelundin Liikenne ja Concordia ovat myös ostaneet käytettyinä Helsingin Bussiliikenteeltä kaasubusseja. Tällä hetkellä Helsingin Bussiliikenteellä on 16 MAN Lion's City -kaasubussia. Volvon ja Mercedes-Benzin kaasubussit ovat jo poistuneet liikenteestä.

Kaasubussien mainetta heikensivät HKL-Bussiliikenteen vuonna 2002 hankkimat Volvot, joissa oli paljon ongelmia. Lisäksi kaasubussien käytettävyyttä pääkaupunkiseudulla heikentää, etteivät pelastusviranomaiset ole sallineet kaasubusseilla liikennöintiä maanalaisissa terminaaleissa, kuten Kampissa. HSL-alueen kaasubusseja on liikennöity pääasiassa maakaasulla.

HSL liikennettä kilpailutettaessa annetaan lisäpisteitä kaluston Euro-päästöluokkien mukaan. Lähtökohtana on, että pisteytys on teknologianeutraali. Helsingin Bussiliikenne on saanut HSL:ltä ympäristöbonusta biokaasun käyttämisestä kaasubusseissa. Ympäristöbonusta maksetaan yhteensä miljoonaa euroa/vuosi ja ympäristöbonuksen saajat kilpailutetaan. Vuodelle 2018 Helsingin Bussiliikenne ei saanut ympäristöbonusta biokaasun käytöstä, koska Pohjolan Kaupunkiliikenne, Nobina ja Savonlinja voittivat ympäristöbonuskilpailun biodieselin käytöllä.

Helsingin Bussiliikenteen vanhat kaasubussit poistuvat liikenteestä pääosin vuonna 2018. Vuoteen 2020 ulottuvissa liikennöintisopimuksissa on viisi MAN-kaasubussia käytössä. Kaasubussikaluston käytölle tulevaisuudessa ei ole asetettu HSL-alueella tavoitteita. Helsingin bussiliikenne on kuitenkin tilannut kaksi Scanian valmistamaa kaasubussia nykyiseen sopimusliikenteeseen. Uudet kaasubussit toimitetaan loppuvuodesta 2018.

2.2.4. Kaasubussit Ruotsissa

Vuonna 2015 Ruotsissa tuotettiin 282 tuotantolaitoksella yhteensä noin 1,9 TWh biokaasua, josta liikennepolttoaineena käytettiin noin 1,6 TWh. Vuonna 2013 Ruotsissa oli käytössä noin 2 300 kaasubussia, joiden käyttövoiman oli biokaasu, mikä on noin 17 % kaikista Ruotsissa liikennöivistä buseista. Näillä kaasubusseilla ajettiin vuonna 2013 keskimäärin noin 61 000 km/vuosi/bussi. Esimerkiksi Ruotsin eteläisimmässä läänissä Skånessa alueen koko bussiliikenne muutamaa sähköbussia lukuun ottamatta hoidetaan biokaasua käyttövoimanaan käyttävillä kaasubusseilla.

Ruotsissa monessa kaupungissa liikennöidään paikallisesti tuotetulla biokaasulla. Monin paikoin kaasua otetaan myös kaasuverkosta, mutta tällöin liikenteen tilaaja valvoo, että liikennöitsijä on ostanut kaasutoimittajalta biokaasua.

Tukholman seudulla alueen 2 200 bussista yli 25 % eli noin 550 bussia käyttää polttoaineena biokaasua. Tukholmassa ensimmäiset 21 biokaasua käyttävää kaasubussia otettiin käyttöön vuonna 2004 ja alueen kaasubussiliikenne on siitä lähtien kasvanut tasaisesti. Linköpingin alueella ensimmäiset biokaasua käyttävät kaasubussit otettiin käyttöön jo yli vuosikymmen aiemmin vuonna 1991, kun pilottiliikenne aloitettiin viidellä kaasubussilla. Jo vuonna 2002 kaikki Linköpingin alueen bussit käyttivät polttoaineena biokaasua.

Kaasubussien haasteeksi mainitaan moottorien energiatehokkuus, mikä tosin on jonkin verran parantunut viimeisimmän moottoriteknologian myötä. Monissa kaupungeissa liikennöintikustannukset ovat alentuneet biokaasua käyttävien kaasubussien käyttöönoton myötä. Esimerkiksi Kalmarin alueella Kaakkois-Ruotsissa liikennöintikustannukset laskivat 2 % kaasubussien myötä, vaikka ennen kilpailutusta kustannusten odotettiin nousevan.

2.3. Sähkö

2.3.1. Sähköbussien yleisyys

Ensimmäiset sähköbussit liikennöivät Pekingin kesäolympialaisissa vuonna 2008. Tämän jälkeen sähköbussiliikenne on yleistynyt vauhdilla Kiinassa sekä pienemmin askelin Euroopassa ja Yhdysvalloissa erilaisten kokeilujen ja paikallisten projektien kautta. Vuonna 2009 Shenzhenin kaupungissa Kiinassa aloitettiin sähköbussikokeilu ja vuonna 2011 ensimmäinen bussilinja sähköistettiin. Vuonna 2015 sähkö- ja hybridibussien määrän maailmalla arvioitiin olevan noin 173 000 bussia, joista Kiinassa noin 170 000 bussia. Vuonna 2017 Kiinassa oli jopa 99 % kaikista maailman 385 000 sähkö- ja hybridibussista. Tänä päivänä esimerkiksi kaikki Shenzhenin kaupungin noin 16 000 bussia ovat sähköisiä.

Vuonna 2017 Euroopassa oli yli 1 300 sähköbussia. Lisäksi liikenteessä on arvioiden mukaan tuhansia hybridibusseja. Suurin osa sähköbusseista liikennöi Iso-Britanniassa, Saksassa, Alankomaissa, Liettuassa ja Sveitsissä. Sähköbussiliikenteestä noin 35 % oli järjestetty päätepyssäkilatausta (pikalatauslaitteet bussilinjan varrella ja hidaslatauslaitteet varikolla) käyttäen ja noin 65 % varikkolatausta käyt-

täen. Noin puolet sähköbusseista oli 2-akselisia busseja, noin neljäsosa nivelbusseja ja loput sähköbusseista minibusseja. Pohjoismaista Ruotsissa oli noin 40 sähköbussia, Suomessa noin 20 sähköbussia ja Norjassa noin 5 sähköbussia. Lisäksi Yhdysvalloissa oli vuonna 2017 noin 200 sähköbussia.

Tahtotila sähköbussiliikenteen lisäämiseen on olemassa ja uskotaan, että muutaman vuoden päästä sähköbusseja on jo paljon enemmän Euroopassa ja muissa Pohjoismaissa. Esimerkiksi huhtikuussa 2018 Amsterdamissa aloitettiin 100 sähkönivelbussin liikenne ja keväällä 2019 Oslolla aloitetaan 40 sähköbussin liikenne. Amsterdamissa sähköbussiliikenne on järjestetty päätepysäkkilatausta käyttäen. Osloon tilatuista sähköbusseista 75 % on nivelbusseja ja 25 % 2-akselisia sähköbusseja. Ruotsissa alkaa vuonna 2019 liikennöinti kaikkiaan 42 sähköbussilla Uumajassa (25 sähköbussia), Helsingborgissa (13 sähköbussia) ja Karlstadissa (4 sähkönivelbussia). Helsingborgissa ja Uumajassa liikennöitsijät vastaavat latausinfrastruktuurin toteuttamisesta. Euroopan kaupunkien ja joukkoliikenteen toimivaltuisten viranomaisten tavoitteiden ja suunnitelmien mukaisesti Euroopan busseista yli 40 % olisi sähkö- tai hybridibusseja vuonna 2025, kun kyseinen luku vuonna 2013 oli ainoastaan 1,2 %. Esimerkiksi Pariisi ja Lontoo ovat sitoutuneet ostamaan vuodesta 2025 eteenpäin ainoastaan päästötöntä bussikalustoa. Lontoon tavoitteena on, että kaupungin kaikki bussit ovat päästöttömiä vuoteen 2037 mennessä.

2.3.2. Täyssähkö

Sähköbussin käyttövoimana on sähkö ja energiavarastona akut. Sähköbussien voimanlähteenä toimii sähkömoottori. Sähköbussiliikenne voidaan järjestää joko päätepysäkkilatausta tai pelkkää varikkolatausta käyttäen. Sähköbussiliikenne vaatii investointeja latausinfrastruktuuriin linjan varrelle ja/tai bussivarikolle.

Päätepysäkkilatausta käytettäessä sähköbussikalustossa on kohtuullisen pieni akkukapasiteetti (noin 50-150 kWh) ja lyhyt operointisäde. Sähköbussikaluston akkukapasiteetti voidaan mitoittaa tapauskohtaisesti bussilinjan tarpeita vastaavaksi. Päätepysäkkilatausta käytettäessä sähköbusseja ladataan päivän aikana bussilinjan varrella suuritehoisella (noin 300-450 kW) pikalatauslaitteella sekä yöllä bussivarikolla pienitehoisella (noin 20-50 kW) hidaslatauslaitteella. Sähköbussiliikenteen järjestäminen päätepysäkkilatausta käyttäen vaatii suuret latausinfrastruktuuri-investoinnit sekä aiheuttaa rajoitteita sähköbussin linjasivun pituudelle. Kiinteän sähköbussien latausaseman haittana on mahdollinen tarve latausaseman siirrolle reittimuutosten myötä, mm. Espoossa on Länsimetron myötä jouduttu siirtämään latausasemien paikkaa. Seuraavassa kuvassa (kuva 6) on esitetty täyssähköbussi pikalatauksessa Helsingissä Ruskeasuon päätepysäkillä.



Kuva 6. Täyssähköbussi pikalatauksessa Helsingin Ruskeasuon pääte pysäkillä.

Varikkolatausta käytettäessä sähköbussikalustossa on suuri akkukapasiteetti (noin 300 kWh) ja kohtuullisen pitkä operointisäde. Tällöin sähköbussuja ladataan ainoastaan bussivarikolla pienitehoisella (noin 20–50 kW) hidaslatauslaitteella. Sähköbussuja ladataan bussivarikolla pääsääntöisesti yöllä, mutta lataus päivällä esimerkiksi sähköbussikaluston käyttötauon aikana on myös mahdollinen. Sähköbussiliikenteen järjestäminen ainoastaan varikkolatausta käyttäen mahdollistaa pienemmät latausinfrastruktuuri-investoinnit, eikä aseta rajoitteita sähköbussin linjasivun pituudelle. Seuraavassa kuvassa (kuva 7) on esitetty täyssähköbussi hidaslatauksessa Tampereella Nekalan bussivarikolla.



Kuva 7. Täyssähköbussi hidaslatauksessa Tampereella

Minibusseja, 2-akselisia busseja ja nivelbusseja on saatavana sähköisenä. Sähköbussit eivät poikkea pituudeltaan, leveydeltään, painoltaan tai matkustajakapasiteetiltaan perinteisistä dieselbusseista. Sähköbussissa (2-akselinen kaupunkibussi) on noin 30–40 istumapaikkaa ja matkustajakapasiteetti on yhteensä noin 70–80 paikkaa. Sähköbusseja on saatavana useilta kalustotoimittajilta, kuten BYD, Ebusco, Linkker, Solaris, VDL ja Volvo. Lisäksi Mercedes-Benz ja Scania ovat tulossa lähivuosina mukaan sähköbussimarkkinoille.



Kuva 8. Turun Föli-liikenteessä on kuusi täyssähköbussia, jotka tasaavat aikaa keskustassa ennen lähtöä satamaan ja lentoasemalle. Siten keskustassa näkee usein samanaikaisesti molempien suuntien täyssähköbussit. Kuva: Simo Airaksinen.



Kuva 9. Täyssähköbussin sisätilat

Espoossa on ollut useamman vuoden aikana useampia sähköbussseja kokeiltavana. Espoon kokemuksen perusteella sähköbussien (2-akselinen kaupunkibussi) energiankulutus on keskimäärin noin 1 kWh/km. Sähköenergian saatavuus on erinomainen, mutta vaatii investointeja sähköbussien latausinfrastruktuuriin. Pikalatauksen kesto bussilinjan varrella on keskimäärin noin 5 min/20km. Latauksen keston bussilinjan varrella vaikuttaa mm. linjapituus, latausteho ja sähköbussin energiankulutus. Hidaslatauksen kesto bussivarikolla on noin 1-12 tuntia. Latauksen keston bussivarikolla vaikuttaa mm. sähköbussin akkukapasiteetti ja latausteho.

Talviolosuhteissa sähköbussin akkujen ja sisätilojen lämmittämiseen tarvitaan polttoainekäyttöinen lisälämmitin. Sähköbussseissa lisälämmittimen käyttötarve on diesel- ja kaasubusseja suurempi, koska moottori ei tuota vastaavassa määrin lämpöä. Lisälämmitin on yleensä dieselkäyttöinen ja sen polttoainekulutus on noin 3 litraa/tunti. Ympäristöhaittojen vähentämiseksi lisälämmitintä voidaan käyttää myös biodieselillä.

Sähköbussikaluston, akkujen ja latauslaitteiden käyttöikä riippuu niiden käyttöasteesta (mm. liikennöintisuorite, energiankulutus ja latausten määrä), ei kuluneesta ajasta. Voidaan kuitenkin arvioida, että sähköbussikaluston käyttöikä on noin 15 vuotta, akkujen käyttöikä noin 5 vuotta ja latauslaitteiden käyttöikä noin 10–15 vuotta.

Sähköbussien hiilidioksidipäästöt riippuvat sähkön tuotantotavasta. Suomen keskimääräisellä sähkön tuotantotavalla liikennöitäessä bussiliikenteen hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin perinteisessä dieselbussiliikenteessä, kun huomioidaan sähkön tuotanto ja bussiliikenteen käytön aikaiset päästöt (well-to-wheel). Keskimääräinen sähköntuotannon CO₂-päästökerroin Suomessa on 164 g CO₂/kWh.

Lisäksi sähköbussiliikenne on paikallis päästötöntä, hiljaista ja käyttäjäystävällistä. Sähköbussien käyttäjäystävällisyys perustuu hiljaisuuden lisäksi sähköisen ja vaihteistottoman voimalinjan mahdollistamaan pehmeään kiihdytykseen ja jarrutukseen sekä tasaiseen liikennöintiin. Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta sähköbussiliikenteen suurin hyöty on pienet käyttökustannukset. Sähköbussseissa on vähäinen huollon tarve ja energiakustannukset ovat noin 25 % dieselbussin energiakustannuksista.

2.3.3. Täyssähköbussit Suomessa

Nykytilanteessa sähköbussiliikennettä on HSL-alueella Espoossa ja Helsingissä sekä Tampereella ja Turussa. Suomalaisilla kaupunkiseuduilla sähköbussiliikenne on järjestetty pääte pysäkkilatausta (pikalatauslaitteet bussilinjan varrella ja hidaslatauslaitteet varikolla) käyttäen. Sähköbussseja on sijoitettu kohtuullisen lyhyille linjoille, joissa liikennöinti on mahdollista pienellä akkukapasiteetilla. Bussilinjan varrella sähköbussit ladataan automaattisella ja suuritehoisella virroitinlatauksella.

Suomalaisilla kaupunkiseuduilla on kuitenkin käytössä erilaisia virroitinlataustekniikoita. HSL-alueella pantografi on sijoitettu etuakselin kohdalle bussiin, Tampereella taka-akselin kohdalle bussiin ja Turussa etuakselin kohdalle latauslaitteeseen. Siten sähköbussit eivät ole yhteensopivia eri kaupunkiseutujen latausjärjestelmiin.

Espoossa on liikennöinyt kaksi sähköbussia vuoden 2016 alusta lähtien. Sähköbussiliikennettä varten linjan toiselle pääte pysäkillä on asennettu sähköbussin pikalatauslaite. Sähköbussien päivittäinen liikennöintisuorite ollut keskimäärin noin 200 km. Sähköbussseilla oli liikennöity puolentoista vuoden aikana (2016–2017) yhteensä lähes 80 000 km ja sähköbussikaluston keskimääräinen käyttöaste oli noin 61 %. Käyttöaste on ollut alhainen, koska kyse on ollut uuden käyttövoiman kokeiluista ja liikennettä on hoidettu tuotantonsa aloittaneen Linkkerin sähköbussseilla. Ongelmat ovat liittyneet kalustoon, latausasemiin ja lataukseen.

Helsingissä sähköbussiliikenne aloitettiin vuoden 2017 alussa. Helsingissä sähköbusseja liikennöidään kolmella eri linjalla. Sähköbussiliikennettä varten linjojen molemmille päätepysäkeille on asennettu sähköbussin pikalatauslaitteet (yhteensä 6 pikalatauslaitetta). Liikenteessä on noin 10 sähköbussia.

Tampereella ensimmäinen sähköbussi aloitti liikennöinnin loppuvuonna 2016. Linjalla liikennöi neljä sähköbussia. Sähköbussiliikennettä varten linjan toiselle päätepysäkille on asennettu sähköbussin pikalatauslaite.

Turussa on liikennöinyt kuusi sähköbussia vuoden 2016 syksystä lähtien. Sähköbussiliikennettä varten linjan molemmille päätepysäkeille on asennettu sähköbussin pikalatauslaite. Sähköbussien päivittäinen liikennöintisuorite on pisimmillään yli 350 km. Turussa sähköbusseilla oli liikennöity reilun puolen vuoden aikana (2017) yhteensä yli 240 000 km.

HSL-alueen, Tampereen ja Turun sähköbussikokemusten perusteella sähköbussit ja latauslaitteet ovat toimineet pääosin hyvin. Sähköbussit ovat selviytyneet varsin hyvin liikennöinnistä ja kaupunkien kokemukset ovat olleet odotettua positiivisemmat. Sähköbussiliikenteen ympäristöimago on koettu suomalaisilla kaupunkiseuduilla merkittäväksi ja matkustajat ovat ottaneet sähköbussit positiivisesti vastaan.

Sähköbussiliikenteessä on kuitenkin ollut myös vikatilanteita. Vikatilanteet ovat johtuneet sekä sähköbussikalustosta että pikalatauslaitteista. Lisäksi on ollut vikatilanteita bussinkuljettajien kokemattomuuteen liittyen. Osa sähköbussikaluston vikatilanteista on ollut sähköbussiteknologiasta riippumattomia bussikaluston aiheuttamia vikatilanteita (mm. akselit, ovet). Bussinkuljettajien kokemattomuudesta johtuen vikatilanteita on aiheutunut mm. silloin kun sähköbussi on unohdettu kokonaan ladata pikalatauslaitteella tai silloin kun on varikolla unohdettu täyttää lisälämmittimen dieselsäiliö. Kokemattomuudesta johtuen on ollut myös ongelmia tiedonkulussa mm. bussikuljettajien ja ajojärjestelijöiden tai huoltohenkilökunnan välillä.

Sähköbussiliikenteen vikatilanteiden lisäksi sähköbussien latausjärjestelmän standardoinnin ja sähköbussikaluston jälkimarkkinoiden puutetta pidetään toistaiseksi yhtenä merkittävimpänä sähköbussiliikenteen haasteena.

HSL:n ja Turun kaupungin tavoitteena on kasvattaa tulevaisuudessa sähköbussien määrää voimakkaasti kaupunkiseuduilla. Kalustostrategian mukaan HSL-alueella liikennöi vuonna 2025 noin 400 täyssähköbussia, mikä on 30 % HSL-alueen bussikalustosta. HSL:n toiminta- ja taloussuunnitelmassa tavoitteena on, että vuonna 2025 metro- ja junaliikenteen liityntälinjat ajetaan sähköbusseilla, joiden käyttämä sähkö on kestävästi tuotettua. Lisäksi liikenteessä on noin 250 hybridi- tai plug-in-hybridibussia. Turun kaupungin sisäisessä liikenteessä käytetystä bussikalustosta vision mukaan 50 % on sähköistetty vuonna 2025. Tämä tarkoittaisi noin 100 täyssähköbussia Turussa vuonna 2025.

Suomessa ei ole toistaiseksi ollut kilpailutettua sähköbussien liikennöintiä. HSL-alueen sähköbussit HSL on hankkinut Linkkeriltä ja vuokraa kalustoa liikennöitsijöille. Tampereella sähköbusseja liikennöi kaupungin liikelaitos Tampereen kaupunkiliikenne (TKL) ja Turussa kaupungin omistama Turun Kaupunkiliikenne Oy. 21.8.2018 HSL on avannut kuitenkin tarjouskilpailun, jossa edellytetään sähköbusseilla liikennöintiä. Tarjouskilpailun myötä saadaan tietoa, miten sähköbussien edellyttäminen vaikuttaa kilpailutetun liikenteen hintatasoon. HSL on hyväksynyt 21.8.2018 hallituksen kokouksessa myös Tammelundin Liikenne Oy:n liikennöintisopimuksen option, jonka ehtona on ollut kahden sähköbussien käyttöönotto. Tammelundin Liikenne liikennöi sähköbusseilla samoilla yksikkökustannuksilla kuin dieselbussiliikennettä (tilaaja vastaa latausasemien toteuttamisesta Helsingissä).

2.3.4. Hybridi

Hybridibussin käyttövoimana on sekä sähkö että dieselpolttoaine ja energiavarastona akut. Hybridibussit voidaan jakaa sarja- ja rinnakkaishybrideihin. Sarjahybridissä ei ole mekaanista yhteyttä polttomoottorin ja vetävien pyörien välillä. Polttomoottori pyörittää generaattoria, jonka tuottama sähkö ohjataan sähkömoottoriin tai varastoidaan akkuihin. Sarjahybridibussin voimanlähteenä toimii sähkömoottori.

Rinnakkaishybridissä sekä poltto- että sähkömoottorilla on mekaaninen yhteys vetäviin pyöriin. Voimanlähteenä voi toimia joko poltto- tai sähkömoottori tai molemmat yhdessä. Sähkömoottori toimii myös jarrutuksen generaattorina tuottamalla akkuihin varastoitavaa sähköä. Bussi käyttää liikkeelle lähtiessä vain sähkömoottoria. Nopeuden kasvaessa käynnistyy polttomoottori automaattisesti.

Rinnakkaishybridibussi on kevyempi kuin sarjahybridibussi. Rinnakkaishybridijärjestelmän ohjaus on kuitenkin monimutkaisempaa ja jarrutusenergian generointi ei ole yhtä tehokasta. Siten sarjahybridibussit ovat parempia hitailla bussilinjoilla, mutta nopeuden kasvaessa rinnakkaishybridibussien hyödyt kasvavat.



Kuva 10. Volvon hybridibussi

Hybridibussikalusto ei moottoritekniikkaa lukuun ottamatta poikkea perinteisestä dieselbussikalustosta ja sen operoinnista. Hybridibussiliikenne on toimintavarmaa, eikä vaadi investointeja infrastruktuuriin. Hybridibussikaluston operointisäde on noin 600 km, polttoaineen saatavuus on erinomainen ja tankkausaika bussivarikolla muutaman minuutin. Hybridibusseja on saatavana useilta kalustotoimittajilta, kuten Hess, Irisbus, Iveco, MAN, Scania, Solaris, Van Hool, VDL ja Volvo. Hybridibussiliikenteessä käytetään pääasiassa 2-akselista bussikalustoa.

Hybridibussien etuna perinteisiin dieselbusseihin verrattuna on sähkön käyttö dieselin rinnalla. Perinteisissä dieselbusseissa jarrutusenergia menee hukkaan. Hybridibusseissa generoitu jarrutusenergia hyödynnetään seuraavassa kiihdytyksessä. Hybridibussin polttoaineenkulutus on siten 15-35 % pienempi kuin vastaavissa olosuhteissa liikennöidyllä dieselbussilla. Toisaalta kaksi moottoria (polttomoottori ja sähkömoottori) lisäävät hybridibussikaluston hintaa ja painoa.

Suurin hyöty hybridibussikalustosta saadaan kaupunkiliikenteessä, jossa on paljon pysähdyksiä (mm. bussipysäkit, liikennevalot) ja kiihdytyksiä. Hybridibussit tulee sijoittaa mahdollisimman hitaalle linjalle, jolloin niiden ominaisuudet saadaan hyödynnettyä parhaiten ja säästö polttoaineenkulutuksessa saadaan maksimoitua.

Hybridibussiliikenne on ympäristöystävällisempää, hiljaisempaa ja käyttäjäystävällisempää kuin perinteinen dieselbussiliikenne. Hybridibussien hiilidioksidipäästöt alentuvat samassa suhteessa kuin polttoaineenkulutus. Lisäksi hybridibussien hiukkas- ja typpioksidipäästöt ovat noin 40-50 % perinteistä dieselbussia pienemmät. Hiljaisuuden suhteen hybridibussilla ei saavuteta merkittävää etua dieselbussiin verrattuna. Hybridibussit ovat jonkin verran hiljaisempia, sillä hybridibussissa on pienempi polttomoottori, joka ei ole jatkuvasti käynnissä eikä sen tarvitse käydä yhtä suurella kierrosnopeudella kuin dieselbussissa. Merkittävintä on hiljainen ja päästötön liikkeellelähtö sähkömoottorin käytöstä johtuen.

2.3.5. Ladattava hybridi

Ladattavan hybridibussin käyttövoimana on sekä sähkö että dieselpolttoaine ja energiavarastona akut. Ladattavat hybridibussit toimivat täyssähköbussien tapaan ja niiden voimanlähde on sähkömoottori aina, kun akkukapasiteettia on riittävästi käytettävissä. Muutoin ladattavat hybridibussit toimivat hybridibussien tapaan. Ladattavalla hybridibussilla voidaan esimerkiksi liikennöidä sähkömoottorin voimin kaupunkiliikenteessä ja polttomoottorin voimin kaupunkikeskustojen ulkopuolella. Ladattava hybridibussi voidaan ladata täyssähköbussien latausinfrastruktuuria käyttäen.

Ladattavien hybridibussien etuna täyssähköbusseihin verrattuna on, että bussiliikenne ei ole riippuvainen latauksesta. Matka ei katkea, vaikka yksittäinen lataustapahtuma jäisi suorittamatta, eikä ladattava hybridibussikalusto aseta rajoitteita bussin linjasivun pituudelle tai päivittäiselle operointisäteelle. Hybridibussiliikenne voidaan järjestää täyssähköbussiliikenteen tapaan joko päätepysäkkilatausta tai pelkkää varikkolatausta käyttäen. Ladattavilla hybridibusseilla toteutettava liikenne vaatii siten myös investointeja latausinfrastruktuuriin linjan varrelle ja/tai bussivarikolle. Lisäksi kaksi moottoria (polttomoottori ja sähkömoottori) lisäävät ladattavan hybridibussikaluston hintaa ja painoa.

Sähköenergian ja polttoaineen saatavuus on erinomainen, mutta sähköenergian saatavuus vaatii investointeja latausinfrastruktuuriin. Pikalatauksen kesto bussilinjan varrella on keskimäärin noin 5min/20km, hidaslatauksen kesto bussivarikolla noin 1-12 tuntia ja tankkausaika bussivarikolla muutamia minuutteja. Ladattavia hybridibusseja on saatavana kalustotoimittajista ainakin Scania ja Volta.

Ladattavan hybridibussin energiankulutus ja päästöt riippuvat sähkömoottorin ja polttomoottorin käyttösuhteesta. Voimanlähteenä sähkömoottoria käytettäessä ladattavan hybridibussikaluston energiankulutus ja päästöt ovat verrattavissa täyssähköbussiliikenteeseen ja polttomoottoria käytettäessä polttoaineenkulutus ja päästöt ovat verrattavissa hybridibussiliikenteeseen. Ladattavan hybridibussin hiilidioksidipäästöt ovat noin 35-70 % pienemmät kuin perinteisellä dieselbussilla, kun huomioidaan tuotanto ja bussiliikenteen käytön aikaiset päästöt (well-to-wheel).

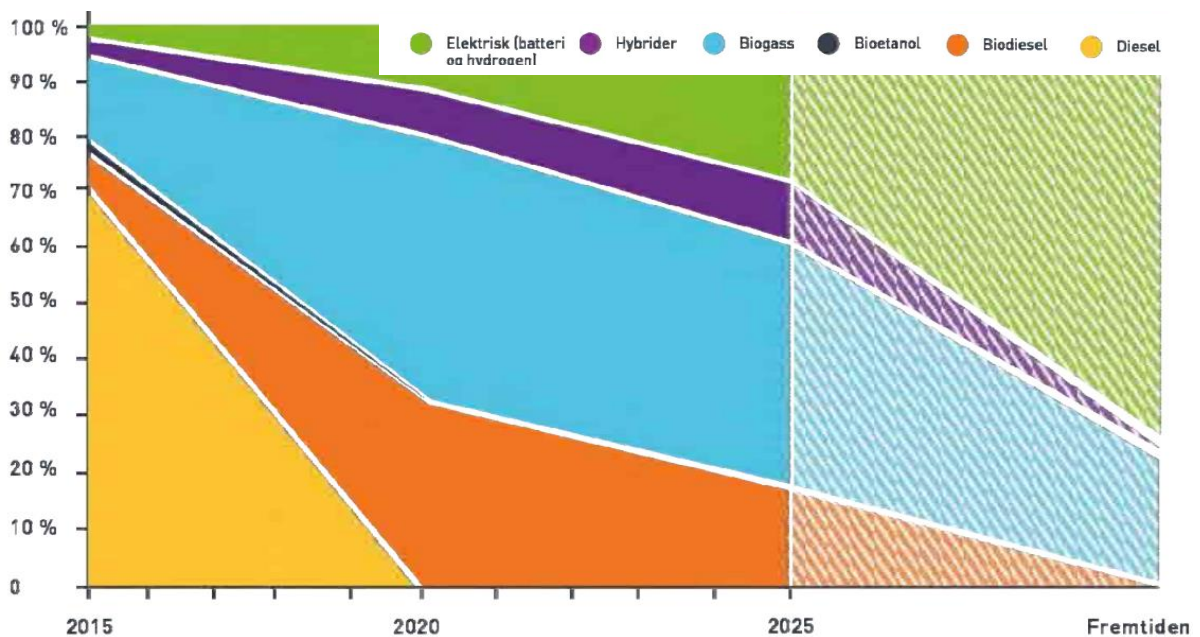
Seuraavassa kuvassa (kuva 11) on esitetty ladattava hybridibussi pikalatauksessa Hampurissa Saksassa.



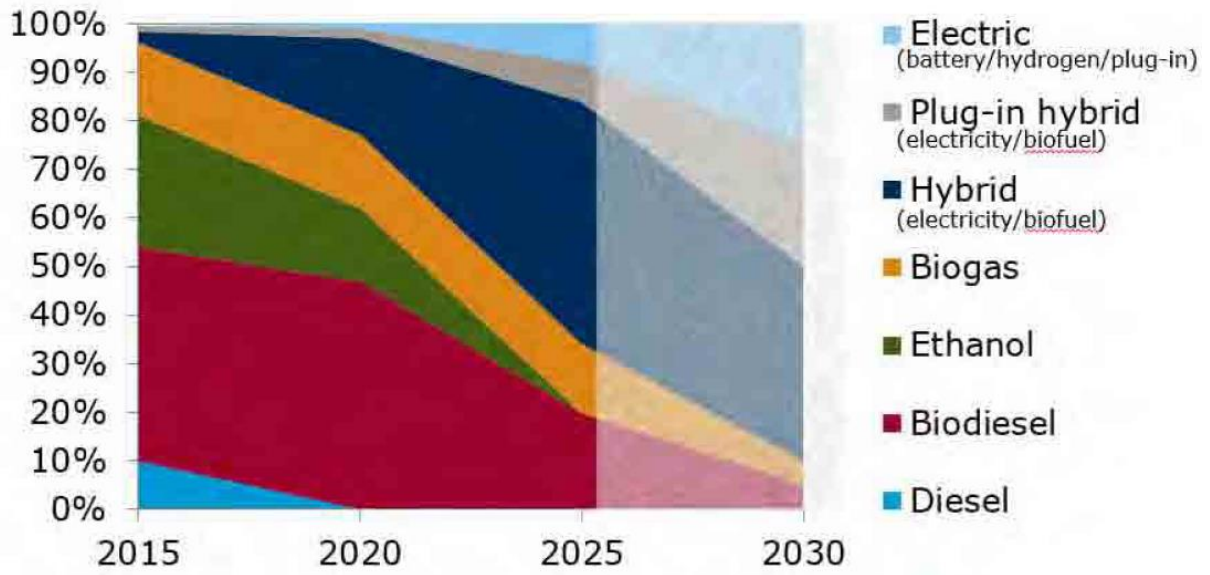
Kuva 11. Ladattava hybridibussi pikalatauksessa Saksan Hampurissa

2.4. Helsingin, Tukholman ja Oslon tavoitteet

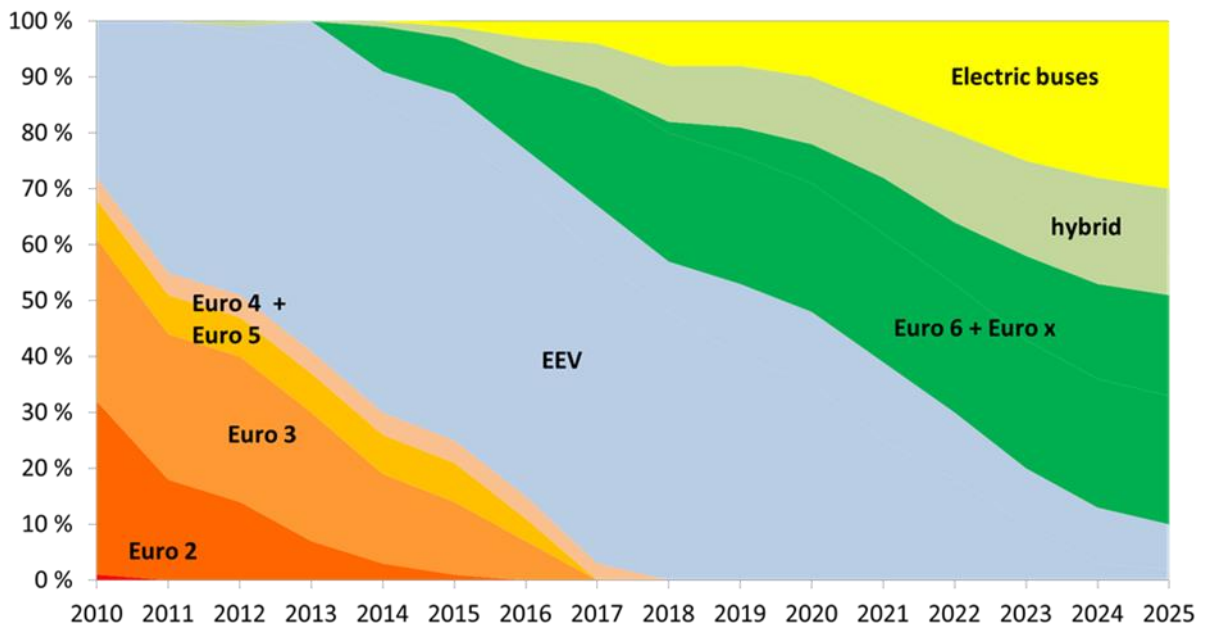
Helsingin seudun (Helsingin seudun liikenne, HSL), Tukholman seudun (SL) ja Oslon seudun (Ruter) joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten tavoitteet bussiliikenteen käyttövoimavaihtoehtojen kehitykselle on esitetty seuraavissa kuvissa. Kaikilla seuduilla on tavoitteena fossiilisen dieselin käytön vähentäminen.



Kuva 12. Ruterin tavoitteet bussiliikenteen käyttövoimavaihtoehtojen kehitymisestä Oslon seudulla



Kuva 13. SL:n tavoitteet bussiliikenteen käyttövoimavaihtoehtojen kehittymisestä Tukholman seudulla



Kuva 14. HSL:n tavoitteet bussiliikenteen käyttövoimavaihtoehtojen kehittymisestä pääkaupunkiseudulla

3. KÄYTTÖVOIMIEN VAIKUTUKSET BUSSILIIKENTEESEEN JA KILPAILUTUKSEEN

3.1. Yleiset vaikutukset

Bussiliikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien kilpailuttaminen toimii pääperiaatteiltaan samalla tavalla kuin nykyinen dieselbussiliikenteen kilpailutus. Tilaajana toimii kaupunki tai joukkoliikenteen toimivaltainen viranomainen ja tilaajan suuntaan tarjoajina toimivat liikennöitsijät. Kilpailutuksessa kannattaa sallia bussiliikenteen ruuhkavuorojen ajaminen tulevaisuudessakin diesel- tai biodiesel-busseilla. Tässä työssä on tunnistettu seuraavat vaihtoehdot bussiliikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien kilpailutukseen.

Vaihtoehdot liikenteen hankintaan, kun liikennöitsijän vastuulla on myös infra ja kalusto:

- 1) tilaaja edellyttää tiettyä käyttövoimaa tarjouskilpailussa,
- 2) tilaaja määrittelee päästötavoitteet hankinnassa ja liikennöitsijä päättää, millä tavoin tavoitteet saavutetaan ml. käyttövoiman (käyttövoimien ja polttoaineiden pisteytys)
- 3) vaihtoehtoisista käyttövoimista annetaan päästöjen mukaan lisäpisteitä ja varsinainen käyttövoiman valinta on liikennöitsijällä tai
- 4) tilaaja pyytää vaihtoehtoisia tarjouksia eri käyttövoimista.

Muita huomioitavia seikkoja:

- tarjous voi sisältää myös kiinteän osan, joka ei muutu suoritteiden muuttuessa (eur/v)
- pidempi sopimuskausi, esim.
 - o 8 + 0-3 v optio
 - o 10 + 0-3 v optio
 - o 7 + 4 + 0-3 v optio (1. optiokausi edellyttää kaasu-/sähköbussien kokonaismäärän kasvua)

Jos liikennöitsijä ei vastaa infrasta (ja kalustosta), ei tavanomaista pidempi sopimuskausi ole perusteltua.

3.1.1. VE 1 – tilaaja edellyttää tiettyä käyttövoimaa

Ensimmäinen vaihtoehto on lähellä perinteistä dieselbussiliikenteen kilpailutusta Suomessa. Tässä vaihtoehdossa tilaaja määrittää ennen kilpailutuksen aloittamista bussiliikenteen käyttövoiman ja tarjousvertailu perustuu pääasiassa bussiliikenteen hintaan. Nykyinen pääasiassa bussiliikenteen hintaan perustuva tarjousvertailu ei mahdollista vaihtoehtoisten käyttövoimien tarjoamista ilman tilaajan vaatimusta (se ei ole liikennöitsijöille kannattavaa). Tässä vaihtoehdossa tilaajalla on mahdollisuus määrittää tarjouspyyntöasiakirjoissa hyvin tarkkaan esim. kalustovaatimukset sekä lataus- tai tankkausjärjestelmät. Kun bussiliikenteen käyttövoima sekä muut vaatimukset määritetään tilaajan puolesta tarkkaan etukäteen, on tarjoukset yhteneväisiä ja helposti vertailtavissa.

3.1.2. VE 2 – Tilaaja määrittelee päästötavoitteet ja liikennöitsijä määrittelee millä tavoin tavoitteet saavutetaan

Toinen vaihtoehto on yleisesti käytössä muissa Pohjoismaissa, mutta ei vielä Suomessa. Tässä vaihtoehdossa tilaajan suunnitteluvastuu on nykyistä pienempi ja tarjousvertailussa otetaan vahvasti huomioon bussiliikenteen ympäristö-, laatu- ja matkustajanäkökulmat. Tilaaja määrittää reunaehdot ja tavoitteet bussiliikenteelle (mm. päästöt, melu, palvelutaso) ja tarjoajan suunniteltavaksi jätetään bussiliikenteen käyttövoima, kalustoratkaisut ja mahdolliset lataus- tai tankkausjärjestelmät.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien tarjoaminen mahdollistetaan tarjouskilpailun pisteytystä muuttamalla niin, että bussiliikenteen hinta on vain yksi osakokonaisuus tarjousvertailussa. Liikennöitsijän valintaperusteena on kokonaistaloudellinen edullisuus: pisteitä annetaan hinnan lisäksi päästötavoitteen saavuttamisesta (pisteytys määritellään tarkemmin tarjouspyyntöasiakirjoissa). Liikennöitsijöiden tehtävä on tarjota tilaajan tavoitteita ja reunaehtoja vastaavaa, kyseiselle kaupunkiseudulle ja kilpailutetuille linjoille soveltuvaa sekä taloudellisesti kannattavaa bussiliikennettä.

3.1.3. VE 3 – Tilaaja antaa kalustopisteitä käyttövoimien ja päästöjen mukaan

Kolmas vaihtoehto on Suomessakin yleisesti käytetty. Tyypillisesti hintapisteet ovat olleet suurin valintaan vaikuttava tekijä. Kalustopisteitä on annettu 0-16 pistettä vaihdellen tarjouskilpailusta. Valintaperusteena on tällöin kokonaistaloudellinen edullisuus. Vuonna 2013 on Lahden linja-autoliikenteen kilpailutuksissa annettu lisäpisteitä myös kaas- ja sähköbusseista. Pisteytyksen on hyvä perustua päästöluokkiin ja elinkaaren aikaisten päästöjen vähenemään. Pisteytys voi perustua esimerkiksi Euro-päästöluokitukseen ja pisteitä annetaan sen mukaan, miten päästöt vähenevät eri luokissa. Todennäköisesti seuraavilla kilpailukierroksilla monilla seuduilla edellytetään kuitenkin jo, että koko kalusto täyttää Euro 6 –päästöluokan. Tällöin lisäpisteitä voidaan antaa pohjautuen esimerkiksi elinkaaren aikaisten päästöjen hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen (well-to-wheel), typenoksidien (NOx) ja pienhiukkaspäästöjen (PM) vähentymiseen. Koska nämä vähenevät eri käyttövoimilla eri tavoin, voidaan eri päästöjä pisteyttää eri tavoin. Tarjoajan päätettäväksi hinnan lisäksi, minkä käyttövoiman kalustoa tarjoaa liikenteeseen.

3.1.4. VE 4 – Tilaaja pyytää vaihtoehtoisia tarjouksia eri käyttövoimista

Tilaaja voi kilpailuttaa liikennettä myös pyytämällä vaihtoehtoisia tarjouksia ja/tai tarjoaja voi jättää tarjouskilpailussa useampia tarjouksia. Jos tilaaja kilpailuttaa hankinnan pyytämällä vaihtoehtoisia tarjouksia, voi tilaaja valita lopulta tarjouksista kokonaistaloudellisesti edullisimman tai muulla tavoin parhaaksi katsomansa tarjouksen eri vaihtoehdoista. Tilaaja voisi kilpailuttaa liikenteen edellyttäen esimerkiksi, että uudessa kalustossa käytetään käyttövoimana biodieseliä, biokaasua tai sähköä. Liikennöitsijät voivat jättää erilliset tarjoukset tällöin joko yhdestä tai useammasta käyttövoimasta. Tilaajan etuna on tällöin, että mikäli kustannustaso nousee ennakoimattomasti, voidaan pitäytyä dieselbussiliikenteessä. Esimerkiksi YTV ja HSL ovat pyytäneet vaihtoehtoisia tarjouksia linjan 550 liikennöinnistä: vuonna 2005 YTV pyysi tarjouksia kahdesta linjan reittivaihtoehdosta ja 2012 HSL pyysi tarjouksia linjan liikennöimisestä telibusseilla ja vaihtoehtoisesti nivelbusseilla.

Vaihtoehtoisesti voidaan sallia, että tarjoajat voivat jättää useampia tarjouksia. Tällöin tarjoajat voivat jättää tarjoukset eri käyttövoimilla tai näiden yhdistelmillä. Erona edellä kuvatuissa vaihtoehtoisissa menetelmissä on, että jos tilaaja pyytää tarjouksia eri käyttövoimista, ei eri käyttövoimien käyttöä ole tarpeen välttämättä pisteyttää, vaan tilaaja voi tehdä päätöksen tarjousten kustannustason perusteella.

3.1.5. Muut huomioitavat seikat linja-autoliikenteen hankinnassa

Kun liikennöitsijän vastuulla on tankkaus- ja latausinfrastruktuurin toteuttaminen ja kaluston hankinta, tarjouskilpailussa voidaan pyytää myös kiinteä osuus ja sopimuskauden pidentäminen on perusteltua. Tarjouksen kiinteää osuutta maksetaan perussopimuskauteksi (eur/kk, vertailuperusteena eur/v) eikä siihen vaikuta suoritteiden muutokset. Tällä huomioidaan kiinteiden investointien hankinta, kuten tankkaus- ja latausinfrastruktuurin toteuttaminen ja sähköbussien hankinta. Sopimuskauden on hyvä olla vähintään 8 vuotta, kun liikennöitsijän vastuulla on merkittävien investointien tekeminen. Sopimuskausi voi olla myös 10 vuotta, minkä lisäksi on 0–3 vuoden optio. Esimerkiksi HSL kilpailuttaa syksyllä 2018 sähköbussiliikennettä siten, että perussopimuskausi on 6 vuotta, minkä lisäksi on mahdollisuus 5 vuoden optioon, mikäli sähköbussien osuus liikenteessä kasvaa.

Joukkoliikenteen hankintaa ohjaa EU:n palvelusopimusasetus (1370/2007). Linja-autoliikenteessä sopimuskauden enimmäispituus voi olla 10 vuotta. Palvelusopimusasetus mahdollistaa kuitenkin 50 prosenttia pidemmät eli 15 vuoden sopimuskaudet, jos liikenteenharjoittaja investoi omaisuuteen, jonka poistoaika on poikkeuksellisen pitkä. EU:n komission 29.3.2014 antaman tiedonannon mukaan: ”Kaikkiin päätöksiin pidentää julkisia palveluhankintoja koskevan sopimuksen voimassaoloa 50 prosentilla olisi näin ollen sovellettava seuraavia edellytyksiä: julkisia palveluhankintoja koskevan sopimuksen on veloitettava liikenteenharjoittaja investoimaan omaisuuteen, kuten liikkuvaan kalustoon, huoltolaitteistoon tai infrastruktuuriin, jonka hankintamenon poistoaika on poikkeuksellisen pitkä.” Jos liikennöitsijän vastuulla ei ole tankkaus- tai latausinfrastruktuurin toteuttamista biokaasu- tai sähköbussiliikenteessä tai sähköbussikaluston hankintaa, ei sopimuskauden pidentäminen tavanomaisesta ole perusteltua eikä yli 10 vuoden sopimuskausi ole sallittua.

Edellä mainittujen keinojen (vaatimus vaihtoehtoisesta käyttövoimasta, tarjouskilpailun pisteytyksen muuttaminen) lisäksi bussiliikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien yleistymistä voidaan edesauttaa yhtenäistämällä bussiliikenteen kalustovaatimukset ja luomalla yhtenäiset toimintamallit bussiliikenteen kilpailutukseen. Kalustovaatimusten ja toimintamallien yhtenäistämiseksi tärkeää on tilaaja- ja tuottajayhteistyö (kaupunkien, joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten ja liikennöitsijöiden välinen yhteistyö). Yhteistyötä voidaan lisätä mm. markkinavuoropuhelutilaisuuksien avulla sekä käyttämällä avoimen hankintamenettelyn sijasta neuvottelumenettelyä bussiliikenteen hankinnassa. Kaupunkikohtaisten kalustovaatimusten poistaminen ja kalustotoimittajien standardikaluston käyttäminen mahdollistaisi nopeammat toimitusajat ja pienemmät kalustokustannukset.

Bussiliikenteen vaihtoehtoisia käyttövoimia kilpailutettaessa tulee myös huomioida perinteistä dieselbussiliikennettä pidempi hankintaprosessi sekä riittävä sopimuskauden pituus. Hankintaprosessia pidentää mahdollinen lisääntynyt viranomais- ja toimijayhteistyö sekä kaluston ja infrastruktuurin pidemmät toimitusajat. Karkeasti voidaan arvioida, että bussiliikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien kilpailutus kannattaa aloittaa puolitoista vuotta ennen bussiliikenteen aloittamista.

Lisäksi bussiliikenteen vaihtoehtoisia käyttövoimia kannattaa kilpailuttaa riittävän isoina kokonaisuuksina. Karkean arvion mukaan riittävän isona kokonaisuutena voidaan pitää vähintään 10 bussin (biokaasulla 15–20 bussin) liikennettä vaihtoehtoisella käyttövoimalla. Riittävän isot kilpailutuskokonaisuudet mahdollistavat tehokkaan ja taloudellisen bussiliikenteen järjestämisen. Kilpailutuskokonaisuus voi muodostua yhdestä tai useammasta linjasta. Kilpailutuskokonaisuuksia muodostettaessa on kuitenkin huomattava, että kohteen koon lisäksi kohteen linjojen alueellisella sijoittumisella ja mahdollisilla yhteisillä päätepusäkeillä on suuri vaikutus esimerkiksi kalusto- ja autokiertojen sekä mahdollisten latausjärjestelmien suunnitteluun ja tätä kautta myös bussiliikenteen kustannuksiin.

Alueen ulkopuoliset suuret liikennöitsijät eivät herkästi lähde uusille toiminta-alueille aivan pienten liikennöintikohteiden perässä, koska uusille alueille levittäytyminen vaatii aina merkittäviä investointeja. Toisaalta pienet liikennöitsijät suosivat usein pienempiä kilpailutuskohteita. Jotta kilpailu-

tuksesta saadaan kaiken kokoisia yrityksiä kiinnostavia, tulee kilpailutuksissa tapauskohtaisesti harvita yhdistelmätarjousten hyväksymistä. Tällöin liikennöitsijä voi tarjota eri hinnan yhdestä kohteesta tai kahden/kolmen kohteen yhdistelmästä.

3.2. Diesel

Dieselbussiliikenteen kilpailuttaminen on jo vakiintunutta Suomessa. Pääsääntöisesti pyritään sopimuskausiin, joiden pituudet ovat 5–7 vuotta + 1–3 vuoden optiot. Vähintään viiden vuoden sopimus mahdollistaa kaluston takaisinmaksun sopimusaikana ilman liikennöintikustannusten merkittävää kasvua.

Dieselbussiliikenne on liikennöitsijöille tuttua, joten he huolehtivat itse kaluston hankinnasta tilaajan määrittämien kalustovaatimusten mukaisesti. Pääsääntöisesti liikennöitsijät vastaavat myös varikon järjestämisestä. Joissain kilpailutuksissa tilaaja on tarjonnut varikkoa tai varikkopaikkaa, mitä liikennöitsijä voi halutessaan hyödyntää. Kaluston tankkaus voidaan järjestää huoltoasemalla tai varikolla. Liikennöitsijät huolehtivat itse tankkauksen järjestämisestä ja tarvittavista sopimuksista.

Biodieselbussiliikenteen kilpailuttaminen ei eroa merkittävästi perinteisestä dieselbussiliikenteen kilpailutuksesta, koska sama kalusto ja varikot soveltuvat molemmille käyttövoimavaihtoehdoille. Biodieselin tankkaus järjestetään varikolla, koska ulkoisilla tankkausasemilla ei pääsääntöisesti ole biodieseliä tarjolla. Liikennöitsijät huolehtivat itse tarvittavien polttoainesopimusten tekemisestä. Liikenteen tilaajan tulee valvoa liikennöitsijän toimittamista dokumenteista, että busseja on tosiasia ajettu biodieselillä.

3.3. Biokaasu ja sähkö

Sähkö- ja kaasubussiliikenteessä yksi merkittävimmistä eroista perinteiseen dieselbussiliikenteeseen verrattuna on investointitarve lataus- tai tankkausinfrastruktuuriin. Molemmissa bussiliikenteen vaihtoehtoisissa käyttövoimissa vaaditaan investointeja lataus- tai tankkausinfrastruktuuriin vähintään bussivarikolle. Sähköbussiliikenteessä pääte pysäkkilatausta käytettäessä tarvitaan lisäksi investointeja latausinfrastruktuuriin bussilinjan varrelle. Infrastruktuuri vaikuttaa tilantarpeisiin ja sähköbussiliikenteen tapauksessa myös sähköverkkoon. Bussilinjan varrelle sijoitettavat latauslaitteet vaikuttavat myös kaupunkikuvaan.

Sähköbussiliikenteessä pääte pysäkkilatausta käytettäessä on huomioitava latausajan tarve linjalla. Latausajan tarve on huomioitava autokiertosuunnittelussa mahdollistamalla riittävät tasaus- ja kääntöajat linjan varrella. Latausajan tarpeeseen vaikuttaa linjapituus, sähköbussin energiankulutus ja latauslaitteen pikalatausteho. Karkeasti voidaan arvioida, että linjapituudeltaan 5 kilometrin bussilinjalla on latausajan tarve korkeintaan 3 min/kierto ja linjapituudeltaan 10 kilometrin bussilinjalla korkeintaan 5 min/kierto (5 min/20 km). Latausajan tarpeessa on huomioitu latauksen valmisteluun ja latauksen lopetukseen kuluva aika (30–60 sekuntia). Sähköbussit eivät sovellu linjoille, joilla ei ole riittävästi latausaikaa liikennöintikustannusten kasvun vuoksi.

Sähköbussiliikenteessä myös energian hankinnassa tapahtuu muutoksia. Nykyisessä dieselbussiliikenteessä liikennöitsijä vastaa itse polttoainehankinnoista ja polttoaineen kilpailutuksesta. Liikennöitsijät voivat yrityskohtaisesti sopia polttoaineen hinnasta sekä valita itselleen sopivan polttoaineen jakeluyhtiön ja jakelupaikat. Sähköbussiliikenteessä tilanne on toinen. Mikäli sähköbussien latausinfrastruktuurin (bussilinjan varrella sijaitsevat pikalatauslaitteet) omistaa kaupunki, ovat liikennöitsijät riippuvaisia kaupungin tarjoamasta latausinfrastruktuurista ja kaupungin kilpailuttaman sähköhinnasta.

Kaasubussiliikenteessä tulee bussivarikolla tankkausinfrastruktuurin investointien ja tilantarpeen lisäksi huomioida hallien ilmanvaihto. Kaasun ei saa olla mahdollista kerääntyä rakennusten sisälle tai rakenteisiin. Ilmanvaihdon lisäksi hallit tulee varustaa automaattisella kaasuilmaisimella.

Sähkö- ja kaasubussiliikenteessä joukkoliikennetoimijat ja niiden roolit ovat pääosin samat kuin perinteisessä dieselbussiliikenteessä. Tilaajana toimii kaupunki tai joukkoliikenteen toimivaltainen viranomais- ja tilaajan suuntaan tarjoajina toimivat liikennöitsijät. Bussikalusto sekä lataus- ja tankkausjärjestelmät kannattaa kilpailuttaa yhtenä kokonaisuutena, jolloin tarjoaja kantaa vastuun kaluston ja järjestelmien yhteensopivuudesta.

Liikennöitsijät hankkivat bussikaluston ja vastaavat tarvittavista varikkotoiminnoista. Liikennöitsijä tai varikon omistaja hankkii varikolle sijoitettavat lataus- tai tankkauslaitteet. Bussikalustoon sekä lataus- ja tankkausjärjestelmiin liittyvä huolto ja koulutus kilpailutetaan osana kaluston ja lataus- tai tankkauslaitteiden hankintaa. Tällöin huolto ja koulutus ovat liikennöitsijän sekä kalusto- ja laitevalmistajien vastuulla.

Sähköbussiliikenteessä päätepyssä käytettäessä erityispiirteen muodostaa bussilinjan varrelle sijoitettavien pikalatauslaitteiden hankinta. Mahdolliset bussilinjan varrelle sijoitettavat latauslaitteet hankkii tilaaja tai vaihtoehtoisesti tarjouskilpailussa voidaan edellyttää liikennöitsijän vastaavan latauksesta. Jos liikennöitsijä hankkii bussilinjan varrelle sijoitettavat pikalatauslaitteet, se saattaa tuottaa haasteita latauslaitteiden yhteiskäytölle (useampi liikennöitsijä käyttää samaa latauslaitetta). Ratkaisuna voi olla, että sähköbussit keskitetään samaan sopimukseen. Jos kaupunki hankkii bussilinjan varrelle sijoitettavat pikalatauslaitteet, haasteeksi voi muodostua latauslaitteiden ja bussikaluston yhteensopivuus. Myös saman latauslaitteen käyttäminen usean eri liikennöitsijän toimesta voi tuottaa haasteita, kun mahdollisia ongelmia esimerkiksi bussien latausjärjestyksestä tai -ajoista ei voi ratkaista vain yhden liikennöitsijän kuljettajien ja työnjohton kesken. Tällöin tarvittaisiin erillinen liikenteen tilaajan järjestämä työnjohto/päivystäjä, joka ratkaisisi mahdolliset latauksiin liittyvät häiriö- ja ongelmatilanteet.

Latauslaitteille hankitaan latausoperaattori, joka on sähköbussien latauslaitteiden lataussovelluksen ja/tai latauspalvelun toimittaja. Latauspalveluun voi sisältyä mm. lataustapahtumien seuranta ja raportointi, energiankulutuksen seuranta ja laskutus sekä latauslaitteiden tekninen valvonta ja huolto-toimenpiteiden koordinointi. Mahdollinen latausoperaattori kannattaa kilpailuttaa osana latauslaitteiden hankintaa.

Mikäli liikenteen tilaaja edellyttää sähköbussiliikenteessä käytettäväksi esimerkiksi aurinko- tuuli- tai vesivoimalla tuotettua sähköä, tulee tilaajan valvoa liikennöitsijän toimittamista dokumenteista, että bussien latausta varten on ostettu sopimusten mukaista sähköä. Samaa tapaan myös biokaasuliikenteessä täytyy liikenteen tilaajan valvoa, että busseihin ei ole tankattu edullisempaa maakaasua biokaasun sijasta.

Sähkö- ja kaasubussiliikennettä kilpailutettaessa tulee tarjouspyyntöasiakirjoihin lisätä vaatimus vaihtoehtoisesta käyttövoimasta tai tarjouskilpailun pisteytystä on muutettava nykyisestä. Lisäksi tulee huomioida perinteistä dieselbussiliikennettä pidempi hankintaprosessi sekä riittävä sopimuskauden pituus. Näitä asioita on kuvattu luvussa 3.1 ”Yleiset vaikutukset bussiliikenteen kilpailutukseen”.

3.4. Roolit

Tavanomaisesti bruttomallilla linja-autoliikennettä kilpailutettaessa tilaaja määrittelee vaadittavan palvelutason (linjasto, aikataulut, autokierrot) ja muut laatuvaatimukset, kuten kalustovaatimukset. Liikennöitsijän vastuulla on liikennöintipalvelun tuottaminen sisältäen myös varikon ja tankkauksen toteuttamisen. Kaasu- ja sähköbussiliikenteeseen siirryttäessä voi olla perusteltua, että tilaaja ottaa

osan tavanomaisesti liikennöitsijöille kuuluneista asioista vastuulleen, koska investoinnit ovat merkittäviä. Seuraavassa taulukossa on tarkasteltu biokaasun ja sähkön osalta etuja ja haittoja, joita syntyy, jos ko. osapuoli ottaisiin toiminnon vastuulleen.

Taulukko 1. Etuja ja haittoja, jos tilaaja/liikennöitsijä ottaisi toiminnon vastuulleen biokaasu-/sähköliikenteeseen siirryttäessä. + tarkoittaa etuja, jos ko. osapuoli vastaa asiasta. - tarkoittaa huonoja puolia, jos ko. osapuoli vastaa asiasta.

	BIOKAASU		SÄHKÖ	
	Tilaaja ottaa vastuun	Liikennöitsijän vastuulla	Tilaaja ottaa vastuun	Liikennöitsijän vastuulla
Tankkaus-/latausasema	<ul style="list-style-type: none"> + Tankkausasema kallis, 1,5 milj. eur. + Käyttöikä sopimuskautta pidempi 20-30 v. + Tilaaja voi tarjota biokaasun maksutta liikennöitsijän käyttöön, mikä kannustaa biokaasulla liikennöintiä. - Pitkällä aikavälillä ja suurilla kalustomäärillä kalliimpaa, kun liikennöitsijä maksaa kaasun hinnassa koko ajan myös inf-rasta. 	<ul style="list-style-type: none"> + Pitkällä aikavälillä ja suurilla liikennöintikokonaisuuksilla edullista, jos omistaa aseman ja maksaa vain kaasun käytöstä. + Liikennöitsijä voi valita, tankkaako autot kolmannen osapuolen tankkausasemalla vai hankkiiko varikolle tankkausaseman + Liikennöitsijä voi kilpailuttaa kaasuntoimittajan, jos alueella on useampia kaasuntoimittajia. 	<ul style="list-style-type: none"> + Latausasemat investoinneiltaan merkittävät. Voi lisätä kilpailua, jos kaupunki omistaa latausasemat. + Käyttöikä sopimuskautta pidempi 15 v. + Latausasemat tehdään katualueille ja keskustassa voivat vaikuttaa kaupunkikuvaan. + Kaupunki saa sähkön liikennöitsijää edullisemmin, kun sähkö kilpailutetaan. + Samaa latausasemaa voi paikoin käyttää useamman liikennöitsijän bussit. Tilaaja voi määrittää latausaseman ominaisuudet tarjouspyynnössä ja liikennöitsijä vastaa soveltuvan kaluston hankinnasta. 	<ul style="list-style-type: none"> + Liikennöitsijä voi kalustoa ja latausasemaa tilata varmistua laitteiden yhteensopivuudesta (toisiksi ei standardia). + Liikennöitsijä voi kilpailuttaa sähköenergian. + Häiriötilanteissa on eduksi, jos liikennöitsijällä suora sopimussuhde toimittajaan ja huoltajaan. Muutoin tarve sopimuksiin asettaa häiriöiden korjausajat ja sanktiot. + Liikennöitsijä voi valita kokonaistaloudellisesti edullisimman ratkaisun: käyttääkö varikkolatausta vai/ja päätepyssäkkilatausta. - Käyttöikä sopimuskautta pidempi (latausasema voi siirtyä tilaajalle sopimuskauden päättyessä) - Voi olla riski, ettei kaupunki hyväksy haluttua latausaseman sijaintia (riskiä pienentää, jos mahdolliset paikat on tarjouspyynnössä määritelty)
Kalusto	<ul style="list-style-type: none"> + Jos tilaaja omistaa kaluston, se voi lisätä tarjoajien määrää, jos kaluston omistus koetaan riskiksi. - Kaluston hankinta yleisesti ottaen liikennöitsijän ydinosaamista. 	<ul style="list-style-type: none"> + Kaasubussien hinta ei ole merkittävästi dieseliä korkeampi, mikä puoltaa, että liikennöitsijä hankkii kaluston. + Jos kalusto ja sen huolto sekä ylläpito liikennöitsijällä, on kannuste huoltaa kalustoa paremmin. 	<ul style="list-style-type: none"> + Kaluston hankintahinta korkea. Jos tilaaja omistaa kaluston, voi kilpailua syntyä enemmän. + Lisäetua, jos tilaaja omistaa sekä kaluston että latausasemat. - Kaluston hankinta yleisesti ottaen liikennöitsijän ydinosaamista. 	<ul style="list-style-type: none"> + Kaluston hankinta yleisesti ottaen liikennöitsijän ydinosaamista. + Jos kalusto ja sen huolto sekä ylläpito liikennöitsijällä, on kannuste huoltaa kalustoa paremmin.

Tilaaja voi tarjota liikennöitsijän käyttöön biokaasun tai latausasemien sähkön. Varsinkin biokaasun osalta muodostuu selvä kannustin biokaasulla liikennöintiin. Jos tilaaja omistaa sähkön latausasemat

ja tarjoaa sähkön, on kannuste biokaasua pienempi, koska sähkön hinta on joka tapauksessa edullinen ja liikennöitsijällä on voimakas intressi sähköbussien käyttöön. Vaihtoehtoisesti voidaan asettaa sanktioita väärällä kalustolla tai käyttövoimalla liikennöimisestä. Kokonaisuudessaan voi olla eduksi, jos liikennöitsijä voi kilpailuttaa biokaasun hankinnan, mikäli alueella on useampia biokaasun toimitajia. Pitkällä tähtäyksellä on myös edullisempaa, jos liikennöitsijä ottaa kaasun tankkausaseman itselleen ja maksaa vain kaasusta. Toisaalta pitkällä tähtäyksellä kilpailutilanteeseen voi vaikuttaa, jos yhdellä liikennöitsijällä on kaasun tankkausasema ja muilla ei ole.

Pääsääntöisesti sähköbussien latausasemia käyttää vain yhden liikennöitsijän linja-autot. Paikoin voi olla perusteltua muuttaa kohdejakoja siten, että kaikki saman latausaseman linjat kuuluvat samaan kohteeseen. Esimerkiksi jos Jyväskylässä päädyttäisiin sähköbussiliikenteeseen, ovat päätepyssäkit sen verran hajautuneita, ettei käytännössä synny tilannetta, jossa samaa latausasemaa käyttäisi useamman liikennöitsijän bussit. Jos latausasemia olisi Vapaudenkadun keskustaterminaalissa, voisi kuitenkin olla tilanne, että samaa latausasemaa käyttäisi useamman liikennöitsijän autot. Yleensä tavoitteena on kuitenkin latauksen siirto muualle, jotta heilurilinjojen kulku keskustan läpi on nopeampaa.

Jos samaa latausasemaa käyttäisi useampi liikennöitsijä, olisi eduksi, jos latausasemasta vastaa tilaaja. Häiriötilanteiden kannalta on kuitenkin eduksi, jos liikennöitsijällä on sopimussuhde myös latausaseman ylläpitäjään. Sähköbussiliikenteen ongelmat Suomessa ovat liittyneet osin siihen, ettei liikennöitsijällä ole ollut sopimussuhdetta latausaseman huoltajaan ja korjausajat ovat olleet pitkiä. Liikenteen häiriötilanteissa voi tulla tilanteita, voiko latausasemaa käyttää aikataulun mukaan liikennöinyt auto vai myöhässä ollut auto, jos samaa latausasemaa käyttäisi useampi liikennöitsijä.

Sähköbussiliikenteeseen liittyvät investoinnit ovat korkeita. Sen vuoksi pienten liikennöitsijöiden kannalta voi olla eduksi ja pienten liikennöitsijöiden halukkuus tarjouskilpailuihin voi kasvaa, jos kaupunki vastaa latausasemien investoinneista. Toisaalta sähköbussikaluston hankintakustannukset ovat merkittävästi suuremmat kuin latausasemainvestointien.

Jos sähköbussien latausasemat ja kalusto ovat liikennöitsijän vastuulla, voi liikennöitsijä valita, liikennöikö vain varikkolatausta käyttäen vai rakentaako myös pääpysäkkien latausasemat. Kahden pikalatausaseman hinnalla on mahdollista ostaa ylimääräinen sähköbussi. Vaihtoehtojen kannattavuuteen vaikuttaa luonnollisesti varikon sijainti suhteessa linjan reittiin. Tarjouspyynnössä voidaan edellyttää myös, että sopimuskauden päättyessä päätepyssäkkien sähkön latausasemat siirtyvät tilaajalle, mikä alentaa investointitarpeita seuraavilla kilpailuttamiskierroksilla.

4. KÄYTTÖVOIMAVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

4.1. Päästöt ja kustannukset

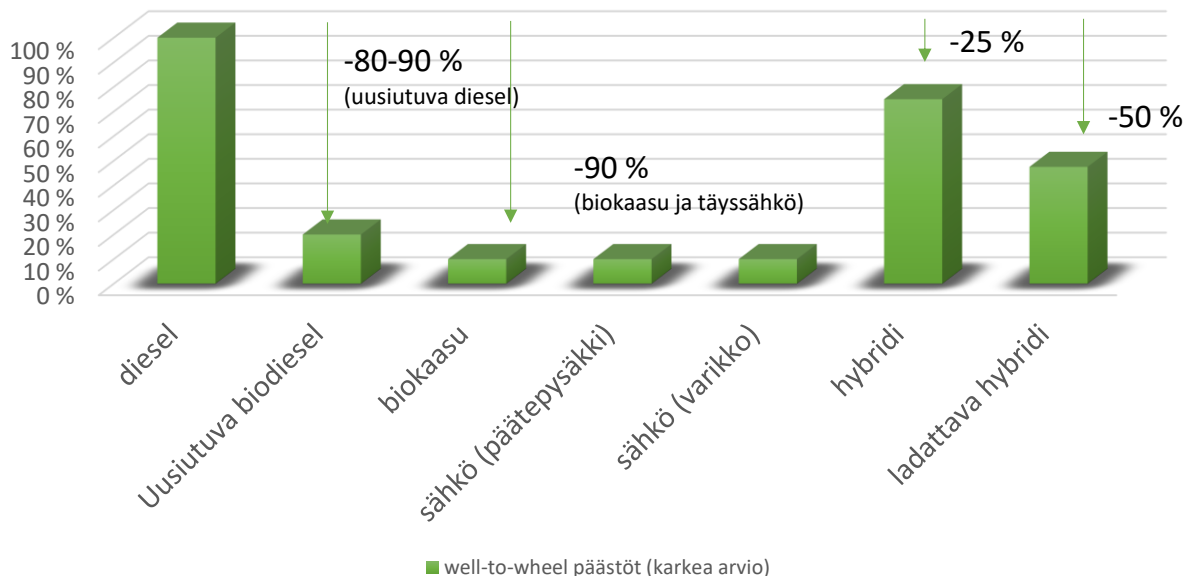
Päästöjä on tarkasteltu eri käyttövoimavaihtoehtojen välillä käytön aikaisten paikallispäästöjen sekä well-to-wheel päästöjen näkökulmasta. Käyttövoimavaihtoehtoista ympäristöystävällisimpiä ovat edellisistä näkökulmista tarkasteltuna biodiesel, biokaasu ja täyssähkö.

Biodiesel ja biokaasu eivät ole paikallispäästöttömiä, mutta fossiiliseen dieseliin verrattuna paikallispäästöt ovat alhaisemmat. Esimerkiksi biodiesel ei sisällä lainkaan rikkiä ja biokaasun typenoksidipäästöt ovat noin 40 % ja pienhiukkaspäästöt noin 70 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Täyssähkö on täysin paikallispäästötöntä.

Biokaasun ja täyssähkön (Suomen keskimääräinen sähkön tuotantotapa) well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Uusiutuvan dieselin well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 80–90 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Neste ilmoittaa uusiutuvan dieselin well-to-wheel päästöksi 90 % ja UPM 80 % pienemmäksi kuin fossiilisen dieselin.

Hybridibussiliikenne on myös ympäristöystävällisempää kuin perinteinen dieselbussiliikenne. Hybridibussit ja ladattavat hybridibussit eivät kuitenkaan ole paikallispäästöttömiä. Hybridibussien hiukkas- ja typpioksidipäästöt ovat noin 40–50 % perinteistä dieselbussia pienemmät. Hybridin well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 15–35 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä.

Ladattavan hybridibussin päästöt riippuvat sähkömoottorin ja polttomoottorin käyttösuhteesta. Voimanlähteenä sähkömoottoria käytettäessä ladattavan hybridibussikaluston päästöt ovat verrattavissa täyssähköbussiliikenteeseen ja polttomoottoria käytettäessä hybridibussiliikenteeseen. Ladattavan hybridin well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 35–70 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä.



Kuva 15. Käyttövoimavaihtoehtojen well-to-wheel päästöt (karkea arvio) suhteessa Euro 6 -päästöloukan dieselbussiliikenteeseen (Kettunen 2015, Edward 2011, Nylund ym. 2015, Mikkonen 2016, Neste 2018 ja UPM 2018).

Kustannusten osalta on tarkasteltu investointikustannuksista kalusto- ja infrakustannuksia sekä käytön aikaisista kustannuksista energia- ja huoltokustannuksia. Käyttövoimavaihtoehdoista pienimmät investointikustannukset ovat dieselillä, biodieselillä ja hybridibusseilla. Edellisissä käyttövoimavaihtoehdoissa ei ole tarvetta infrastruktuuri-investointeihin. Diesel- ja biodieselkaluston investointikustannus on noin 240 000 € /bussi ja hybridikaluston investointikustannus noin 300 000 € /bussi.

Kaasubussikaluston investointikustannus on hieman suurempi kuin dieselbussikalustolla noin 270 000 €. Lisäksi on investoitava kaasubussien tankkausinfrastruktuuriin (hidas- ja pikatankkauslaitteet) noin 1,5 miljoonaa euroa. Kaasubussien tankkausinfran investointikustannuksia ei muodostu välttämättä liikennöitsijälle, jos tarjolla on jo olemassa oleva raskaalle liikenteelle soveltuva kaasun tankkausverkosto. Kuitenkin on huomioitava, että tällöin liikennöitsijälle voi syntyä merkittäviäkin lisäkustannuksia tankkauksesta aiheutuvista siirtokilometreistä.

Käyttövoimavaihtoehdoista korkeat investointikustannukset ovat myös täyssähköllä ja ladattavalla hybridillä. Täyssähköbussikaluston ja ladattavan hybridibussikaluston investointikustannus on noin 420 000 € /bussi. Lisäksi on investoitava sähköbussien latausinfrastruktuuriin (hidas- ja pikatankkauslaitteet) satoja tuhansia euroja.

Käyttövoimavaihtoehtojen käytön aikaisten kustannusten arviointi on haasteellista muun muassa polttoaineen kulutuksen ja energian hinnan vaihtelun vuoksi. Myöskään vaihtoehtojen käyttövoimien huoltokustannuksista ei ole tarkkaa tietoa. Kaikkien käyttövoimavaihtoehtojen energiakustannuksiin vaikuttaa myös kaluston lisälämmittimen polttoaineen kulutus. Kaikilla käyttövoimavaihtoehtoilla lisälämmittimen polttoaineen kulutus on noin 3 l/h. Käyttövoimavaihtoehtojen välillä on eroja lisälämmittimen käyttötarpeessa: vähiten lisälämmintä on tarve käyttää kaasubusseilla, joiden moottorin lämpötila on korkein ja eniten sähköbusseilla, joissa moottori ei tuota vastaavassa määrin lämpöä. Jos busseja säilytetään varikolla ulkona ja niitä lämmitetään ennen liikenteen aloitusta, on kaikilla käyttövoimilla luonnollisesti sama tarve käyttää lisälämmintä. Lisälämmittimen polttoaineen kulutuksen vaikutus kokonaiskustannuksiin on kuitenkin vähäinen.

Tässä työssä käytetyllä polttoaineen kulutuksella (ei sisällä lisälämmittimen polttoaineen kulutusta) ja energian hinnalla laskettuna käyttövoimavaihtoehdoista pienimmät energiakustannukset ovat täyssähköllä noin 8 €/100 km. Seuraavaksi pienimmät energiakustannukset ovat ladattavalla hybridillä noin 16,50 €/100 km ja hybridillä noin 25 €/100 km. Diesel- ja biodieselbusseilla energiakustannukset ovat noin 35 €/100 km ja biokaasubusseilla noin 31,50 €/100 km. Tässä työssä on arvioitu dieselin, biodieselin ja täyssähkön huoltokustannuksiksi noin 20 €/100 km sekä biokaasun, hybridin ja ladattavan hybridin huoltokustannuksiksi noin 25 €/100 km.

Seuraavassa taulukossa on esitetty käyttövoimavaihtoehtojen vertailu ominaisuuksien, päästöjen ja kustannusten näkökulmasta.

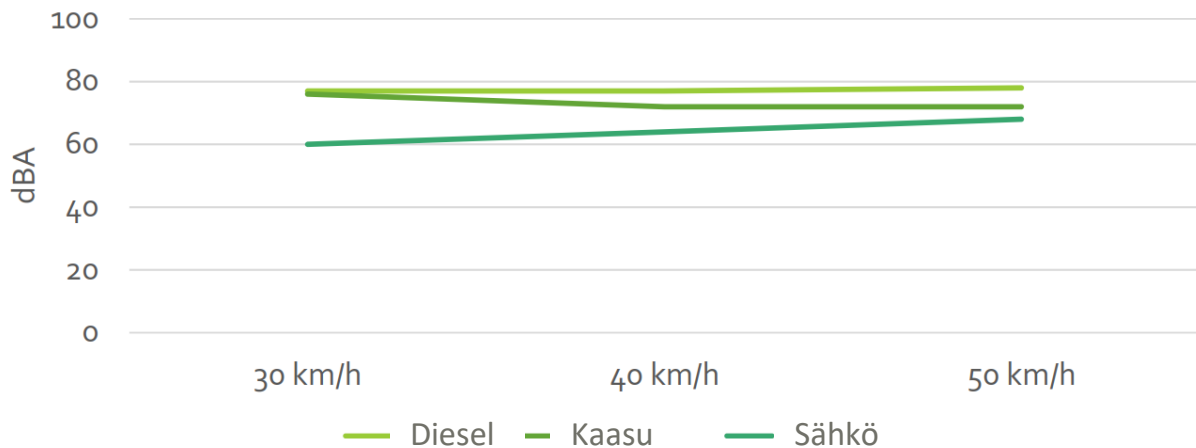
Taulukko 2. Käyttövoimavaihtoehtojen vertailu

	DIESEL	BIOKAASU	TÄYSSÄHKÖ	HYBRIDI	LADATTAVA HYBRIDI
KALUSTON SAATAVUUS	ERINOMAINEN (minibussit, 2-akseliset bussit, telibussit, nivelbussit)	HYVÄ (2-akseliset bussit, telibussit, nivelbussit)	HYVÄ (minibussit, 2-akseliset bussit, nivelbussit)	HYVÄ (pääosin käytössä 2-akseliset bussit)	KOHTALAINEN
KALUSTOTOIMITTAJAT SUOMEN MARKKINOILLA	Irisbus, Iveco, MAN, Mercedes-Benz, Scania, Solaris, VDL ja Volvo	Iveco, MAN, Mercedes-Benz, Scania ja Solaris	BYD, Ebusco, Linkker, Mercedes-Benz, Scania, Solaris, VDL ja Volvo	Hess, Irisbus, Iveco, MAN, Scania, Solaris, Van Hool, VDL ja Volvo	Scania ja Volvo

	DIESEL	BIOKAASU	TÄYSSÄHKÖ	HYBRIDI	LADATTAVA HYBRIDI
KALUSTOKUSTANNUS (alv 0%)	240 000 €	270 000 €	420 000 €	300 000 €	420 000 €
JÄLKIMARKKINAT	Ennustettavat	Ei ole Suomessa toistaiseksi, mutta kaupunkien päätökset vaadittavista käyttövoimista vaikuttavat jälkimarkkinoihin.	Ei ole Suomessa toistaiseksi, mutta kaupunkien päätökset vaadittavista käyttövoimista vaikuttavat jälkimarkkinoihin.	Ennustettavat, mutta taivannomaista dieseliä vähäisemmät.	Ei ole Suomessa toistaiseksi, mutta kaupunkien päätökset vaadittavista käyttövoimista vaikuttavat jälkimarkkinoihin. Todennäköisesti markkinaosuus voi jäädä vähäiseksi.
MATKUSTAJAKAPASITEETTI (2-akselinen bussi)	Istumapaikat noin 30-40 paikkaa Yht. noin 70-80 paikkaa	Istumapaikat noin 30-40 paikkaa Yht. noin 70-80 paikkaa	Istumapaikat noin 30-40 paikkaa Yht. noin 70-80 paikkaa	Istumapaikat noin 30-40 paikkaa Yht. noin 70-80 paikkaa	Istumapaikat noin 30-40 paikkaa Yht. noin 70-80 paikkaa
TOIMINTAMATKA	600 km	500-700 km (riippuu kaasusäiliöiden koosta)	Pääte pysäkkilataus noin 50-100 km Varikkolataus noin 250 km (riippuvat akkukapasiteetista)	600 km	600 km
TANKKAUS/LA-TAUS	Tankkaus yö- tai päivätauolla varikolla tai ulkoisella tankkausasemalla	Tankkaus varikolla liikennöinnin päätyttyä joko hidastai pikatankkauksella	Pääte pysäkkilataus päivän aikana linjalla sekä varikkolataus yöllä varikolla	Tankkaus varikolla	Pääte pysäkkilataus päivän aikana linjalla sekä varikkolataus yöllä varikolla
TANKKAUS-/LA-TAUSAIKA	5-10 minuuttia	Pikatankkaus 5-10 min, Hidastankkaus noin 15 min /bussi	Pikalataus 5min /20km, Hidaslataus 1-12 h	Muutaman minuutin	Pikalataus 5min /20km, Hidaslataus 1-12 h
POLTTOAINEEN KULUTUS	33 l /100 km	35 kg /100 km	100 kWh/100 km	noin 25 l /100 km (polttoainekulutus on 15-35 % pienempi kuin dieselbussilla)	50 kWh/100 km + noin 12,5 l/100 km (riippuvat sähkömoottorin ja polttomoottorin käyttösuhteesta, oletus 50/50)
POLTTOAINEEN TOIMITUSVARMUUS	ERINOMAINEN	HYVÄ	ERINOMAINEN	ERINOMAINEN	ERINOMAINEN

	DIESEL	BIOKAASU	TÄYSSÄHKÖ	HYBRIDI	LADATTAVA HYBRIDI
POLTTOAINEEN HINTA	1,00 €/l, (uusiutuvan biodieselin hinta +10%)	0,90 €/kg	0,08 €/kWh	1,00 €/l	0,08 €/kWh 1,00 €/l
ENERGIAKUSTANNUKSET	noin 33 €/100 km	noin 31,50 €/100 km	8,00 €/100 km	noin 25 €/100 km	noin 16,50 €/100 km
LISÄLÄMMITTIMEN POLTTOAINEEN KULUTUS	3 l/h (ei ole huomioitu energiakustannuksissa) Dieselkäyttöinen, mistä aiheutuu ympäristöhaittoja. Lisälämmittimessä voidaan käyttää myös uusiutuvaa dieseliä tai biokaasua ympäristöhaittojen vähentämiseksi.				
LISÄLÄMMITTIMEN KÄYTTÖTARVE	Euro 6 -moottorin lämpötila alhainen, joten tarvetta melko paljon	Moottorin lämpötila korkein, käyttötarve vähäisin. Jos autot säilytetään ulkona, ennen liikenteen alkua yhtä suuri tarve kuin muilla käyttövoimilla.	Suurin tarve	Euro 6 -moottorin lämpötila alhainen, joten tarvetta melko paljon	Suuri tarve
TOIMINTAVARMUUS	ERINOMAINEN	HYVÄ	HYVÄ	ERINOMAINEN	HYVÄ
KÄYTTÖIKÄ	Kalusto noin 15 vuotta	Kalusto noin 15 vuotta	Kalusto noin 15 vuotta Akut noin 5 vuotta Latauslaitteet noin 10 vuotta	Kalusto noin 15 vuotta Akut noin 5 vuotta	Kalusto noin 15 vuotta Akut noin 5 vuotta Latauslaitteet noin 10 vuotta
PÄÄSTÖT	Biodiesel: Ei paikallispäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -80-90 %	Ei paikallispäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -90 %	Paikallispäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -90 % (Suomen keskimääräinen sähkön tuotantotapa)	Ei paikallispäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -15-35 %	Ei paikallispäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -35-70 %
INFRAKUSTANNUKSET nykyisille toimijoille (alv 0%)	Ei investointeja infrastruktuuriin	Pika- ja hidastankkauslaitteet noin 1,5 milj. €	Pikalatauslaitteet (300-450 kW) 250 000 € Hidaslatauslaitteet (20-50 kW) 20 000-50 000 €	Ei investointeja infrastruktuuriin	Pikalatauslaitteet (300-450 kW) 250 000 € Hidaslatauslaitteet (20-50 kW) 20 000-50 000 €
HUOLTOKUSTANNUKSET	20 €/100 km	25 €/100 km	20 €/100 km	25 €/100 km	25 €/100 km

Seuraavassa kuvassa on esitetty diesel-, kaasu- ja sähköbussien melupäästöt. Melu koostuu moottorimelusta sekä ajoneuvon vierintämelusta. Kaupunkiliikenteessä moottorin aiheuttama melu on hallitsevassa asemassa aina taajamanopeuksilla ajettaessa. Vasta yli 50 km/h nopeuksilla vierintämelu on hallitsemisempää. Kaupunkiliikenteessä toistuvat kiihdytykset, jarrutukset sekä tyhjäkäynti lisäävät melua ja päästöjä. Kaasubussien moottorien aiheuttama melu on jonkin verran dieselbussia pienempi. Sähköbussit ovat alhaisilla nopeuksilla kaikkein hiljaisimpia.



Kuva 16. Diesel-, kaasu- ja sähköbussien melu eri nopeuksilla (Oulun joukkoliikenteen ympäristöpäästöt eri käyttövoimille, Micropolis, 2018).

4.2. Kooste käyttövoimien eduista ja haasteista

Seuraavaan taulukkoon on koottu eri käyttövoimien etuja ja haittoja fossiiliseen dieseliin nähden.

Taulukko 3. Eri käyttövoimien edut fossiiliseen dieseliin nähden.

Vertailtava tekijä	Uusiutuva diesel eli biodiesel	Biokaasu	Sähkö	Hybridi	Ladattava Hybridi
Puoltavia tekijöitä	<ul style="list-style-type: none"> + Ei edellytä lisäinvestointeja nykyiseen kalustoon, koska uusiutuva dieselä voidaan käyttää sellaisenaan tai sekoitettuna fossiiliseen dieseliin. + Voidaan käyttää bussien vakiintunutta tekniikka. + Kaluston toimintavarmuus + Elinkaaren aikaiset päästöt (well-to-wheel) alenevat 80–90 %. + Valmistetaan kasvi- ja puupohjaisesta sellulosaasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä. + Toimintasäde kuten nykyisin dieselillä. + Tukee joukkoliikenteen markkinointia ja ympäristöystävällistä imagoa. 	<ul style="list-style-type: none"> + Vakiintunut tekniikka. + Kaluston toimintavarmuus + Elinkaaren aikaiset päästöt (well-to-wheel) alenevat 90 %. + Biokaasun käyttö ehkäisee kasvihuoneilmiötä muilla sektoreilla. Metaania (biokaasua) syntyy biojätteistä ja jäteveden puhdistamon lietteiden mädätyksessä + Maakaasun käyttömahdollisuus varapolttoaineena (toimintavarmuus, mutta elinkaaren aikaiset päästöt voivat jopa kasvaa ja pienhiukkaspäästöt ovat fossiilista dieseliä suuremmat) + Toimintasäde pitkä, joten tankataan kerran päivässä. + Energia dieseliä edullisempaa -10 % + Saatavissa kaikilla kalustotyypeillä. + Tukee joukkoliikenteen markkinointia ja ympäristöystävällistä imagoa. 	<ul style="list-style-type: none"> + Ei paikallispäästöjä + Pienet käyttökustannukset - 75 % + Hiljainen kaupunkiliikenteessä + Elinkaaren aikaiset päästöt (well-to-wheel) alenevat 90 % (Suomen keskim. päästökerroin). Voidaan hankkia myös uusiutuvaa sähköä (vrt. uusiutuva biokaasu) + Tukee joukkoliikenteen markkinointia ja ympäristöystävällistä imagoa. 	<ul style="list-style-type: none"> + Jarrutusenergian hyödyntäminen liikkeelle lähettäessä. + Ei tarvitse erillistä latausinfraa. + Pienempi polttoaineen kulutus ja sitä kautta CO2 – päästöt. + Elinkaaren aikaiset päästöt (well-to-wheel) alenevat 25 % 	<ul style="list-style-type: none"> + Mahdollista liikennöidä pääsääntöisesti sähköllä, ladataan sähköbussin tarpeen. + Pidempi toimitusväli kuin sähköbussilla dieselmootorin ansiosta. + Häiriötilanteissa dieselillä. + Latausaika sähköbussia lyhyempi, minkä vuoksi soveltuu useammille linjoille. + Tukee joukkoliikenteen markkinointia ja ympäristöystävällistä imagoa.

Taulukko 4. Eri käyttövoimien haittoja, riskejä ja heikkouksia fossiiliseen dieseliin nähden.

Vertailtava tekijä	Uusiutuva diesel eli biodiesel	Biokaasu	Sähkö	Hybridi	Ladattava Hybridi
Haasteet /Riskit/Heikkoudet	<ul style="list-style-type: none"> - Dieseliä kalliimpaa +10 % - Käyttövoiman hintakehitys arvoitus - Jakeluverkko ja saatavuus. Jakeluverkko on vasta laajentumassa, mutta todennäköisesti kasvaa kysynnän kasvaessa. - Talvikäytettävyydestä ei kokemuksia 	<ul style="list-style-type: none"> - Kuopiossa ei liikennekäyttöön riittävää biokaasun tuotantoa (Gasumilla sopimus biokaasun käytöstä sähkön ja lämmön tuotantoon 2026 asti). - Ei täysin paikallispäästötöntä, NOx (typenoksidit) -40 % ja pienhiukkaspäästöt -70 % dieseliä pienemmät (varalla maakaasua käytettäessä päästöt kasvavat). - Kaasun tankkausasemainvestointi noin 1,5 Meur, jos varikon lähellä ei busseille soveltuvaa tankkausasemaa. - Tankkausasemaverkosto kehittymässä. - Kalusto +30 000 eur/bussi (12 %) dieseliä kalliimpi - Huoltokustannukset dieseliä jonkin verran kalliimmat - Muutokset varikon toimintoihin (huolto ja tankkaus, mikäli hoidetaan omalla varikolla) - Kaluston jälkimarkkinoita ei ole Suomessa toistaiseksi, mutta kaupunkien päätökset vaadittavista käyttövoimista vaikuttavat jälkimarkkinoihin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suuret investoinnit - Sähköbussi +75 % dieseliä kalliimpi - Päätepusäkkien mahdolliset pikalatauslaitteet 250 000 eur/kpl, varikkojen hidaslatauslaitteet 20 000–50 000 eur/kpl - Akku- ja latausjärjestelmät kehitysvaiheessa (esim. latauslaitteiden standardointi) - Toimintasäde lyhyt (päätepusäkkilatauksella 50 km ja varikkolatauksella 250 km) - Järjestelmien toimintavarmuus - Päätepusäkkilatauksen edellyttämä aika rajoittaa sähköbussien soveltuvuutta linjoille - Lisälämmittimen käyttö talvella dieseliä ja biokaasua suurempaa (voidaan edellyttää uusiutuvaa dieseliä) - Kaluston jälkimarkkinoita ei ole Suomessa toistaiseksi, mutta kaupunkien päätökset vaadittavista käyttövoimista vaikuttavat jälkimarkkinoihin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suuret investoinnit - Kalusto noin 25 % (60 000 eur/bussi) dieselbussia kalliimpi - Päästöt vähenevät vain 25 % dieseliin nähden (toisaalta voidaan edellyttää uusiutuvan dieselin käyttöä) - Kaluston jälkimarkkinat ennustettavat, mutta melko vähäiset. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suuret investoinnit - Kalusto yhtä kallista kuin sähköbussit - Edellyttää sähköbussien tavoin latausinfra - Vähemmän kalustovalmistajia - Kaluston jälkimarkkinoita ei ole Suomessa toistaiseksi, mutta kaupunkien päätökset vaadittavista käyttövoimista vaikuttavat jälkimarkkinoihin.

4.3. Kokonaiskustannusten vertailu

Kokonaiskustannusten vertailussa on huomioitu eri käyttövoimien investointikustannukset sisältäen infra- ja kalustokustannukset, käyttökustannukset sisältäen energia- ja huoltokustannukset ja mahdollisen akkujen vaihdon sekä palkka- ja yleiskustannukset. Lisäksi on huomioitu investoinneille korko (4 %) ja poistoajat. Taulukoissa 5 ja 6 on poistoaikana käytetty 10 vuotta. Taulukossa 7 on poistoaikana käytetty busseille 10 vuotta, sähkön latausinfrastruktuurille 15 vuotta ja biokaasun tankkausasemalle 25 vuotta. Vertailussa käytetyt investointi- ja käyttökustannukset perustuvat taulukossa 2. esitettyihin kustannuksiin. Palkkakustannusten osalta on oletettu, että palkkakustannukset ovat 60 % nykyisen dieselbussiliikenteen kustannuksista. Palkka- ja yleiskustannukset ovat samat käyttövoimavaihtoehdosta riippumatta.

Kokonaiskustannusten vertailussa on lisäksi oletettu, että sähköbussissa ja ladattavassa hybridibussissa (pääte pysäkkilataus) on 100 kWh akkukapasiteetti, sähköbussissa (varikkolataus) on 300 kWh akkukapasiteetti ja hybridibussissa on 15 kWh akkukapasiteetti. Kaikissa edellä mainituissa käyttövoimavaihtoehdoissa akut vaihdetaan kerran tarkastelujakson (10 vuotta) aikana ja akkujen hinta on 500 €/kWh. Kun akun tehosta on 80 % jäljellä, on laskennallisesti varauduttu akkujen vaihtamiseen. Akkuja voidaan käyttää muussa käytössä. Sähköbussiliikenteessä varikko- ja pääte pysäkkilatausta käytettäessä infrakustannuksiin on sisällytetty varikolle hidaslatauslaite jokaiselle bussille. Pääte pysäkkien latausasemien määrät vaihtelevat todellisuudessa pääte pysäkkien määrän mukaan. Vertailutaulukossa 8 bussin tapauksessa on oletuksena 2 latausasemaa ja 30 bussin tapauksessa 8 latausasemaa.

Kaasubussiliikenteessä oletuksena on, että tankkausta varten rakennetaan varikolle kaasun pikatankkausasema sekä hidastankkauspaikat kaikille busseille (noin 1,4–1,5 milj. euroa). Laskelmissa on oletuksena, että tankkausasemainvestoin maksaa liikennöitsijä, jolloin liikennöitsijä ostaa vain kaasua (0,80 eur/kg). Vaihtoehtoisesti liikennöitsijä voisi maksaa kaasun hinnassa tankkausasemainfrastruktuurin, jolloin kaasun hinta on korkeampi (oletuksena, että biokaasu maksaa liikennöitsijälle 1,05 eur/kg). Seuraavissa taulukoissa ja kuvassa on esitetty käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu. Laskelmat ovat suuntaa-antavia eivätkä sisällä yksittäisten tai useamman linjan suoritteita. Dieselin ja uusiutuvan biodieselin osalta on oletuksena, että liikennöitsijöiden nykyisillä varikoilla on dieselin tankkausasema. Uudet liikennöitsijät voivat toteuttaa varikoilleen tankkauksen tai käyttää kaupungin alueen julkisia tankkausasemia, jotka ovat varikon, siirtoajoreitin tai linjan pääte pysäkkien läheisyydessä.

Taulukko 5. Esimerkki 8 bussille, joilla ajetaan 100 000 km/bussi/vuosi). Käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu (tarkastelujakso 10 vuotta). Pääte pysäkkilatausta käyttäviä sähköbussseja varten oletuksena on kahden (2) latausaseman rakentamistarve.

	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)				Vuosi- kustannukset (€/v)	Vuosi- kustannukset ilman infraa (€/v)	Kustannusten nousu (%)	Kustannusten nousu ilman infraa (%)
	Infra	Kalusto	Energian hinta (+alv)	Energia	Huolto	Akkujen vaihto				
8 bussia ja 100 000 km/bussi/vuosi										
Diesel	0	1 920 000	1,0 eur/l	0,33	0,20	0,00	2 100 000	2 100 000	0 %	0 %
Biodiesel	0	1 920 000	1,1 eur/l	0,36	0,20	0,00	2 100 000	2 100 000	1 %	1 %
Biokaasu	1 440 000	2 160 000	0,80 eur/kg	0,30	0,25	0,00	2 300 000	2 100 000	11 %	2 %
Sähkö (pääte pysäkkilataus)	660 000	3 360 000	0,08 eur/kWh	0,08	0,20	0,05	2 200 000	2 100 000	5 %	1 %
Sähkö (varikkolataus)	160 000	3 360 000	0,08 eur/kWh	0,08	0,20	0,15	2 200 000	2 200 000	6 %	5 %
Hybridi	0	2 400 000	1,0 eur/l	0,25	0,25	0,01	2 100 000	2 100 000	2 %	2 %
Ladattava hybridi (pääte pysäkkilataus)	660 000	3 360 000	1,0 eur/l ja 0,08 eur/kWh	0,18	0,25	0,05	2 300 000	2 200 000	10 %	6 %

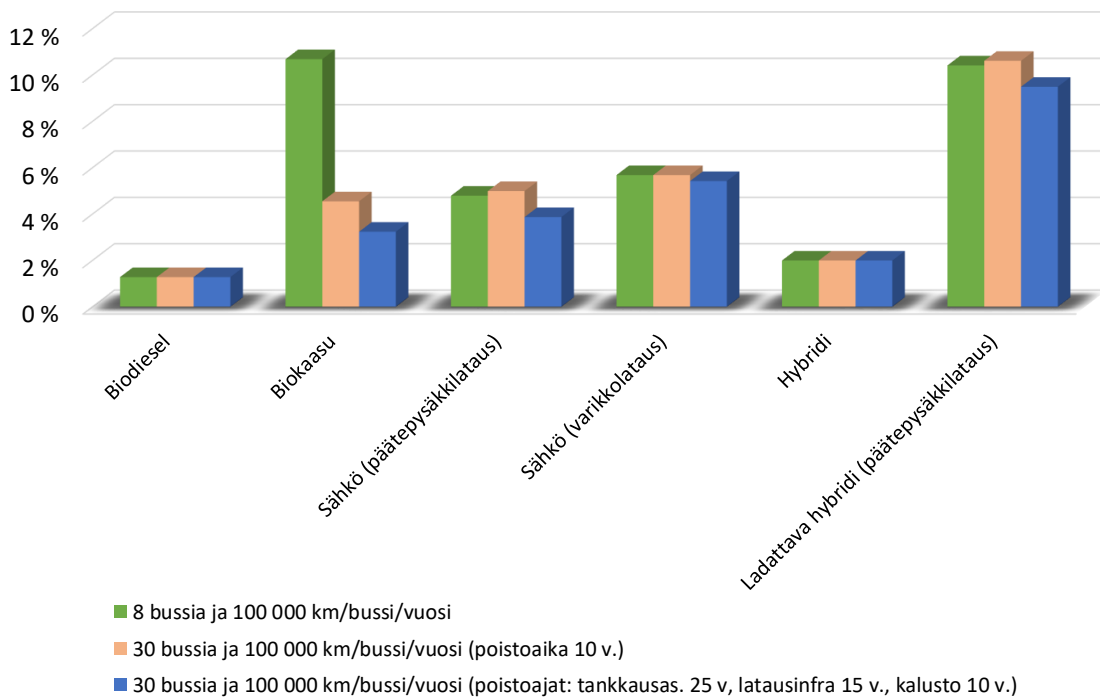
Taulukko 6. Esimerkki 30 bussille, joilla ajetaan 100 000 km/bussi/vuosi). Käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu (tarkastelujakso 10 vuotta). Pääte pysäkkilatausta käyttäviä sähköbussseja varten oletuksena on kahdeksan (8) latausaseman rakentamistarve.

	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)				Vuosi- kustannukset (€/vuosi)	Vuosi- kustannukset ilman infraa (€/v)	Kustannusten nousu (%)	Kustannusten nousu ilman infraa (%)
	Infra	Kalusto	Energian hinta (+alv)	Energia	Huolto	Akkujen vaihto				
30 bussia ja 100 000 km/bussi/vuosi (poisto aika 10 v.)										
Diesel	0	7 200 000	1,0 eur/l	0,33	0,20	0,00	7 740 000	7 740 000	0 %	0 %
Biodiesel	0	7 200 000	1,1 eur/l	0,36	0,20	0,00	7 840 000	7 840 000	1 %	1 %
Biokaasu	1 550 000	8 100 000	0,80 eur/kg	0,30	0,25	0,00	8 090 000	7 900 000	5 %	2 %
Sähkö (pääte pysäkkilataus)	2 600 000	12 600 000	0,08 eur/kWh	0,08	0,20	0,05	8 120 000	7 800 000	5 %	1 %
Sähkö (varikkolataus)	600 000	12 600 000	0,08 eur/kWh	0,08	0,20	0,15	8 180 000	8 100 000	6 %	5 %
Hybridi	0	9 000 000	1,0 eur/l	0,25	0,25	0,01	7 890 000	7 890 000	2 %	2 %
Ladattava hybridi (pääte pysäkkilataus)	2 600 000	12 600 000	1,0 eur/l ja 0,08 eur/kWh	0,18	0,25	0,05	8 560 000	8 240 000	11 %	6 %

Taulukko 7. Esimerkki 30 bussille, joilla ajetaan 100 000 km/bussi/vuosi). Käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu. Kaasun tankkausaseman poisto aika on kuitenkin 25 vuotta ja sähköbussien latausinfrastruktuurin poisto aika 15 vuotta. Kaluston poisto aika on 10 vuotta. Pääte pysäkkilatausta käyttäviä sähköbussuja varten oletuksena on kahdeksan (8) latausaseman rakentamistarve.

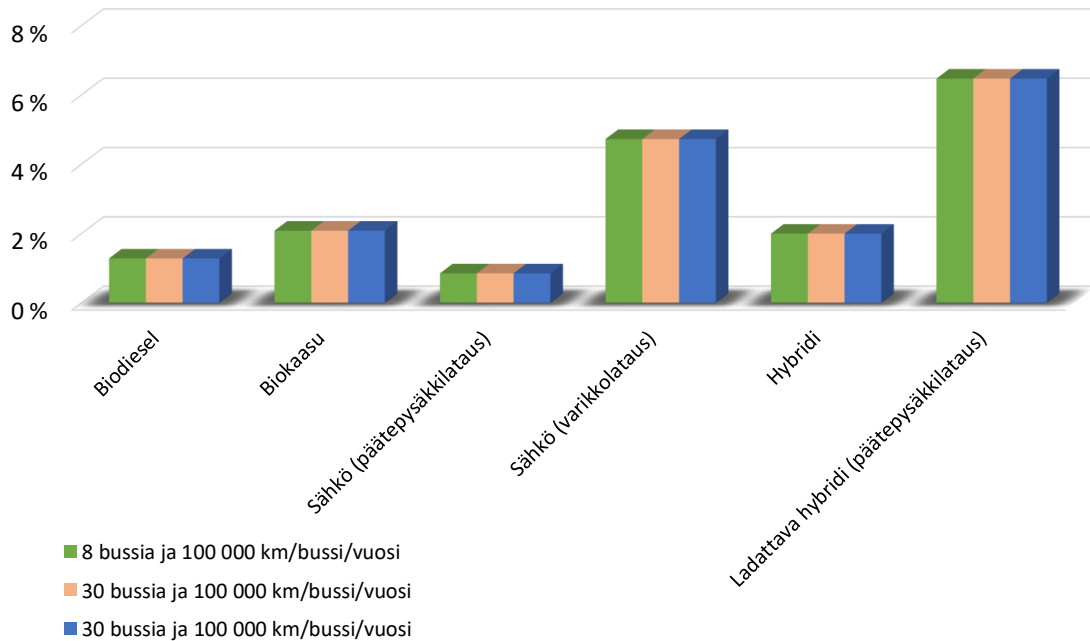
	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)				Vuosi- kustannukset (€/vuosi)	Vuosi- kustannukset ilman infraa (€/v)	Kustannusten nousu (%)	Kustannusten nousu ilman infraa (%)
	Infra	Kalusto	Energian hinta (+alv)	Energia	Huolto	Akkujen vaihto				
30 bussia ja 100 000 km/bussi/vuosi (poistoajat: tankkaus. 25 v., latausinfra 15 v., kalusto 10 v.)										
Diesel	0	7 200 000	1,0 eur/l	0,33	0,20	0,00	7 740 000	7 740 000	0 %	0 %
Biodiesel	0	7 200 000	1,1 eur/l	0,36	0,20	0,00	7 840 000	7 840 000	1 %	1 %
Biokaasu	1 400 000	8 100 000	0,80 eur/kg	0,30	0,25	0,00	7 990 000	7 900 000	3 %	2 %
Sähkö (pääte pysäkkilataus)	2 600 000	12 600 000	0,08 eur/kWh	0,08	0,20	0,05	8 040 000	7 800 000	4 %	1 %
Sähkö (varikkolataus)	600 000	12 600 000	0,08 eur/kWh	0,08	0,20	0,15	8 160 000	8 100 000	5 %	5 %
Hybridi	0	9 000 000	1,0 eur/l	0,25	0,25	0,01	7 890 000	7 890 000	2 %	2 %
Ladattava hybridi (pääte pysäkkilataus)	2 600 000	12 600 000	1,0 eur/l ja 0,08 eur/kWh	0,18	0,25	0,05	8 470 000	8 240 000	9 %	6 %

Kustannusten nousu suhteessa dieselbussiliikenteeseen



Kuva 17. Käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu 8 ja 30 bussilla. 8 ja 30 bussin osalta kaluston ja sähköbussien latausinfrastruktuurin poisto aika on 10 vuotta. Lisäksi 30 bussin toisessa tapauksessa bussien poisto aika on 10 vuotta, sähkön latausinfrastruktuuriin poisto aika 15 vuotta ja kaasun tankkausasemien poisto aika 25 vuotta.

Kustannusten nousu suhteessa dieselibussiliikenteeseen, ilman infraa



Kuva 18. Käyttövoimavaihtoehtojen kustannusvaikutukset ilman infrastruktuuria 8 ja 30 bussilla. 30 bussin molemmissa edellisen kuvan tapauksissa kustannusten kasvu ilman infrastruktuuria on yhtä suuri.

Uusiutuva biodiesel on edullinen vaihtoehto bussiliikenteen päästöjen vähentämiseksi. Uusiutuvan dieselin heikkoutena on toistaiseksi heikko saatavuus ja jakeluverkko, joka todennäköisesti laajenee nopeastikin muiden logistiikkayritysten biodieselin käytön lisääntyessä alueella. On mahdollista, että kysynnän merkittävästi kasvaessa sen hinta nousee, koska tuotanto on toistaiseksi suhteellisen vähäistä. Uusiutuvaa biodieseliä on kuitenkin luontevaa käyttää vähintäänkin ympäristöissä, joilla sähkö- tai kaasubussiliikenne ei ole perusteltu.

Biokaasun osalta merkittävin lisäkustannus aiheutuu tankkausaseman rakentamisesta. Vaihtoehtoisesti voidaan tukeutua julkiseen tankkausasemaverkostoon, mutta siirtoajomatkoista voi aiheutua merkittävät lisäkustannukset.

Julkisella Gasumin jakeluasemalla biokaasun hinta on 1,45 eur/kg (sis. alv 24 %). Oletuksena on ollut, että hinta liikennöitsijälle olisi edullisempi, 1,05 eur/kg (+alv). Lisäksi Gasum on laskenut, että jos se ei vastaa investoinnista, Gasum myy pelkkää kaasua hintaan 0,80 eur/kg (+alv). Isoilla noin 20–30 bussin liikennöintikokonaisuuksilla on perusteltua rakentaa tankkausasema varikolle. Jos liikennöitsijä vastaa biokaasun tankkauksesta, on liikennöitsijällä käytännössä seuraavat vaihtoehdot:

- Käy tankkaamassa julkisella jakeluasemalla (aiheutuu siirtoajoja),
- Esim. Gasum rakentaa varikolle tankkausinfran vastaten investoinnista (liikennöitsijä maksaa kaasun hinnassa investoinnin, noin 1,05 eur/kg + alv) tai
- Liikennöitsijä rakennuttaa varikolle tankkausinfran (esim. Gasum rakentaa) ja maksaa esim. Gasumille kaasusta 0,80 eur/kg + alv. Jos liikennöitsijä vastaa kaasun tankkausinvestoinneista, on sopimusajan oltava riittävän pitkä, minkä lisäksi liikennöitsijältä edellytetään luottamusta, että investoinnilla on arvoa vielä sopimuskauden jälkeenkin.

Biokaasun tankkausasemaan investointi voi olla myös pienemmillä bussien määrällä taloudellisesti kannattavampaa, mikäli varikon tankkausasema sijaitsee paikalla, joka houkuttelee myös kaasun käyttäjiä paljon eli tankkausaseman kannattavuus ei perustu pelkästään bussien tankkauksesta saatavaan tuloon. Suuremmilla liikennöintikokonaisuuksilla biokaasun käytön taloudellisuus kasvaa, koska voidaan tukeutua yhteen varikon tankkausasemaan. Lisäksi toistaiseksi kaasubussien etuna on, että kaasubusseja on saatavissa tarvittaessa myös telibusseina, joita ei tosin ole suunnitteilla Kuopion kaupunkiseudun joukkoliikenteeseen. Käytännössä rajoitteita asettavat mielekkäät kohteiden koot, koska pitkällä tähtäimellä on eduksi, jos seudulla on useampia liikenteenharjoittajia.

Sähköbussiliikenteen investointikustannukset ovat suuret. Käyttökustannukset ovat kuitenkin edulliset. Sen vuoksi päätepusäkkilatausta käytettäessä sähköbussiliikenne on sitä kannattavampaa, mitä tiheämpi vuoroväli linjalla on. Päätepusäkkilataus soveltuu käytettäväksi erityisesti kaupunkien paikallisliikenteessä linjapituudeltaan kohtuullisen lyhyillä sekä liikennöintisuoritteeltaan ja kalustomäärältään suurilla bussilinjoilla. Päätepusäkkilatausta käytettäessä on tarve lisäinvestoinneille päätepusäkkilatausasemien rakentamiseen. Varikkolataus soveltuu päätepusäkkilatausta paremmin käytettäväksi myös pienillä bussilinjoilla. Varikkolatausta käyttäen voidaan toteuttaa linjapituudeltaan sekä lyhyitä että pitkiä linjoja, koska järjestämistapa ei vaadi latausta linjan varrella. Taloudellinen kannattavuus edellyttää myös pidempää sopimuskautta.

30 bussin vaihtoehtojen vertailutaulukko osoittaa, että biokaasulla liikennöitäessä liikennöintikustannukset kasvavat kaksi prosenttia (2 %) ja sähköllä liikennöitäessä yhden prosentin (1 %), jos liikennöitsijät vastaisivat tankkaus- ja latausasemien rakentamisesta ja liikennöitsijät poistaisivat investoinnit nopeammin, 10 vuoden sopimuskauden aikana. Jos tankkaus- ja latausasemien investointitarve vähentää liikennöitsijöiden kiinnostusta osallistua tarjouskilpailuun, voi kustannusvaikutus olla suurempi.

Hybridibussiliikenne on pienillä liikennöintikokonaisuuksilla taloudellisesti kaasu- ja sähköbussiliikennettä kannattavampaa. Suuremmilla liikennöintikokonaisuuksilla ei synny kuitenkaan mittakaavaetua, kun lisäkustannukset kohdistuvat kaluston hintaan. Hybridin heikkoutena on kuitenkin, että kustannusten kasvaessa elinkaaripäästöt eivät kuitenkaan vähene yhtä paljon kuin biokaasulla tai sähköllä liikennöitäessä, ellei käytetä uusiutuvaa biodieseliä.

Ladattavalla hybridillä on saavutettavissa hybridiä suuremmat päästövähennykset, mutta kustannukset ovat hybridiä suuremmat. Ladattavat hybridit näyttäytyvät kokonaiskustannuksiltaan kuitenkin kalleimpana vaihtoehtona. Ladattavat hybridit voivat tulla kuitenkin kyseeseen silloin, jos haluttaisiin sähköistää linjoja, joiden päätepusäkkiajat ovat lyhyet eikä linjoilla ole välttämättä aina riittävästi latausaikaa. Tällöin kustannukset voivat olla kuitenkin edullisemmat siihen nähden, että liikenteeseen lisättäisiin autoja sähköbussiliikenteeseen siirtymisen vuoksi.

Kokonaiskustannusten vertailutulosten esittämisessä ja tulkinnessa on huomioitava, että vertailu on tehty tiettyjä oletuksia ja esimerkkejä käyttäen. Lisäksi vertailussa käytetyt investointi-, käyttö- ja palkkakustannukset ovat yksinkertaistettuja arvioita. Esimerkiksi sähköbussiliikenteessä latauslaitteiden kustannukset voivat vaihdella suuresti riippuen laitteen perustamiseksi tarvittavista rakennus- ja sähköverkollisista toimenpiteistä. Käyttökustannuksiin vaikuttavat merkittävästi bussien energiankulutus sekä dieselin, kaasun ja sähkön hinta. Pienetkin muutokset oletusarvoissa voivat aiheuttaa suuria muutoksia kokonaiskustannusten vertailuun.

5. SUOSITUKSET JA ETENEMISPOLUT KUOPIOSSA

Kuopion kaupunkiseudun päivitetyn linjastosuunnitelman mukaisesti bussiliikenne tullaan kilpailuttamaan viidessä eri kohteessa. Linjastosuunnitelman mukaiset sopimuskohteet on esitetty seuraavassa taulukossa.

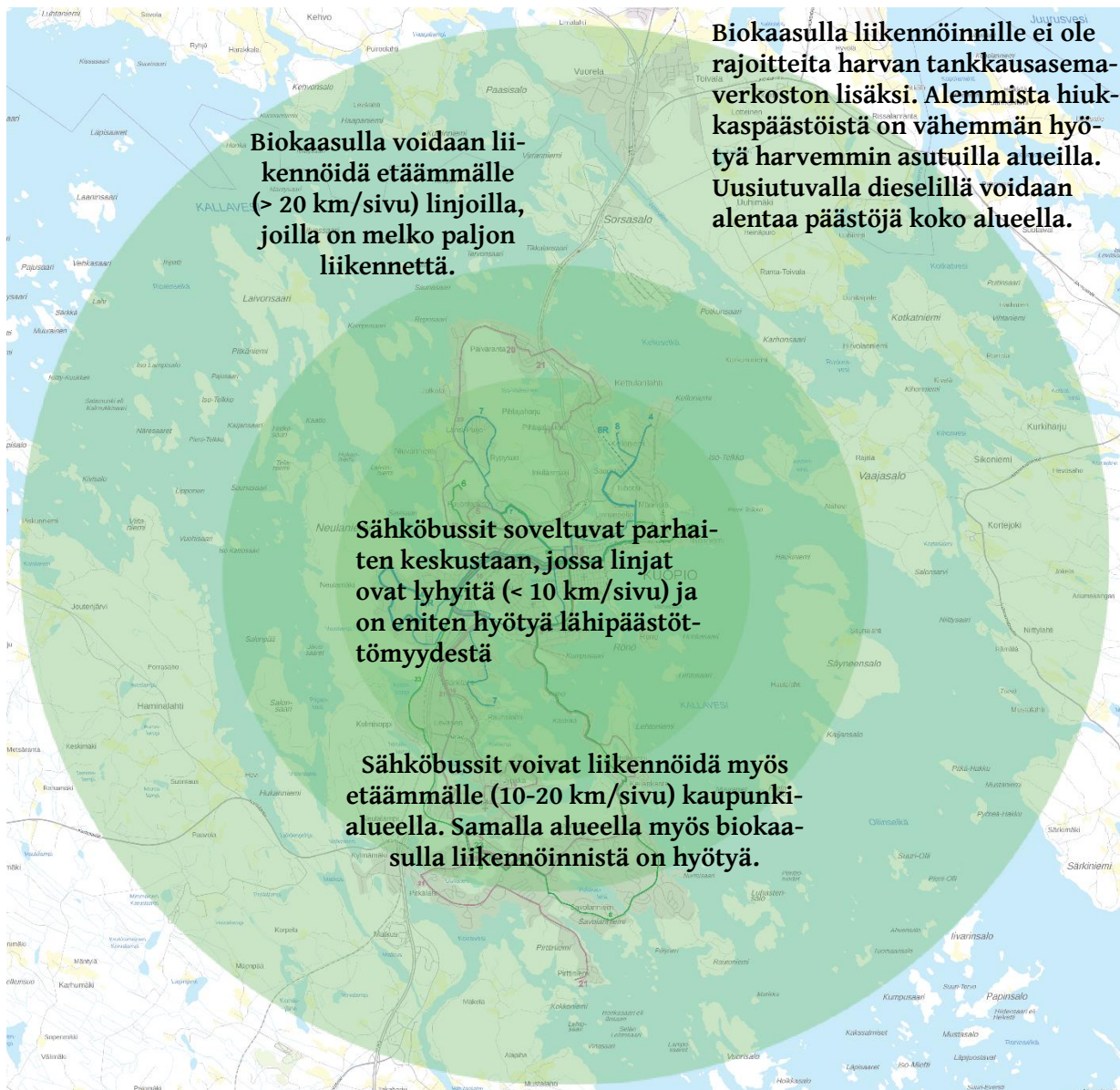
Taulukko 4. Kuopion kaupunkiseudun bussiliikenteen sopimuskohteet.

SOPIMUSKOHDE	LINJAT	KALUSTO-MÄÄRÄ	SOPIMUS ALKAA	SOPIMUS PÄÄTTYY
1	1, 2, 3, 10, 4, 8	13	13.8.2019	12.8.2025
2	7, 9	7	13.8.2021	12.8.2026
3	6X, 16, 20, 21, 22, 25, 29 ja 5 (su)	21	13.8.2021	12.8.2026
4	5 (ei su), 6, 23	14	13.8.2021	12.8.2027
5	30, 31, 32, 35 ja 40	13	13.8.2019	13.8.2024

Vuonna 2019 alkavien liikennöintisopimusten kilpailuttaminen on aloitettava vuoden 2018 lopussa. Näissä kohteissa ei ole vielä mahdollisuutta ottaa käyttöön uusia käyttövoimia. Kuopion seudulla ei ole vielä saatavissa uusiutuvaa dieseliä. Kuopion seudulla ei myöskään biokaasua jalosteta liikennepolttoaineeksi toistaiseksi, vaan tuotanto käytetään lämmön tuotantoon vuoteen 2026 asti. Sähköbussiliikenteen edellyttämiseksi ei ole vielä valmiutta.

Kustannus-, ympäristö-, viihtyisyys- ja matkustajanäkökulmat huomioiden Kuopion keskustassa ja sen tuntumassa liikennöitäville tiheävuorovälisille linjoille soveltuvat parhaiten paikallispäästöttömät ja hiljaiset sähköbussit. Merkittävästi keskusta-alueen ulkopuolelle ulottuvilla pidemmällä linjoilla biodiesel ja biokaasu ovat varteenotettavia käyttövoimavaihtoehtoja. Uusiutuvan biodieselin myötä perinteistä dieseliä ei välttämättä enää tulevaisuudessa tarvita. Liikennöintikustannusten maltillisen kehittymisen kannalta on kuitenkin eduksi, että vuonna 2014 liikenteeseen hankitut bussit kelpaavat seuraavillakin kilpailuttamiskierroksilla ainakin arkipäivien liikenteeseen ruuhka-aikoina ja mahdollisesti ruuhka-aikojen välisessäkin ilta- ja viikonloppuliikennettä tiheämmässä liikenteessä. Nämä aiemmin liikenteeseen käyttöön otetut bussit voivat käyttää myös biodieseliä. Biodieselin käyttöönottoaminen ei vaadi uuden infran rakentamista nykyisen rinnalle. Nykyinen käytössä oleva dieselkalusto voisi käyttää käyttövoimanaan 100 % uusiutuvaa biodieseliä ja on hyvä vaihtoehto toteutettavaksi nopealla aikavälillä seuraavissa tarjouskilpailuissa.

Seuraavassa kuvassa on hahmotettu alueet, joille eri käyttövoimat soveltuvat parhaiten. Suurimmat hyödyt uusista käyttövoimista saadaan pääosin kaupunkimaisessa ympäristössä ja lähiöissä liikennöitävistä linjoista, joilla kertyy paljon linjakilometrejä ja joilla on hyötyä alhaisemmista paikallispäästöistä. Seuraavan kuvan karttaan on merkitty sähköbusseille soveltuvin alue Kuopion kaupunkiliikenteen alueella. Sähköbussit soveltuvat parhaiten kaupunkimaiseen ympäristöön, jossa lähipäästöttömyydestä on suurimmat hyödyt. Ympyrän sisällä kulkevat linjat kulkevat kokonaisuudessaan kaupunkimaisimmassa ympäristössä. Lisäksi ympyrän sisällä kulkevat linjat ovat suotuisampia linjojen pituuden kannalta – esimerkiksi linjat 4 ja 8 ovat noin 12 km/sivu. Vihreän ympyrän ulkopuolelle ulottuvilla linjoilla voidaan myös liikennöidä sähköbusseilla, mutta pidempien sivujen pituuksien vuoksi latausajat ovat myös pidempiä. Ympyrän ulkopuolella kaupunkimaisen asumisen määrä on pienempi ja linjat ajavat pääosin rivi- ja omakotialueilla alueellisia keskuksia lukuun ottamatta.



Kuva 19. Eri käyttövoimille parhaiten soveltuvat vyöhykkeet. Sähköbussien lähipäästötömyydestä suurimmat hyödyt saadaan sisimmän ympyrän alueella. Lisäksi toisen ympyrän kaupunkilinjoilla sähköbussien lähipäästötömyydestä saadaan suuret hyödyt. Biokaasubussien alemmista lähipäästöistä on hyötyä kaupunkimaisilla ja jonkin verran kaupunkialueen ulkopuolelle ulottuvilla linjoilla. Alempien elinkaaren aikaisten CO₂-päästöjen puolesta biokaasun käytöstä on hyötyä koko kaupunkiseudun linjastossa.

Tulevilla kilpailukierroksilla on mahdollista uusien käyttövoimien edellyttäminen. Sähköbussiliikennettä voidaan edellyttää vuonna 2021 alkavassa linjojen 5, 6 ja 23 sopimuksessa siten, että sähköbussilla liikennöitäisiin esimerkiksi linjoja 6 ja 23. Sähköbussiliikenteeseen siirtymistä on valmisteltava yhdessä liikennöitsijöiden kanssa käytävässä markkinavuoropuhelussa. Toisessa vaiheessa vuonna 2026 (tai mikäli optioita käytetään vuonna 2027 tai 2028) sähköbussiliikenteeseen voidaan siirtyä linjoilla 4, 7 ja 8, jotka olisi luontevaa tällöin yhdistää samaan kohteeseen. Kolmannessa vaiheessa linjoilla 16, 20 ja 21 voidaan siirtyä sähköbussiliikenteeseen vuosina 2026–2029. Koska siirtymä sähköbussiliikenteeseen tapahtuu osin melko myöhään, on tulevana vuosina mahdollisuus päivittää etenemispolkua ja tarkentaa sitä uusien tietojen ilmentyessä.

Biokaasun käyttöön voidaan siirtyä siinä vaiheessa, kun alueella tuotetaan riittävä määrä bussiliikenteen tarpeisiin biokaasua. Biokaasulle soveltuvat jonkin verran keskustaan pidemmälle kulkevat linjat. Esimerkiksi linjoja 16, 20 ja 21 voidaan liikennöidä myös biokaasulla. Siilinjärven linjat soveltuvat myös biokaasulle, vaikka niillä on vähemmän hyötyä alhaisemmista pienhiukkaspäästöistä harvemmin asuttujen alueiden vuoksi. Mikäli biokaasuun siirrytään, olisi perusteltua tunnistaa noin 15–20 kaasubussin kokonaisuus, jotta liikennöinti on taloudellisesti kannattavaa.

Uusiutuvan biodieselin käyttöä voidaan edellyttää seuraavilla kilpailuttamiskierroksilla, mikäli jakelu laajenee Kuopion seudulle. Uusiutuvalla biodieselillä voidaan saavuttaa hyvin päästövähennystavoitteita. Mikäli kysyntä kasvaa merkittävästi, voi olla kuitenkin riski hintatason kasvusta.

Uusia käyttövoimia kilpailutettaessa, kilpailutuksen on hyvä alkaa riittävän varhain. Sähköbussiliikennettä kilpailutettaessa tarjouskilpailu on ratkaistava vähintään 12 kk ennen liikennöinnin alkua sähköbussien toistaiseksi pidempien toimitusaikojen vuoksi. Latausasemien sähköverkon edellyttämät toimet on tunnistettava jo ennen kilpailua yhteistyössä sähköverkkoyhtiön kanssa, jotta voidaan varmistua latausasemien rakentamismahdollisuuksista. Tarjousajan on oltava riittävän pitkä, jotta myös liikennöitsijät voivat varmistua sähköverkon kehittämistarpeista varikoille. Vastaavasti biokaasun osalta kilpailutuksen on oltava varhain, jotta tarjoajat voivat tehdä vertailuja ja valintoja, millä tavoin biokaasun tankkaus on perusteltua toteuttaa.

Sopimuskohteiden sisällä linjojen suoritteet ja kalustomäärät jakautuvat seuraan taulukon mukaisesti.

Taulukko 5. Kuopion kaupunkiseudun bussiliikenteen linjatiedot. Taulukosta on korostettu vihreällä linjat, joita on esitetty liikennöitäväksi uusilla käyttövoimilla.

SOPI- MUS- KOH- DE	LINJA	LINJAN SIVUN PITUUS (KM)	KA- LUSTO- MÄÄRÄ	OPE- ROINTI- SÄDE MAX (KM)	LINJA- KM /AUTO /VUOSI	AJANTA- SAUS- AIKA (MIN), YHT./KIER- ROS	HUOM
1	1, 2	5	1	132	34 000		Pienkalustolinja
1	3	5	1	102	25 000		Pienkalustolinja
1	4	12	8	260	93 000	10	Kelloniemessä noin 5 min/kierros, lisäksi keskustassa torilla 2-3 min myös suurten matkustajamäärien vuoksi. Kelloniemessä eri pääte pysäkit linjoilla 4 ja 8, Neulamäessä rengasosuuden vuoksi vain lyhyt pääte-pysäkki aika.
1	8	13	3	245	72 000	10	Kelloniemessä noin 5 min/kierros, lisäksi keskustassa torilla 2-3 min myös suurten matkustajamäärien vuoksi. Kelloniemessä eri pääte pysäkit linjoilla 4 ja 8, Neulamäessä rengasosuuden vuoksi vain lyhyt pääte-pysäkki aika.
1	10	3	0	52	-		Operoi vain kesäisin
2	7	12	3	267	107 000	10	Rypysuon rengasosuuden vuoksi ajantasausaika Rauhalahdessa. Lisäksi torilla mahdollisuus 2-3 min ajantasausaikaan.
2	9	15	4	211	45 000	< 5	Arkisin noin klo 7-17

SOPI- MUS- KOH- DE	LINJA	LINJAN SIVUN PITUUS (KM)	KA- LUSTO- MÄÄRÄ	OPE- ROINTI- SÄDE MAX (KM)	LINJA- KM /AUTO /VUOSI	AJANTA- SAUS- AIKA (MIN), YHT./KIER- ROS	HUOM
3	6X	14	2	125	26 000	<5	Ruuhkalinja vain ruuhkasuuntaan
3	16	14	4	352	110 000	< 5	Linjat 16, 20 ja 21 ajetaan yhteisellä autokierrolla. Su linjat 5 ja 16 ajetaan yhteisellä autokierrolla.
3	20	9	3	313	101 000	< 5	Linjat 16, 20 ja 21 ajetaan yhteisellä autokierrolla. Lisäauto on kohdistettu pisimmälle linjalle 21, jolloin lähtöminuutit voivat olla samoja läpi päivän.
3	21	24	7	319	98 000	< 5	Arjen päiväliikenne on suunniteltu ajettavan yhtä autoa vähemmällä kuin ruuhkassa, mutta sähköbussiliikenteeseen siirryttäessä voidaan myös päiväliikenteeseen lisätä auto, koska siitä ei synny lisäautopäivää.
3	22	17	3	215	53 000	< 5	Yhdellä ruuhka-autolla ajetaan vain yksi lähtö. Liikennöintiäika noin klo 6-17.30.
3	25	-	-	-	-	20	Linjaa liikennöidään aluksi vain sunnuntaisin tunnuksella 31B. Kun Siilinjärven linjat päättyvät Savilahteen Savilahden maankäytön kehittyttyä, perustetaan Matkukseen ja Hiltulanlahteen oma linja.
3	29	14	2	125	30 000		Ruuhkalinja
4	5	19	7	237	84 000	< 5	Su linjat 5 ja 16 ajetaan yhteisellä autokierrolla.
4	6	18	4	381	102 000	20	Linjat 6 ja 23 ajetaan yhteisellä autokierrolla, jotta muodostuu suora yhteys Saaristokaupungista Kolmisoppeen ja ruuhkaliiketeen ulkopuolellakin Savilahteen
4	23	10	3	326	109 000	< 5	Linjat 6 ja 23 ajetaan yhteisellä autokierrolla, jotta muodostuu suora yhteys Saaristokaupungista Kolmisoppeen ja ruuhkaliiketeen ulkopuolellakin Savilahteen

SOPI- MUS- KOH- DE	LINJA	LINJAN SIVUN PITUUS (KM)	KA- LUSTO- MÄÄRÄ	OPE- ROINTI- SÄDE MAX (KM)	LINJA- KM /AUTO /VUOSI	AJANTA- SAUS- AIKA (MIN), YHT./KIER- ROS	HUOM
5	30	30	2	295	62 000	< 5	Siilinjärven linja, pitkiä osuuksia 80 km/h. Molemmat päätepysäkit rengasosuuksilla.
5	31	44	5	340	114 000	10	Siilinjärven linja, pitkiä osuuksia 80 km/h. Ajantasaus Hiltulanlahdessa. Siilinjärven Leppäkaarteella päätepysäkki rengasosuudella.
5	32	28	1	250	52 000	0	Ruuhkalinja suoraan moottoritietä Siilinjärveltä Kuopioon.
5	35	34	3	564	208 000	20	Siilinjärven linja, pitkiä osuuksia 80 km/h. Ajantasaus painottuu Hiltulanlahteen, mutta myös Harjamässä.
5	40	35	2	399	104 000	5	Siilinjärven linja, pitkiä osuuksia 80 km/h. Ajantasaus painottuu Savilahteen, Siilinjärvellä päätepysäkki rengasosuudella.

Ensimmäisessä vaiheessa täyssähköbusseilla liikennöitäviksi linjoiksi suositetaan linjoja 6 ja 23. Linjaa 6 liikennöidään Petosesta Puijonlaaksoon ja linjaa 23 Petosesta Itkonniemeen. Linjoja liikennöidään yhteisellä autokierrolla ja kalustomäärä on yhteensä 7 bussia, joille kertyy linjakilometrejä keskimäärin 105 000 km/bussi/vuosi. Linjat ovat maltillisen pituisia (18 ja 10 km) ja linjoilla on autokierroissa melko paljon aikaa autojen lataukseen.

Linjoilla 6 ja 23 sähköbussiliikenne voidaan toteuttaa joko päätepysäkki- tai varikkolatausta käyttäen. Bussien latausratkaisua ei tarvitse lyödä lukkoon ennen kilpailutusta, mutta molempiin latausvaihtoehtoihin tulee varautua mm. tilavarauksin. Seuraavassa taulukossa on esitetty laskelma linjojen 6 ja 23 sähköbussiliikenteen kustannuksista eri latausvaihtoehdoilla verrattuna dieselbussiliikenteeseen. Laskelma on tehty 10 vuoden käyttöajalla ja päätepysäkkilatauksen osalta laskelmassa on huomioitu yhteensä kolme latausasemaa. Sähköbussiliikenteen aloitus linjoilla 6 ja 23 nostaa liikennöintikustannuksia arviolta noin 5-6 prosenttia.

Taulukko 6. Arvio ensimmäisen vaiheen sähköbussiliikenteen liikennöintikustannuksista eri latausvaihtoehdoilla

	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)			Kokonaiskustannukset (€/10 vuotta)	Vuosikustannukset (€/vuosi)	Kustannusten nousu (%)
	Infra	Kalusto	Energia	Huolto	Akkujen vaihto			
Linjat 6 ja 23								
Diesel	0	1 680 000	0,33	0,20	0,00	18 800 000	1 883 000	0 %
Sähkö (päätepysäkkilataus)	890 000	2 940 000	0,08	0,20	0,05	20 000 000	1 999 000	6 %
Sähkö (varikkolataus)	140 000	2 940 000	0,08	0,20	0,14	19 800 000	1 977 000	5 %

Sähköbussiliikenteen ensimmäinen sopiva aloitusajankohta Kuopiossa olisi linjojen 6 ja 23 seuraavan liikennöintisopimuksen alusta syksyllä 2021. Jotta kilpailutukseen jää riittävästi aikaa, tulisi kilpailutusprosessi käynnistää jo vuoden 2020 alussa.

Seuraavassa vaiheessa täyssähköbussilla liikennöitäviksi linjoiksi suositetaan linjoja 4, 8 ja 7, jotka kaikki liikennöivät keskustan tuntumassa ja pääasiassa kaupunkimaisessa ympäristössä, jossa sähköbussien hyödyt tulevat parhaiten esiin.

Linjat 4 ja 8 liikennöivät keskustan ympärillä Kelloniemestä Neulamäkeen. Linjoja liikennöidään yhteisillä autokierroilla. Linjalla 4 on seitsemän autoa ja linjalla kertyy linjakilometrejä keskimäärin 93 000 km/bussi/vuosi. Linjaa 8 liikennöidään kolmella autolla ja kilometrejä kertyy 72 000 km/bussi/vuosi. Linjalla 4 on yksi ruuhka-auto, jolla ajetaan vain 10 000 km/vuosi. Tämä auto voisi jatkossakin olla dieselkäyttöinen. Ruuhka-auto pois lukien molempien linjojen yhteinen kalustomäärä on 10 bussia ja linjakilometrejä kertyy 97 000 km/bussi/vuosi. Linjoilla 4 ja 8 on yhteinen rengasosuus Neulamäessä, jossa pääte pysäkkiä ei rengasosuuden vuoksi ole. Kelloniemessä linjoilla on eri pääte pysäkit. Suurten matkustajamäärien vuoksi linjat seisovat torilla usein noin 2-3 minuuttia. Linjojen pituudet ovat 12 ja 13 kilometriä.

Myös linjaa 7 liikennöidään pääosin keskustan ympäristössä Rauhalahdesta Rypysuolle. Linjaa liikennöidään kolmella bussilla ja linjakilometrejä kertyy 107 000 km/bussi/vuosi. Linjalla on rengasosuus Rypysuolla, minkä vuoksi pääte pysäkkiä siellä on minimoitu. Rauhalahdessa jää riittävästi pääte pysäkkiä myös latausta silmällä pitäen. Lisäksi linjan varrella Kuopion torilla on noin 2-3 minuutin ajantasausaika. Linjan 7 linjasivun pituus on 12 kilometriä.

Linjoilla 4, 7 ja 8 sähköbussiliikenne voidaan toteuttaa joko pääte pysäkki- tai varikkolatausta käyttäen. Kaikilla kolmella linjalla on rengasosuus linjan toisessa päässä, mikä puoltaisi varikkolatauksen toteuttamista. Seuraavassa taulukossa on esitetty laskelma sähköbussiliikenteen kustannuksista eri latausvaihtoehdoilla verrattuna dieselbussiliikenteeseen. Laskelma on tehty 10 vuoden käyttöajalla ja pääte pysäkkilatauksen osalta laskelmassa on huomioitu yhteensä neljä latausasemaa. Sähköbussiliikenteen aloitus linjoilla 4, 7 ja 8 nostaa liikennöintikustannuksia arviolta noin 6 prosenttia.

Taulukko 7. Arvio toisen vaiheen sähköbussiliikenteen liikennöintikustannuksista eri latausvaihtoehdoilla

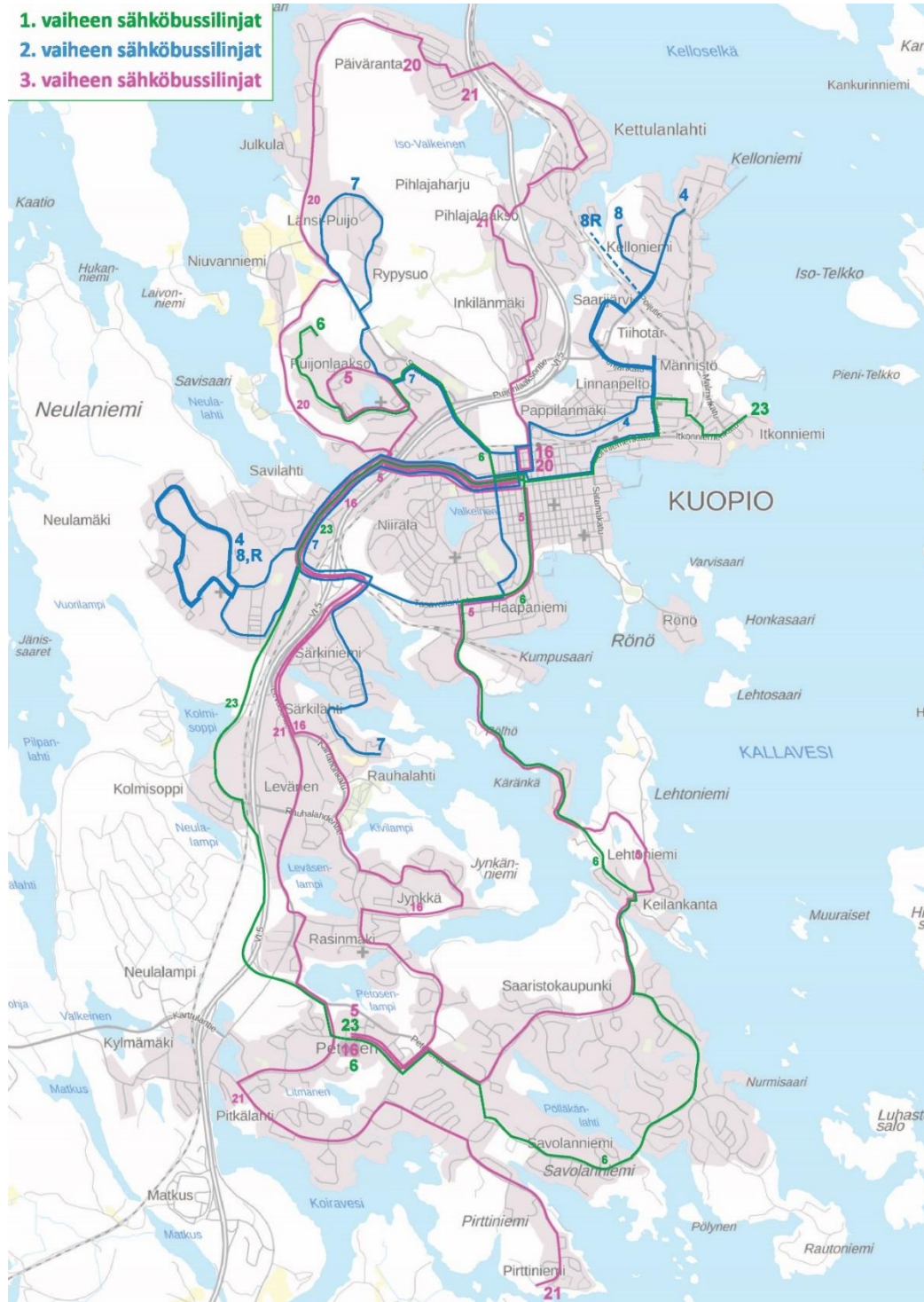
	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)			Kokonaiskustannukset (€/10 vuotta)	Vuosikustannukset (€/vuosi)	Kustannusten nousu (%)
	Infra	Kalusto	Energia	Huolto	Akkujen vaihto			
Linjat 4, 7 ja 8								
Diesel	0	3 120 000	0,33	0,20	0,00	33 300 000	3 334 000	0 %
Sähkö (pääte pysäkkilataus)	1 260 000	5 460 000	0,08	0,20	0,05	35 200 000	3 520 000	6 %
Sähkö (varikkolataus)	260 000	5 460 000	0,08	0,20	0,15	35 300 000	3 527 000	6 %

Rengasosuudet kaikkien esitettyjen linjojen toisessa päässä puoltavat varikkolatausta, mutta lataus on järjestettävissä myös pääte pysäkkilatauksena siten, että Rauhalahden (linja 7) ja Kelloniemen (linjat 4 ja 8) pääte pysäkkien lisäksi latauslaite on Kuopion torin ajantasauspysäkillä. Tällöin ensisijaisesti lataus tapahtuisi linjan pääte pysäkillä, mutta tilanteen mukaan olisi mahdollista ladata myös linjan varrella, jos linja joutuu muutoinkin odottamaan pysäkillä ajantasauksen tai matkustajien suuren vaihtuvuuden vuoksi.

Linjojen 4 ja 8 uusi liikennöintisopimus alkaa syksyllä 2019 ja sopimus päättyy elokuussa 2025. Vuosi 2019 tulee sähköbussiliikenteen aloituksen kannalta liian nopeasti, joten sähköbussiliikenteen aloitus olisi siten vasta seuraavan kilpailutuksen myötä elokuussa 2025. Linja 7 seuraisi sitten perässä vuotta myöhemmin vuonna 2026. Linjat voidaan siirtää myös samaan kohteeseen, jotta ko. sähköbussilinjat ovat samassa kohteessa.

Myöhemmin sähköbussiliikennettä voidaan laajentaa myös linjalle 5 sekä linjoille 16, 20 ja 21. Myös näille linjoille kertyy paljon linjakilometrejä/bussi ja linjoja liikennöidään suurilta osin kaupunkimaisessa ympäristössä. Linjat 16, 20 ja 21 ulottuvat kuitenkin pidemmälle ja linjoilla on yhteisiä autokierroja. Linja 5 on melko pitkä, linjan toisessa päässä on rengasosuus ja linjalla jää vain vähän latausaikaa

linjan toiselle päätepysäkille. Näiden syiden vuoksi edellä mainituilla linjoilla sähköiseen liikenteeseen ei ole vielä todennäköisesti tarkoituksenmukaista siirtyä vuonna 2021, vaan vasta seuraavan sopimuskauden alusta noin vuosina 2026-2028. Koska linjat ulottuvat pidemmälle, voidaan linjoilla harvita myös biokaasun käyttämistä. Vuonna 2026 on mahdollisesti Kuopion seudulla tuotettua biokaasua käytettävissä.



Kuva 20. Kuopiossa sähköbussilla liikennöitäväksi suositellut linjat vaiheittain.

Linjapituudeltaan pitkille Siilinjärven linjoille eivät sähköbussit sovellu erityisen hyvin, kun linjoja ajetaan pääasiassa kaupunkiympäristön ulkopuolella, linjat ovat pitkiä ja linjoilla on pidempiä korkean nopeusrajoituksen alueita. Ympäristönäkökohdat huomioiden näillä linjoilla dieselbussit voidaan kuitenkin korvata biokaasubusseilla tai perinteisen dieselin sijasta busseissa voidaan vaatia käytettäväksi ympäristöystävällisempää biodieseliä. Siilinjärven linjat sisältävä sopimuskohte 5 alkaa olla riittävän suuri kokonaisuus kustannustehokkaalle biokaasua käyttävälle kaasubussiliikenteelle. Kohde edellyttää 13 bussia ja linjakilometrejä kertyy noin 121 000 km/bussi/vuosi. Kohteen 5 syksyllä 2019 alkava liikennöintisopimus päättyy tällä tietoa vuonna 2024 (+ mahdollinen optio), mikä olisi aikaisin aloitusajankohta kaasubussiliikenteelle. Siilinjärven linjojen osalta biokaasulla liikennöittäessä tulee hyväksyä noin 6 % liikennöintikustannusten nousu verrattuna perinteisellä dieselillä liikennöintiin. Kuopiossa ei ole tällä hetkellä liikennekäyttöön riittävää biokaasun tuotantoa. Gasumilla on sopimus biokaasun käytöstä sähkön ja lämmön tuotantoon 2026 saakka.

Taulukko 8. Arvio Siilinjärven linjojen liikennöintikustannuksista biodieselillä ja biokaasulla

	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)			Kokonaiskustannukset (€/10 vuotta)	Vuosikustannukset (€/vuosi)	Kustannusten nousu (%)
	Infra	Kalusto	Energia	Huolto	Akkujen vaihto			
Kohde 5 (linjat 30, 31, 32, 35 ja 40)								
Diesel	0	3 120 000	0,33	0,20	0,00	39 600 000	3 958 000	0 %
Biodiesel	0	3 120 000	0,36	0,20	0,00	40 100 000	4 010 000	1 %
Biokaasu	1 465 000	3 510 000	0,30	0,25	0,00	42 100 000	4 213 000	6 %

Sähkö- ja kaasubussiliikenteeseen siirtymisen ohella ympäristöystävällisyyttä voidaan edistää Kuopiossa edellyttämällä toisen sukupolven biodieselien käyttöä kaikilla kilpailutettavilla dieselbussilinjoilla ja. Tällöin tulee varautua noin 1 % liikennöintikustannusten nousuun. Myös linjojen nopeuttamistoimet, kuten liikennevaloetudet vaikuttavat omalta osaltaan bussiliikenteen kustannuksiin ja ympäristöystävällisyyteen, kun liikennevaloissa odottaminen sekä kiihdytykset ja jarrutukset vähenevät.

ETENEMISPOLKU

- 1) Uusiutuvan dieselin käytöstä annetaan lisäpisteitä seuraavilla kilpailuttamiskierroksilla
- 2) Liikennettä seuraavan kerran kilpailuttaessa vuonna 2021 tai 2022 edellytetään sähköbussseja (6 sähköbussia)
- 3) Saatujen kokemusten perusteella sähköbussiliikennettä voidaan lisätä vuodesta 2025 alkaen.
- 4) Biokaasua käyttävään kaasubussiliikenteeseen voidaan siirtyä vuonna 2026, mikäli biokaasua jalostetaan tällöin Kuopion seudulla liikennekäyttöön.
- 5) Ennen kilpailutuksia liikennöitsijöiden kanssa käydään aktiivista vuoropuhelua.

Etenemispolkua voidaan päivittää ja tarkentaa uusien tietojen ilmestyessä.

LÄHTEET

- Selvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2017
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-21_selvitys_sahkobussien_web.pdf
- Jatkoselvitys sähköbussien edistämiseksi suomalaisilla kaupunkiseuduilla - Toimijoiden näkemykset, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 23/2018
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2018-23_jatkoselvitys_sahkobussien_web.pdf
- Espoon sähköbussikokemukset, Linja 11 Tapionaukio–Friisilänaukio
- Käyttövoimaselvitys Lahden hyötyajoneuvoliikenteen tarpeisiin, Lahden kaupunki, 2015
- Tieliikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaali Kuopion seudulla, Tapio Kettunen
- Hybridibussit - kokemuksia käyttöönotosta, liikennöinnistä ja energiankulutuksesta
- ZeEUS eBus Report – An overview of electric buses in Europe
<http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>
- Neste (2018). Neste MY uusiutuva diesel™ – Sinun panoksesi ilmastotalkoisiin (viitattu 4.10.2018): <https://www.neste.fi/artikkeli/neste-my-uusiutuva-dieseltm-sinun-panoksesi-ilmastotalkoisiin>
- Well-to-Wheel analysis of fossil energy use and greenhouse gas emissions for conventional, hybrid-electric and plug-in hybrid-electric city buses in the BRT system in Curitiba, Brazil
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920917300214>
- Fuel and Technology Alternatives for Buses - Overall Energy Efficiency and Emission Performance
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T46.pdf>
- UPM (2018). Hyviä tuloksia UPM:n puupohjaisen dieselin käytöstä bussiliikenteessä (viitattu 4.10.2018):
<https://www.upmbiofuels.com/fi/ajankohtaista/uutiset/2016/11/hyvia-tuloksia-upmn-puupohjaisen-dieselin-kaytosta-bussiliikenteessa/>
- Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset
http://www.transsmart.fi/files/297/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipaastojen_vahentaminen_vuoteen_2030_Kayttovoimavaihtoehdot_ja_niiden_kansantaloudelliset_vaikutukset._VTT-R-00752-15.pdf