

Hämeenlinnan henkilö- ja joukkoliikenteen käyttövoimaselvitys

Raportti



8.10.2019

TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja päästöjen vähentämiseksi on selvitetty linja-autoliikenteen uusia, ympäristöystävällisempiä käyttövoimavaihtoehtoja. Päästöjen vähentämistavoitteiden vuoksi on tullut tarve tutkia vaihtoehtoisia bussiliikenteen käyttövoimia. EU:n komission ehdotus puhtaista ajoneuvoista julkisissa hankinnoissa edellyttää, että jatkossa merkittävä osa liikenteestä on sähköistä tai biopolttoaineita hyödyntävää. Tavoitteet on asetettu valtioittain ja jäsenvaltiot päättävät direktiivin soveltamisesta. Siten kaikilla kaupunkiseuduilla ei esimerkiksi ole tarvetta välttämättä liikennöidä sähköbussilla. Työssä on tarkennettu aiempia Kuopion, Jyväskylän ja Oulun käyttövoimaselvityksiä sekä sovellettu näitä Hämeenlinnan joukkoliikenteen toimintaympäristöön.

Hämeenlinnan kaupunkijoukkoliikennettä liikennöidään 21 bussilla, joiden suorite on noin 1,6 milj. linjakm/v. Lisäksi Hämeenlinna tilaa seutuliikennettä, joista suurimmat kohteet ovat Tervakosken seudulla (4 bussia) ja Lammi-Lahti (4 bussia).

Uusiutuvaa biodieseliä valmistetaan kasvi- ja puupohjaisesta selluloosasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä. Hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin fossiilisen dieselin. Dieseliä 10 % kalliimpaa uusiutuvaa biodieseliä voidaan käyttää kaikissa dieselbussissa. Julkisessa keskustelussa on noussut esille epävarmuus uusiutuvan dieselin riittävydestä ja hintatason kehittymisestä. Toisaalta tuotantomäärät ja jakelijoiden määrä todennäköisesti kasvavat markkinan kasvaessa.

Biokaasubussien (CBG) hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin dieselbussien. Typenoksi- ja pienhiukkaspäästöt ovat samalla tasolla kuin dieselbussissa. Merkittävä hyöty on, että raaka-biokaasua (metaania) muodostuu yhdyskuntajätteen ja jätevedenpuhdistamoiden lietteiden mädätyksessä joka tapauksessa. Biokaasun polttaminen ehkäisee kasvihuoneilmiötä, koska palamisreaktiossa metaani muuttuu vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi. Hämeenlinnassa tällä hetkellä Kierotkapulan biojätteistä St1 tuottaa bioetanolia ja jäljelle jäävästä massasta biokaasua.

Sähkö on merkittävässä määrin yleistymässä kaupunkien linja-autoliikenteessä. Täyssähköbussuja 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 lähipäästöttömyys, hiljaisuus ja pienet käyttökustannukset.

Uusiutuvan dieselin etuna on, että hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää noin 80–90 % nykyistä kalustoa käyttäen. Biokaasubussiliikenteeseen siirryttäessä isoimmat kustannukset aiheutuvat tankkausaseman rakentamisesta. Hämeenlinnassa on kattava kaasuputkiverkosto, minkä vuoksi vaihtoehtoja ovat käytännössä liittymän rakentaminen tai kaasun tuonti konteilla. Kaasun tankkausaseman hinta on pelkällä pikatankkauksella 1,0 milj. €. Jos rakennetaan lisäksi hidastankkauspaikat, on kokonaishinta noin 1,1–1,3 milj. €. Sähköbussiliikenteessä isoimmat kustannukset aiheutuvat korkeasta kaluston hankintahinnasta (noin 420 000 euroa) ja latausasemien rakentamisesta (noin 250 000 euroa/latausasema). Pienillä liikennemäärillä tehokkaampaa on käyttää vain varikkojen hidaslatausta. Uuteen käyttövoimaan siirryttäessä olisi luontevaa pidentää liikennöintisopimusten kestoja noin 10 vuoteen suurempien investointikustannusten vuoksi. Eri käyttövoimia arvioitaessa tärkeä näkökulma on myös linja-autoliikenteen käytettävyyden poikkeustilanteissa eri käyttötarkoituksissa.

Liikenne voidaan kilpailuttaa siten, että edellytetään tiettyä käyttövoimaa tai antamalla lisäpisteitä eri käyttövoimien päästöjen mukaan. Uusia mahdollisuuksia voi tuoda esimerkiksi ns. ranskalainen urakka, jossa hinta on annettu ja kilpailu tapahtuu esimerkiksi kaluston laatuun perustuen. Uusiutuva biodiesel lisää liikennöintikustannuksia noin 2 prosenttia. Biokaasuun ja sähköön siirtyminen lisää liikennöintikustannuksia 7–15 prosenttia. Uusiin käyttövoimiin kannattaa siirtyä vasta riittävän suurilla liikennöintikokonaisuuksilla. Sähköbussien osalta noin 10 prosentin taso saavutetaan jo noin kahdeksalla bussilla. Biokaasuun siirryttäessä riittävä kokonaisuus saavutetaan noin 15 bussilla, jos varikkojen vieressä ei ole ennalta biokaasun tankkausasemaa.

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. Lisäksi EU:n komission ehdotus puhtaista ajoneuvoista julkisissa hankinnoissa edellyttää, että jatkossa merkittävä osa liikenteestä on sähköistä tai biopolttoaineita hyödyntävää. Tavoitteet on asetettu valtioittain ja jäsenvaltiot päättävät direktiivin soveltamisesta.

Hämeenlinnan kaupunki on strategiassaan ottanut tavoitteikseen vaihtoehtoisten energiaratkaisujen lisäämisen liikenteessä sekä joukkoliikenteen matkamäärän kehittämisen.

Työtä on ohjannut projektiryhmä, johon ovat kuuluneet:

Kim Venesjärvi

Mirella Bitter

Jenni Sabel

Niklas Lähteenmäki

Ismo Hannula

Outi Myllymaa

Anne Horila

Tuomo Kojo

Hämeenlinnan kaupunki

Hämeenlinnan kaupunki

Hämeenlinnan kaupunki

Hämeenlinnan kaupunki

Hämeenlinnan kaupunki

Suomen kasvukäytävä -verkosto

Suomen kasvukäytävä -verkosto

Linja-autoliitto

Konsulttina työssä on toiminut WSP, jossa työstä ovat vastanneet Simo Airaksinen, Antti Kataja ja Mikko Suhonen.

Työ on alkanut helmikuussa 2019 ja on valmistunut huhtikuussa 2019.

Työssä on haastateltu liikennöitsijöitä ja kalustovalmistajia. Haastatteluilla on selvitetty, millä edellytyksillä liikennöitsijät voivat aloittaa liikennöinnin uudella käyttövoimalla ja minkälaiset näkemykset kalustovalmistajilla on kilpailukokonaisuuden järjestämisestä. Liikennöitsijöistä on haastateltu Inter Kuljetuksen, Koiviston Auton, Länsilinjojen, Pekolan Liikenteen ja Vekka Liikenteen edustajia. Kalustovalmistajista on haastateltu Scanian, VDL:n ja Volvon edustajia. Lisäksi työssä on haastateltu ABB:n, Elenian ja Gasumin edustajia.

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 biodiesel).
Biokaasu	Liikennepolttoaineeksi jalostettua raakabiokaasua. Biokaasu on uusiutuva energianlähde. Biokaasua pidetään uusiutuvana energianlähteenä, koska se syntyy yhdyskuntajätteen (mm. kotitalouksien biojäte) ja jätevedenpuhdistamoiden lietteiden mädätyksessä muodostuvasta raakabiokaasusta.
EEV	Kevytrakenteinen Euro 5-päästöluokan dieselbussi
HVO	Kts. uusiutuva biodiesel
Hybridibussi	Bussi, jonka käyttövoimana on sekä sähkö että dieselpolttoaine ja energiavara- rastona 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 rakkaassa 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 päätepysäkeillä.
Polttokenno	Hybridibussi, jossa on vedystä saatavan sähkön avulla käytettävä sähkömoottori. Sähköä tuotetaan polttokennossa tapahtuvan sähkökemiallisen reaktion avulla vedystä. Polttokennobussissa on useimmiten lisäksi akku tai superkondensaattori.
Päätepysäkkilataus	Sähköbusiliikenteen järjestämistapa, jossa sähköbusseja ladataan päivän aikana linjan varrella ja lähtökohtaisesti myös bussivarikolla yön aikana

Raakabiokaasu	Yhdyskuntajätteen (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 biodiesel	Toisen sukupolven biodieseliä eli uusiutuvaa biodieseliä voidaan käyttää tavallisissa dieselmootoreissa sellaisenaan tai yhdessä fossiilisen dieselin kanssa. Uusiutuvaa biodieseliä valmistetaan kasvi- ja puupohjaisesta sellulosaasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä. Uusiutuva biodiesel tarkoittaa samaa kuin uusiutuva diesel (HVO)
Varikkolataus	Bussivarikolla suoritettava sähköbussin lataus. Sähköbussiliikenne voi perustua myös pelkkään varikkolataukseen, jolloin se on toinen sähköbussiliikenteen järjestämistapa päätepusäkkilatauksen ohella.
Vetybussi	kts. polttokenno
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 Hämeenlinnassa	8
2.	Käyttövoimavaihtoehtojen kuvaus	10
2.1.	Diesel	10
2.2.	Biokaasu	13
2.3.	Sähkö.....	20
2.4.	Helsingin, Tukholman ja Oslon tavoitteet.....	32
3.	Käyttövoimien vaikutukset bussiliikenteeseen ja kilpailutukseen	34
3.1.	Yleiset vaikutukset	34
3.2.	Huomioitavia asiat poikkeusoloissa.....	38
3.3.	Diesel	39
3.4.	Biokaasu	40
3.5.	Sähkö.....	40
3.6.	Roolit	42
4.	Haastattelut	44
4.1.	Liikennöitsijöiden haastattelut	44
4.2.	Kalustovalmistajien haastattelut.....	47
5.	Käyttövoimavaihtoehtojen vertailu	48
5.1.	Päästöt ja kustannukset.....	48
5.2.	Kooste käyttövoimien eduista ja haasteista.....	54
5.3.	Kokonaiskustannusten vertailu.....	56
6.	Suosituksukset ja etenemispolut Hämeenlinnassa	61
6.1.	Lähtökohdat	61
6.2.	Etenemispolku	64
	Lähteet	66

1. TYÖN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

1.1. Työn tausta ja tavoitteet

Ilmastomuutoksen hillinnän sekä päästöjen vähentämistavoitteiden vuoksi on ollut tarve tutkia joukkoliikenteen eri käyttövoimavaihtoehtoja. Ilmastomuutoksen hillinnän sekä päästöjen vähentämistavoitteiden vuoksi on ollut tarve tutkia joukkoliikenteen eri käyttövoimavaihtoehtoja. Hämeenlinnan kaupunginhallitus päätti 21.1.2019 käynnistää Hiilineutraali Hämeenlinna -toimeenpano-ohjelman valmistelun. Ohjelma valmistuu vuoden 2019 aikana. Liikenteen kokonaisuus on keskeinen osa kaupungin päästötavoitteita, sillä liikenteen osuus on Hämeenlinnan päästöistä suurin (41,6 % vuonna 2016). Moottoritien vaikutus Hämeenlinnassa on merkittävä, sillä moottoritiestä aiheutuvien päästöjen osuus liikenteen päästöistä on noin 20–25 %. Joukkoliikenne Hämeenlinnassa on kaupungin hankimaa, jolloin kaupungilla on suora vaikutusmahdollisuus joukkoliikenteen päästöihin.

Euroopan unionin (EU) komissio on antanut ehdotuksen Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä annetun direktiivin 2009/33/EY muuttamisesta. Suomea koskevaksi tavoitteeksi direktiivissä on ehdotettu, että vuodesta 2021 vuoteen 2025 solmittujen hankintasopimusten kalustosta vähintään 41 % olisi puhdasta kalustoa siten, että näistä vähintään puolet on sähköbusseja ja loput vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäviä. Vuodesta 2026 vuoteen 2030 solmittujen sopimusten kalustosta yhteensä vähintään 59 % olisi puhdasta kalustoa siten, että näistä vähintään puolet on sähköbusseja ja loput vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäviä. Vaatimukset koskevat vain kaupunkibusseja eli busseja, joissa on seisomaikkoja. Direktiivin perusteluissa suositellaan käyttämään puhtaita ajoneuvoja erityisesti alueilla, joissa pakokaasu- ja melupäästöt haittaavat. Toimeenpanossa on mahdollista huomioida alueelliset erot talouden kantokyvyssä, ilmanlaadussa, asukastiheydessä, liikennejärjestelmässä vähäpäästöisen liikenteen edistämistoimissa.

Hämeenlinna on käynnistänyt Hiilineutraali Hämeenlinna -toimeenpano-ohjelman. Kaupungilla on suora mahdollisuus vaikuttaa tilaamansa liikenteen päästöihin. EU-komission ehdotus puhtaista ja energiatehokkaista ajoneuvoista edellyttää nykyistä ympäristöystävällisempiä ratkaisuja.

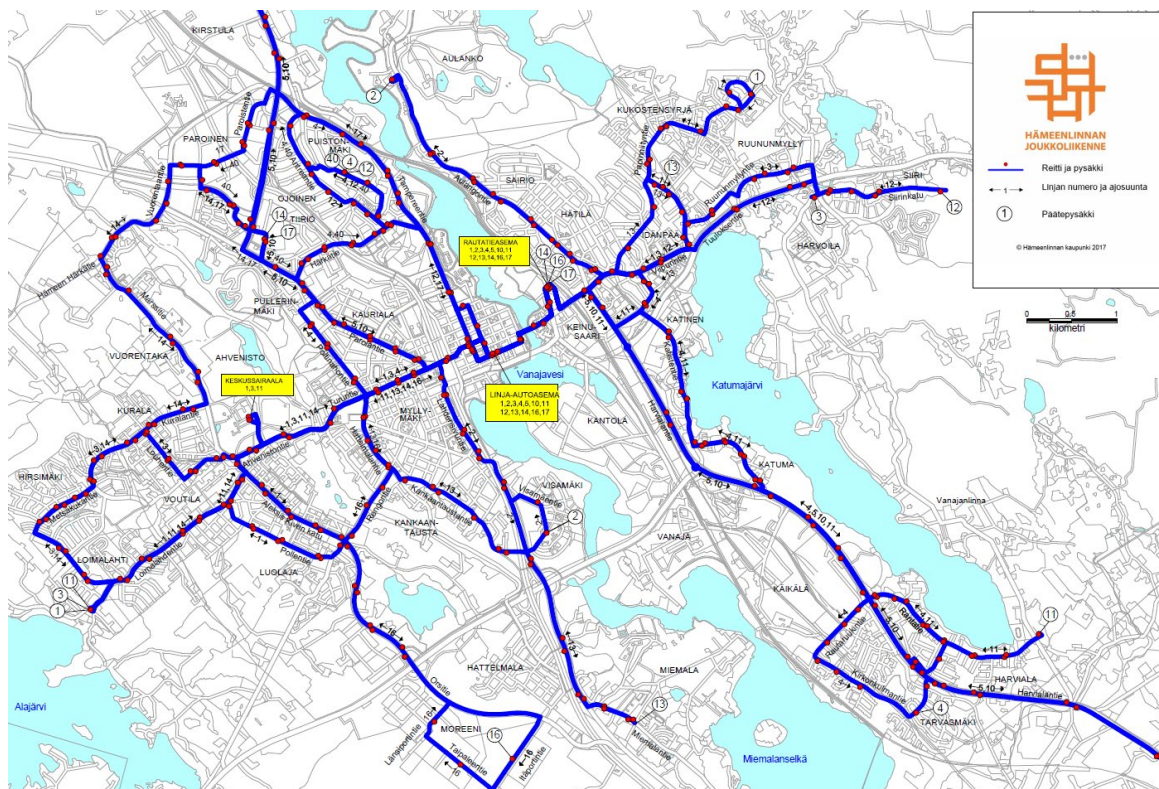
Käyttövoimaselvityksessä tavoitteena on ollut tutkia yleisellä tasolla eri käyttövoimavaihtoehtojen (sähkö, kaasu, biodiesel, vety) soveltuvuus kaupunkiliikenteen bussien käyttövoimana. Lisäksi tavoitteena on ollut vertailla eri käyttövoimavaihtoehtoja päästöjen ja kokonaiskustannusten näkökulmasta.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

Selvitettyjä asioita:

- Käyttövoimavaihtoehtojen yleinen soveltuvuus linja-autoliikenteeseen sekä käyttövoimien soveltuvuus Hämeenlinnan joukkoliikenteeseen.
- Käyttövoimien rooli päästötavoitteiden saavuttamisessa ja mahdollisuudet korvata nykyistä dieselbussiliikennettä.
- Käyttövoimien saatavuus Hämeenlinnan seudulla sekä jakeluverkon nykytilanne ja laajennettavuus
- Käyttövoimien jakeluverkon tai sähköverkoston rakentamisesta ja laajentamisesta aiheutuvat kustannukset ja vastuut eri osapuolten kesken.

- Käyttövoimien vaikutukset liikenteen hankintaan.
- Käyttövoimien päästöjen aleneman hyödyt suhteessa kustannuksiin sekä eri käyttövoimien vaikutukset kokonaiskustannuksiin.
- Vaihtoehdot eri toimijoiden rooleista (tilaajan ja liikennöitsijän vastuut isoista investoinneista) eri käyttövoimavaihtoehdoissa.
- Nykyisten liikenteenharjoittajien näkemykset, tavoitteet ja valmiudet uusiin käyttövoimiin.
- Suositukset ja etenemispolut joukkoliikenteen päästöjen pienentämiseksi.
- Linja-autokaluston tehtävät yhteiskunnan toimivuuden varmistamisessa poikkeusoloissa

1.2. Joukkoliikenne Hämeenlinnassa



Kuva 1. Hämeenlinnan linjakartta.

Hämeenlinnan seudun kaupunkiliikenne on kilpailutettu kuutena sopimuskohteena. Vanhoista sopimuksista yhdessä kohteessa (6 autoa) on käytössä kolmen vuoden optiokausi, joka päättyy kesällä 2020. Kaikkiaan kaupunkiliikenteen liikennöintiä hoidetaan 21 autolla, jotka ajavat yhteensä noin 1,6 miljoonaa linjakilometriä vuosittain. Seuraavassa taulukossa on esitetty Hämeenlinnan liikenteen jakautuminen kohteittain.

Hämeenlinnan kaupunkiliikennettä liikennöidään 21 bussilla.

Taulukko 1. Hämeenlinnan kaupunkiseudun bussiliikenteen sopimuskohteet

SOPIMUSKOHDE	LINJAT	KALUSTO-MÄÄRÄ	SOPIMUS ALKAA	SOPIMUS PÄÄTTYY	OPTIOKAUDEN PITUUS
Kohde 1	5, 10	5	4.6.2017	3.6.2023	4 v
Kohde 2	2	2	4.6.2017	4.6.2022	3 v
Kohde 3	4, 12, 40	4	4.6.2017	4.6.2022	3 v
Kohde 4	13	1	4.6.2017	30.5.2020	2 v
Kohde 5	14, 16, 17	3	4.6.2017	30.5.2020	2 v
Kohde 6	1, 3, 11	6	Optiokausi käytössä	30.5.2020	(3 v)

Näiden lisäksi on laajemmalle Hämeenlinnan alueelle ulottuvaa seutuliikennettä, joka ei kaikilta osin ole potentiaalista kohdealueita vaihtoehtoisille käyttövoimille. Uusia käyttövoimia kannattaa erityisesti alkuvaiheessa ottaa käyttöön linjoilla, joilla on paljon liikennettä, ja hankittu kalusto saadaan täysimääräisesti hyödynnettyä. Seutuliikenteen osalta suurimpia kohteita ovat Tervakosken seudun kohde (4 autoa), Hämeenlinna–Lammi–Lahti-kohde (4 autoa), Hämeenlinna–Renko (2 autoa) sekä Hämeenlinna–Iittala (2 autoa). Uusien käyttövoimien suhteen haasteena ovat, että autokierrot saattavat alkaa eri päistä, eivätkä varikot ole samalla paikkakunnalla. Lisäksi liikenne on vähäistä mittakaava-edun saamiseksi biokaasu- ja sähköbussiliikenteessä. Hiilidioksidipäästöjen alenemisesta on etua kaikkialla, mutta lähipäästöjen vähentymisestä on vähemmän hyötyä kaupunkialueiden ulkopuolella. EU-komission ehdotus puhtaista ajoneuvoista julkisissa hankinnoissa jättää ainakin nyt annetussa ehdotuksessa direktiivin ulkopuolelle muut kuin kaupunkiliikenteen bussit.

Uusien käyttövoimavaihtoehtojen pohdinta on tärkeää ympäristönäkökohdista. Lisäksi joukkoliikenteen imago paranee ja hyvin markkinoituna uusi käyttövoima voi kasvattaa myös joukkoliikenteen kulkutapaosuutta. Matkustajan kokemus joukkoliikenteestä on kokonaisvaltainen, ja siihen vaikuttaa käyttövoiman lisäksi moni muukin tärkeä osatekijä. Tarkoituksenmukainen ja selkeä linjasto, riittävän lyhyet vuorovälit ja odotusajat, liikennöinnin nopeus ja luotettavuus, bussien ja pysäkkien siisti yleisilme sekä ystävällinen ja asiantunteva asiakaspalvelu luovat houkuttelevuutta joukkoliikenteeseen. Näiden lisäksi matkaketjujen toimivuus ja ”first ja last mile”-ongelman, eli sujuvien yhteyksien pysäkillä ja pysäkiltä matkan lopulliseen kohteeseen, huomioiminen.

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 hyvin pitkällä aikavälillä rajallista. Lähivuosikymmenten aikana dieselöljyn saatavuus on kuitenkin erinomainen.



Kuva 2. 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 melko vakiintuneita ja ennustettavia, joten dieselbussille voidaan arvioida jälleenmyyntiarvo.

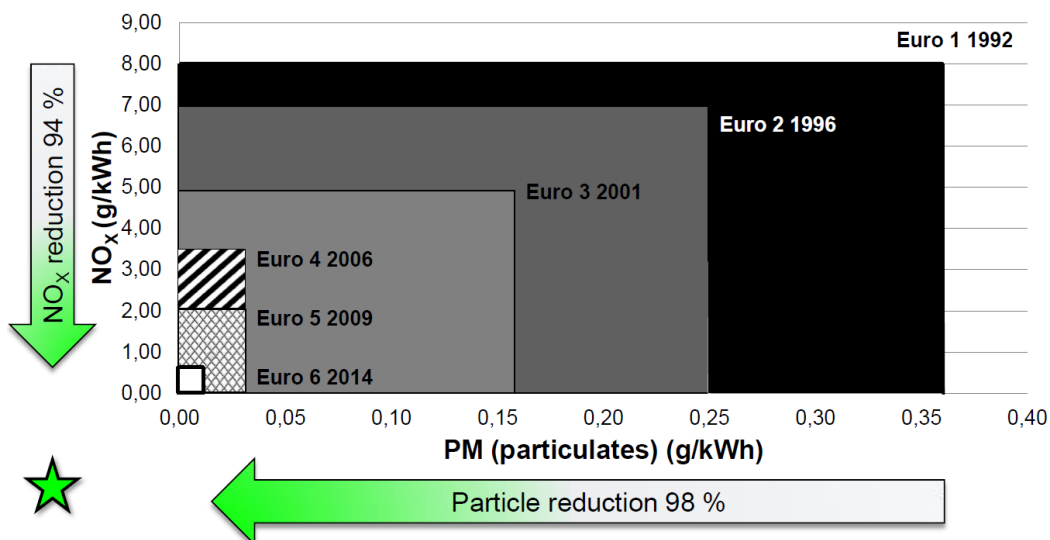


Kuva 3. Dieselbussi liikenteessä HSL-alueella (Kuva: VDL)

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 minutteja. 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 kasvihuonekaasupäästöjä. Nykyisissä EURO 6 -päästöluokan dieselbussissa typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt ovat vanhempiin dieselbussisiin verrattuna selkeästi vähäisempiä (Kuva 4).



Kuva 4. Euro -päästöluokkien päästöt (Kuva: Scania)

Diesalbussit 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 diesalbussin 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.

Tässä raportissa on tarkasteltu käyttövoimavaihtoehtojen yhteydessä vain toisen sukupolven uusiutuvaa biodieseliä, jota voidaan käyttää tavallisissa dieselmootoreissa sellaisenaan tai yhdessä fossiilisen dieselin kanssa. Uusiutuvaa biodieseliä valmistetaan kasvi- ja puupohjaisesta selluloosasta sekä jätteistä ja ruoantähteistä, joita ovat mm. elintarviketeollisuuden eläinrasvajäte ja kalarasvajäte, kasviöljytuotannon jätteet ja tähteet, käytetty paistorasva ja tekninen maissiöljy (etanolitutuotannon tähde) (Neste 2019). 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). UPM:llä ei ole omaa jakeluverkostoa, vaan BioVernoa myyvät muut jakelutoimittajat joko fossiiliseen dieselpolttoaineeseen sekoitettuna tai sekoittamattomana erillisenä tuotteena. Lisäksi Ruotsissa uusiutuvaa biodieseliä tuottavat Preem ja St1. Suomessa uusiutuvaa biodieseliä myyvät Neste (Neste MY) ja Teboil (Green+).

Uusiutuvan biodieselin jakelu on laajentumassa ja Hämeenlinnassa Neste MY uusiutuvaa biodieseliä on saatavilla Jukolan Neste Expressiltä. Hyvinkään Liikenne on maaliskuusta 2017 alkaen hoitanut koko liikenteensä Nesteen MY uusiutuvalla biodieselillä. Hyvinkään paikallisliikennettä liikennöidään 7 bussilla ja 3 vara-autolla. Härmän Liikenne Seinäjoella on siirtynyt syksyllä 2018 kokonaan uusiutuvan biodieselin käyttöön. Porin Linjat on puolestaan helmikuusta 2019 alkaen käyttänyt Teboilin Green+ uusiutuvaa biodieseliä. Uusiutuvan biodieselin hinta on noin 10–12 prosenttia fossiilista dieseliä kalliimpaa. Uusiutuvan biodieselin energiasisältö on jonkin verran fossiilista dieseliä alhaisempi, minkä vuoksi kulutus on suurempi. Uusiutuvan biodieselin kulutus on fossiilisen dieselin talviladun suuruista. Uusiutuva biodiesel palaa jonkin verran puhtaammin, minkä myötä typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt alenevat. Päästövähennys on suurempi alemmilla ja vanhemmilla Euro-päästöluokilla ja pienempi uusissa Euro 6 -luokan ajoneuvoissa. Uusiutuva biodiesel ei sisällä myöskään lainkaan ilmakehän happamoitumista ja hengitysteiden ärsytystä lisäävää rikkiä.

Uusiutuvan biodieselin well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 80–90 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Uusiutuva biodiesel palaa perinteistä dieseliä puhtaammin, minkä myötä lähipäästöt alenevat varsinkin vanhemmassa, alemman Euro -päästöluokkien busseissa.

Uusiutuvan biodieselin käyttöön siirtymisen haasteeksi on tunnistettu raaka-aineiden riittävyys ja epävarmuus hintatason kehittymisestä. Uusiutuvan biodieselin vuosittaisen tuotannon on ennakoitu kasvavan EU-alueella 20 milj. tonniin vuoteen 2030 mennessä. Uusiutuvaa biodieseliä tuottavat yritykset ovat tarvittaessa halukkaita vastaamaan kysynnän kasvamiseen. Kysynnän kasvaessa todennäköisesti jakelu laajenee. Lisäksi jakelijoiden määrä todennäköisesti kasvaa kysynnän kasvaessa, mikä vaikuttanee hintatason pysymiseen maltillisena. Osa liikennöitsijöistä on kuitenkin tunnistanut, että uusiutuvasta biodieselistä pyydetty lisähinta fossiiliseen dieseliin nähden on kasvanut. Uusiutuvassa dieselissä ei käytetä fossiilista dieseliä, joten hinnan ei pitäisi periaatteessa olla riippuvainen fossiilisen dieselin kysynnästä. Käytännössä hinnat seuraavat kuitenkin toisiaan, koska muutoin hintavaihtelut saattaisivat aiheuttaa merkittäviä siirtymiä kysynnässä.

Suomen jakeluvuolovelaki (446/2007) edellyttää, että biopolttoaineiden laskennallinen osuus liikennepolttonesteiden jakelijan kulutukseen toimittamien moottoribensiinin, dieselöljyn ja biopolttoaineiden energiasisällön 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 2019 HSL-liikenteessä neljälle liikennöitsijälle maksetaan noin miljoona euroa ympäristöbonuksia biodieselin käytöstä. Uusiutuvaa 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.

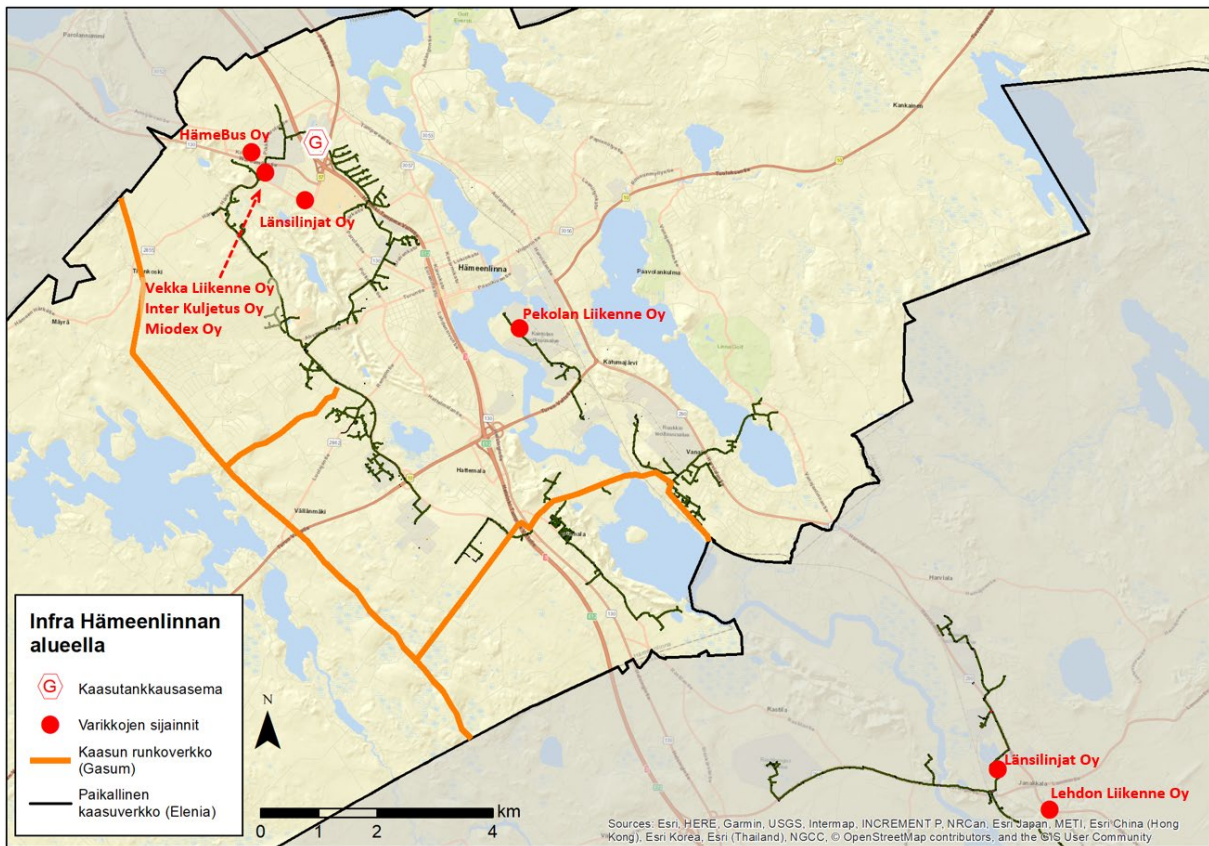
Kaasuverkostossa oleva kaasu on sekoitus biokaasua ja maakaasua. Kun asiakas ostaa tankkausasemalta biokaasua, hän maksaa siitä biokaasun tuottajalle. Bio- ja maakaasun suhteen kaasuverkostossa käytetään taseperiaatetta: Biokaasutaseeseen syötetään sama määrä biokaasua kuin sitä kulutetaan tankkausasemilla ja myyty biokaasu tilitetään biokaasun verkkoon syöttäjälle. Periaate on sama kuin sähkömarkkinoilla, jossa tuulisähköä ostettaessa sähköenergia ei välttämättä ole tarkalleen peräisin tuulivoimasta, mutta kokonaisuutena taseeseen syötetään sama määrä tuulisähköä kuin sitä kulutetaan.

Yhdyskuntajätteiden (mm. kotitalouksien biojäte) ja jätevedenpuhdistamon lietteiden mädätyksessä muodostuu raakabiokaasua. Jotta kaasua voidaan hyödyntää bussiliikenteen käyttövoimana, jalostetaan mädätyslaitoksen tuottama raakabiokaasu tuotantolaitoksessa liikennepolttoaineeksi. Liikenne-

käyttöön jalostettaessa raakabiokaasusta poistetaan hiilidioksidi ja epäpuhtaudet. Puhdistamisen jälkeinen biokaasu voidaan paineistaa (CBG) tai nesteyttää (LBG) jakelua varten. Tällä hetkellä Suomessa käytetään liikennepolttoaineena ainoastaan paineistettua biokaasua (CBG) ja paineistettua maakaasua (CNG).

Hämeenlinnassa on myös omaa **biokaasutuotantoa**. Kiertokapulan biojätteestä St1 tuottaa bioetanolia, jonka tuotannosta jäljelle jäävästä massasta tuotetaan biokaasulaitoksella biokaasua. Hämeenlinnan Tiiriössä on kesäkuussa 2017 avattu kaasutankkausasema, Gasum Tiiriö.

Hämeenlinnassa on kattava kaasuputkiverkosto. Runkoputket ovat Gasumin omistuksessa ja jatkossa valtion kaasuverkkoyhtiön omistuksessa. Paikallisesta jakeluverkostosta vastaa alueen verkkoyhtiö Elenia. Kaasuputkiverkosto Hämeenlinnassa on esitetty seuraavassa kartassa. Varikon sijoittumisesta kaasuputkiverkoston lähelle on etua, jolloin liikennöitsijä voi ostaa biokaasua haluamaltaan biokaasun toimittajalta. Varikolle voidaan kuitenkin toteuttaa myös kaasun tankkausasema, jonne kaasua tuodaan erillisinä kuljetuksina konteissa.



Kuva 5. Kaasuputkiverkosto ja varikkojen sijainnit Hämeenlinnan seudulla.

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 kaasuverkoston yhteydessä, on jatkossa mahdollista ostaa biokaasua aiempaa helpommin useampaa tuottajaa kilpailuttamalla.



Kuva 6. 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 hidastaja/tai pikatankkauslaitteet. 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 10–15 minuuttia ja hidastankkaus noin 15–30 minuuttia bussia kohden. Varikolla hidastankkauksessa voidaan tankata aina vain yhtä kaasubussia kerrallaan, joten hidastankkauksen kokonaiskesto varikolla riippuu kaasubussien määrästä.



Kuva 7. Kaasubussi pikatankkauksessa kaasubussivarikolla



Kuva 8. 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 polttoainekulutus 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 9. Kaasubussin sisätilat

Merkittävin ero maakaasun ja biokaasun välillä on, että maakaasu on fossiilinen polttoaine, kun taas biokaasu on uusiutuva energianlähde. Molemmat ovat kuitenkin metaania ja soveltuvat siksi yhtä hyvin kaasubussin polttoaineeksi. Tankatessa kaasun alkuperää ei voi valita, ellei kaasua ole tuotu kontissa tankkausasemalle. Biokaasua hankkiessaan asiakas kuitenkin vaikuttaa biokaasutaseeseen siten, että biokaasua voi ostaa enintään määrän, jota sitä syötetään kaasuverkkoon. Ostettu biokaasu tiliteään biokaasua verkkoon syöttäneelle. 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 lähipäästöttömiä ja dieselbussiliikenteeseen verrattuna lähipäästöt ovat suurin piirtein samalla tasolla. Kaasua käyttövoimanaan käyttävillä busseilla on dieselbusseja jonkin verran alhaisemmat melupäästöt.

Biokaasun hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä.

Lisäksi melupäästöt ovat fossiilista dieseliä jonkin verran pienemmät.

Kaasubussit ovat yleisiä maailmassa.

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, Lappeenrannassa ja Jyväskylässä

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 polttoainetalostamoon 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 liikennöidään kuitenkin koko kokopäiväinen liikenne siten, että kaikki ilta- ja viikonloppuliikenne liikennöidään kaasubusseilla. Tällöin kaasubusseille kertyy noin 75 000 linjakilometriä vuodessa. Dieselbusseilla liikennöidään arkipäivien täydentävää liikennettä ruuhka- ja koulumatka-aikoina. 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 biokaasubussi-projektistaan Motivan kunniamaininnan.

Jyväskylä on kilpailuttanut kohteensa 5 liikennöinnin syksyllä 2018. Kohteessa liikennöidään yksittäistä linjaa 5 ja täydentävää reittiä 5K kaikkiaan 4 autolla. Jyväskylä on edellyttänyt liikennettä tarjottavan 4 kaasubussilla, joita tankataan biokaasulla. Vara-autot voivat olla dieselkäyttöisiä. Liikennöitsijä vastaa itse biokaasun tankkauksesta. Kohteen sopimuskauden pituus on 8 vuotta + 2 vuoden optio. Biokaasua on saatavissa esimerkiksi Mustankorkean kaatopaikan kaasutankkausasemalta tai Gasumin Kanavuoren tankkausasemalta. Uudessa kilpailussa kohteen liikennöintikustannukset kasvoivat noin 90 000 eur/v (alv 0 %), mikä on noin 17 prosenttia aiempaa korkeampi.

Savonlinja on hankkinut kaksi Scanian kaasubussia, joilla se liikennöi **Lappeenrannan** paikallisliikenteessä. Bussit toimitettiin joulukuussa 2018. Gasum, Savonlinja ja Lappeenrannan kaupunki ovat jakaneet biokaasun ja maakaasun hintaerosta aiheutuvat kustannukset keskenään. Savonlinja on tehnyt leasing-sopimuksen kaasubusseista ja uudessa tarjouskilpailussa ehtona on, että leasing-sopimus siirtyy tarjouskilpailun voittajalle. Muiden bussien osalta kalustovaatimukset ovat kuitenkin melko alhaiset, joten on todennäköistä, ettei Lappeenrantaan tule enempää kaasubusseja.

2.2.3. Kaasubussit HSL-alueella

Helsingin Bussiliikenne on hankkinut 2 uutta Scanian kaasubussia kerätäkseen kokemuksia Euro 6 -päästöluokan kaasubusseilla liikennöinnistä. Lisäksi Helsingin Bussiliikenteellä on 15 vuosina 2007–2009 hankittuja MAN Lion's City -kaasubusseja. HSL-alueella kaasubussien käytettävyyttä heikentää se, etteivät pelastusviranomaiset ole sallineet kaasubusseilla liikennöintiä maanalaisissa terminaleissa, kuten Kampissa. HSL-alueen kaasubusseja on liikennöity pääasiassa maakaasulla, mutta ympäristöbonuskilpailussa voitettuaan Helsingin Bussiliikenne on hankkinut biokaasua. Tällä hetkellä Helsingin Bussiliikenteellä on 16 MAN Lion's City -kaasubussia. Volvon ja Mercedes-Benzin kaasubussit ovat jo poistuneet liikenteestä. Aiemmin seudulla on ollut kaasubusseja myös Concordia Busilla (nyk. Nobina) ja Tammelundin Liikenteellä.

HSL-liikennettä kilpailutettaessa annetaan lisäpisteitä kaluston Euro-päästöluokkien mukaan. Lähtökohtana on, ettei pisteytetä teknologiaa sinänsä, vaan päästövähennyksiä, joita teknologialla saavutetaan. Helsingin Bussiliikenne on saanut HSL:ltä ympäristöbonusta biokaasun käyttämisestä kaasubusseissa. Ympäristöbonusta maksetaan yhteensä miljoonaa euroa/vuosi ja ympäristöbonuksen saajat kilpailutetaan. Vuodelle 2019 Helsingin Bussiliikenne on saanut ympäristöbonusta biokaasun hankkimiseksi.

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 käyttövoimana oli biokaasu, mikä on noin 17 % kaikista Ruotsissa liikennöivistä busseista. 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 käytävillä 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 moottoritekniikan 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 pääte pysäkkilatausta (pikalatauslaitteet bussilinjan varrella ja hidaslatauslaitteet varikolla) käyttäen ja noin 65 % varikkolatausta käyttäen. 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 Oslossa aloitetaan 40 sähköbussin liikenne. Amsterdamissa sähköbussiliikenne on järjestetty pääte pysäkkilatausta 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 pääte pysäkkilatausta tai pelkkää varikkolatausta käyttäen. Sähköbussiliikenne vaatii investointeja latausinfrastruktuuriin linjan varrelle ja/tai bussivarikolle.

Pääte pysäkkilatausta käytettäessä sähköbussikalustossa on kohtuullisen pieni akkukapasiteetti (noin 50-150 kWh) ja lyhyt operointisäde. Sähköbussikaluston akkukapasiteetti voidaan mitoittaa tapauskohtaisesti bussilinjan tarpeita vastaavaksi. Pääte pysäkkilatausta käytettäessä sähköbusseja ladataan päivän aikana bussilinjan varrella suuritehoisella (noin 300-450 kW) pikalatauslaitteella sekä yöllä bussivarikolla pienitehoisella (noin 20-50 kW) hidaslatauslaitteella. Sähköbussiliikenteen järjestäminen pääte pysäkkilatausta 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 on esitetty täyssähköbussi pikalatauksessa Helsingissä Ruskeasuon pääte pysäkillä.

Sähköbussien määrä maailmalla on voimakkaassa kasvussa. Täyssähköbussien hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä Suomen keskimääräisellä sähkön tuotantotavalla. Sähköbusseista ei synny lähipäästöjä.



Kuva 10. Täyssähköbussi pikalatauksessa Helsingin Ruskeasuon pääte pysäkillä.

Varikkolatausta käytettäessä sähköbussikalustossa on suuri akkukapasiteetti (noin 300 kWh) ja kohtuullisen pitkä operointisäde. Tällöin sähköbusseja ladataan ainoastaan bussivarikolla pienitehoisella (noin 20–50 kW) hidaslatauslaitteella. Sähköbusseja 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 on esitetty täyssähköbussi hidaslatauksessa Tampereella Nekalan bussivarikolla.



Kuva 11. Täyssähköbussi hidaslatauksessa Tampereella

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 sähköbussi-markkinoille. Osa kalustovalmistajista on aloittamassa myös telisähköbussien valmistamisen. Pienkalustoa on saatavissa myös sähkökäyttöisinä. Pienkaluston ja tavanomaisten bussien välillä ei ole saatettavissa synergiaetuja, sillä pienkaluston lataus tapahtuu samalla tavoin kuin sähkökäyttöisten henkilöautojen lataus.



Kuva 12. 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 13. Täyssähköbussin sisätilat

Espoossa on ollut monen vuoden aikana useampia sähköbusseja kokeiltavana. Espoon kokemusten 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 2–12 tuntia. Latauksen keston bussivarikolla vaikuttaa mm. sähköbussin akkukapasiteetti ja latausteho.

Talviolosuhteissa sähköbussin akkujen ja sisätilojen lämmittämiseen tarvitaan polttoainekäyttöinen lisälämmitin. Sähköbusseissa 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 lähipäästötöntä, hiljaista ja käyttäjäystävällistä. Sähköbussien käyttäjäystävällisyys perustuu hiljaisuuden lisäksi sähköisen ja vaihteistottoman voimalinjan mahdollista-

maan pehmeään kiihdytykseen ja jarrutukseen sekä tasaiseen liikennöintiin. Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta sähköbussiliikenteen suurin hyöty on pienet käyttökustannukset. Sähköbussissa 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. Sähköbussia 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. Suomessa eri kaupunkien sähköbussia voidaan kuitenkin muutoin käyttää eri alueilla, mutta käytettävyyttä heikentää pantografin eri sijainti bussissa.

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. Sähköbussilla oli liikennöity puolelta vuoden aikana (2016–2017) yhteensä lähes 80 000 km ja sähköbussikaluston keskimääräinen käyttöaste oli noin 60 %. Käyttöaste on ollut alhainen, koska kyse on ollut uuden käyttövoiman kokeiluista ja liikennettä on hoidettu tuotantonsa aloittaneen Linkkerin sähköbussilla. Ongelmat ovat liittyneet kalustoon, latausasemiin ja lataukseen.

Helsingissä sähköbussiliikenne aloitettiin vuoden 2017 alussa. Helsingissä sähköbussia on liikennöity kolmella eri linjalla. Sähköbussiliikennettä varten linjojen molemmille pääte pysäkeille 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 pääte pysäkillä on asennettu sähköbussin pikalatauslaite. Sähköbussien käyttöaste on ollut noin 70 %. Suurimmat haasteet ovat liittyneet lataukseen ja siihen, että linjalla on vain yksi latausasema. Siten latausaseman ollessa poissa käytöstä, ei sähköbussilla voida liikennöidä. Kalustoon liittyvät ongelmat ovat olleet vähäisempiä.

Turussa on liikennöinyt kuusi sähköbussia vuoden 2016 syksystä lähtien. Sähköbussiliikennettä varten linjan molemmille pääte pysäkeille on asennettu sähköbussin pikalatauslaite. Sähköbussien päivittäinen liikennöintisuorite on pisimmillään yli 350 km. Turussa sähköbussilla 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. Sähköbussien käyttöasteet ovat olleet talvella alhaisemmat kuin kesällä.

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 merkittävimpanä 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.

HSL on kilpailuttanut täyssähköbussiliikennettä syksyllä 2018. Leppävaaran kohdetta varten tilaaja on rakentanut lähtölaitureille 4 pikalatausasemaa sekä yhden pikalatausaseman varalle bussien pikapysäköintialueelle. HSL on edellyttänyt vähintään viittä (5) täyssähköbussia, joita ladataan pikalatausasemilla. Tarjouskilpailun voitti Pohjolan Liikenne, joka tarjosi viisi pikaladattavaa VDL:n täyssähköbussia sekä 20 kiinalaisen Yutongin hidasladataavaa täyssähköbussia. Leppävaaran terminaaliin rakennetaan busseja varten kuitenkin myös hidaslatauspaikkoja. Liikennöitsijä vastaa hidasladatavien sähköbussien latausinfrastruktuurin rakentamisesta. Kohteen hintataso ei noussut sähköbussiliikenteeseen siirryttäessä.

HSL antoi sähköbusseista lisäpisteistä myös muissa kohteissa. Pohjolan Liikenne voitti myös Keravan, Sipoon ja Tuusulan alueen kohteen, johon se tarjosi 10 täyssähköbussia. Kohteen hintataso ei noussut ennakoidusta. Hintatasoon on voinut vaikuttaa sekä Leppävaaran että Keravan kohteissa Yutongin halu päästä Euroopan markkinoille.

HSL on hyväksynyt 21.8.2018 hallituksen kokouksessa myös Tammelundin Liikenne Oy:n liikennöintisopimuksen option, jonka ehtona on ollut kahden sähköbussin käyttöönotto. Tammelundin Liikenne liikennöi sähköbusseilla samoilla yksikkökustannuksilla kuin dieselbussiliikennettä (tilaaja vastaa ko. liikenteen latausasemien toteuttamisesta).

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 14. 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.

Hybridibussin polttoaineenkulutus on 15-35 % pienempi kuin vastaavasti liikennöidyssä dieselbussissa. Merkittävä hyöty syntyy talteen otettavasta jarrutusenergiasta, jota voidaan käyttää liikkeellelähtöihin. Eniten hyötyä hybridibusseista saadaan kaupunkiliikenteestä, jossa on paljon pysähdyksiä.

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 täyssähköbussihin 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 operoimisiteelle. 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.

Ladattavassa hybridissä yhdistyvät perinteisen diesel- ja täyssähköbussin edut. Päästöjen merkittävä vähennys edellyttää uusiutuvan biodieselin käyttöä. Ladattavia hybridejä valmistaa ainoastaan yksi toimittaja. Kalustovalmistajat ovat keskittyneet täyssähköbussien kehittämiseen ja tuotantoon.

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 2–12 tuntia ja tankkausaika bussivarikolla muutamain minuutin. Ladattavia hybridibusseja on saatavana kalustotoimittajista ainakin Scaniaalta 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 on esitetty ladattava hybridibussi pikalatauksessa Hampurissa Saksassa.



Kuva 15. Ladattava hybridibussi pikalatauksessa Saksan Hampurissa.

2.3.6. Polttokenno

Polttokennobussin käyttövoimana toimii vety, josta tuotetaan polttokennossa tapahtuvan sähkökemiallisen reaktion avulla sähköä, jolla käytetään bussin sähkömoottoria. *Vety on moneen sopiva energian kantaja, jonka avulla voidaan parantaa sähköä ja kemiallista energiaa hyödyntävien konversioketjujen hyötysuhdetta, varastoida energiaa ja pienentää päästöjä* (VTT vetytiekartta 2013).

Useimmiten polttokennobussit ovat käytännössä sähköhybridejä, sillä niissä on lisäksi joko akku(ja) tai superkondensaattori, joita käytetään tuottamaan lisävirtaa kiihdytyksiin ja nousuihin ja vastavasti myös ottamaan talteen jarrutuksista syntyvää energiaa. Vedyn suurempi energiatiheys verrattuna esimerkiksi akkuihin mahdollistaa suuremman toimintasäteen kuin akkusähköbusseilla. Ballard, yksi isoimmista polttokennojen valmistajista, lupaa polttokennobussille jopa 450 kilometrin toimintasäteen latausten välillä. Polttokennoilla varustetut bussit ovat huomattavasti kevyempiä kuin isolla akustolla varustetut perinteisemmät sähköbussit. Polttokennobussin tankkaaminen vie noin 6–10 minuuttia, eivätkä polttokennobussit vaadi erillistä infraa varikolle sijoitettavan tankkausaseman lisäksi.

Polttokennobussit ovat täysin lähipäästöttömiä, sillä sähkökemiallisen reaktion lopputuotteena syntyy ainoastaan vettä. Suurin osa teolliseen käyttöön tarkoitettuun vedystä tuotetaan kuitenkin fossiilista energianlähteistä (pääasiassa maakaasusta), jolloin vety ei kokonaisuudessaan ole päästötöntä. Vetyä voidaan kuitenkin tuottaa useilla vähähiilisillä tai hiilidioksidivapailta tavoilla, kuten uusiutuvien energianlähteiden avulla. Tällöin polttokennobussi tarjoaa täysin hiilettömän ratkaisun liikenteeseen. Vedyn saatavuus Suomessa on haaste, vaikka Kokkolassa onkin Euroopan suurin elektrolyysimenetelmällä vetyä tuottava Woikosken laitos (<http://www.woikoski.fi/fi/vedyn-valmistus-ja-jakelukanavat>). Kemira Chemicalsilla on Sastamalassa ja Joutsenossa pienemmät sivutuotevetylaitokset. LVM:n selvityksessä vuodelta 2015 on todettu, että Suomessa riittäisi nykyisellään vetyä liikennekäyttöön noin 2 milj. kiloa vuodessa. Selvityksen mukaan tällä määrällä voitaisiin tankkata 830 busssia.

Lisäksi polttokennobussien osalta rajoittavia tekijöitä ovat kaluston hankintahinta ja vedyn jakeluverkoston vähyys. Nykyisellään 12-metrinen polttokennobussin hinta on n. 650 000€. Vuoden 2020 jälkeen, kysynnän mahdollisesti kasvaessa, hinnan on arvioitu laskevan jopa tasolle 450 000€/bussi (lähde: Fuel Cell Buses – An attractive value proposition for Zero-Emission buses in Scandinavia, Ballard 9/2017). Polttokennobusseja valmistavat mm. Solaris ja Van Hool.

Tällä hetkellä Suomessa ei ole lainkaan käytössä olevia vetytankkausasemia. Vielä vuonna 2018 niitä oli kaksi: yksi Vuosaaren satamassa ja yksi Voikoskella. VTT:n v. 2013 laatimassa selvityksessä on luonnosteltu 20 aseman tankkausasemaverkosto, joka riittäisi kattamaan Suomen tarpeen. Hämeenlinnaa lähin tankkausasema on kaavailtu Tampereelle. Vetytankkausaseman kustannuksen on arvioitu olevan aseman tyyppistä riippuen 0,5–1,5 milj. eur. Vedyn kustannustavoite vuonna 2015 oli 10 eur/kg, mutta tavoite 2020–2023 mennessä on noin 6–8 eur/kg (lähde: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78461/Julkaisu_4-2015.pdf).

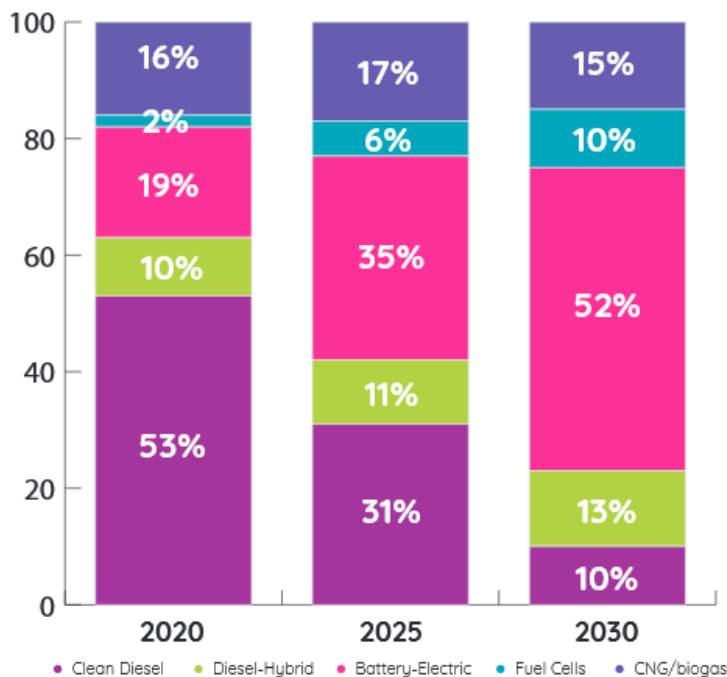
Vetyyn polttoaineena liittyy riskejä, sillä vety on herkästi syttyvää, ja se palaa hapettimen (esim. happi) läsnä ollessa jopa räjähdysmäisesti. Vety palaa huomattavasti bensiiniä helpommin ja jopa käsissä oleva staattinen sähkö voi sytyttää vedyn. Palava vety on lähes näkymätöntä, joten vetyä on hankala välttää ja sitä vastaan on hankala taistella. Lisäksi ihminen voi tukehtua puhtaana vedyn hengittämiseen, sillä vety korvaa hapen.

Vety on hajutonta, mautonta ja väritöntä, joten sitä on vaikea havaita. Tätä voidaan torjua jossain määrin lisäämällä jokin hajuaine vetyyn. Riski on kuitenkin todellinen suljetuissa tiloissa, josta vety

ei pääse pakenemaan. Avoimessa ilmassa vety haihtuu keveytensä vuoksi nopeasti ja tämä vähentää myös tulipalon riskiä ulkona.

Nykyisellään polttokennobussit ovat hyvin marginaalisessa roolissa, mutta sen markkinaosuuden ennustetaan kasvavan Euroopan kaupunkiliikenteessä vuoteen 2030 mennessä 10 prosenttiin (UITP, kuva 16). Polttokennoteknologia ei ole vielä kovin varteenotettava vaihtoehto Suomessa, mutta sitä kannattaa pitää silmällä tulevaisuutta ajatellen.

Vetytankit ovat pienempiä kuin vastaavan energiakapasiteetin omaavat akkujärjestelmät, minkä takia polttokennobussit ovat sähköbussuja huomattavasti kevyempiä ja niillä on suurempi toimintasäde. Vedyn saatavuus Suomessa on haaste, ja vetyyn polttoaineena liittyy riskejä. Polttokennobussin hiilidioksidipäästöt riippuvat vedyn tuotantotavasta.



Kuva 16. Euroopan kaupunkibussiliikenteen markkinoiden kehittyminen (lähde: <https://www.sustainable-bus.com/wp-content/uploads/2018/06/zeeus-ebus-report-2.pdf>)



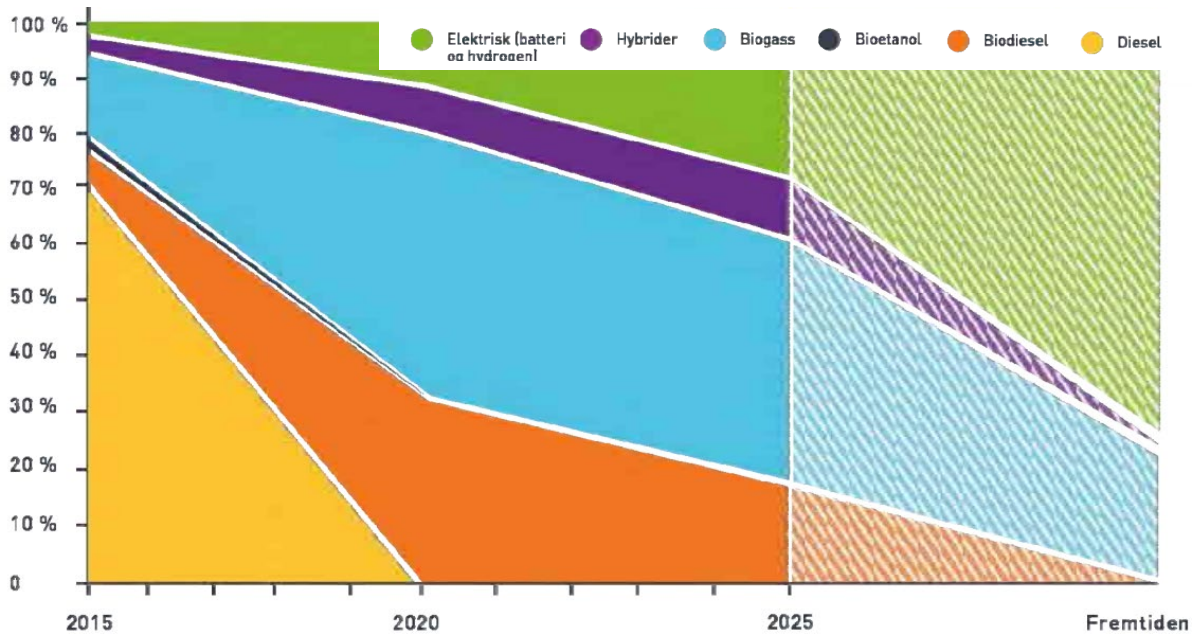
Kuva 17. Van Hoolin polttokennobussi (lähde: <https://www.fuelcellbuses.eu>).



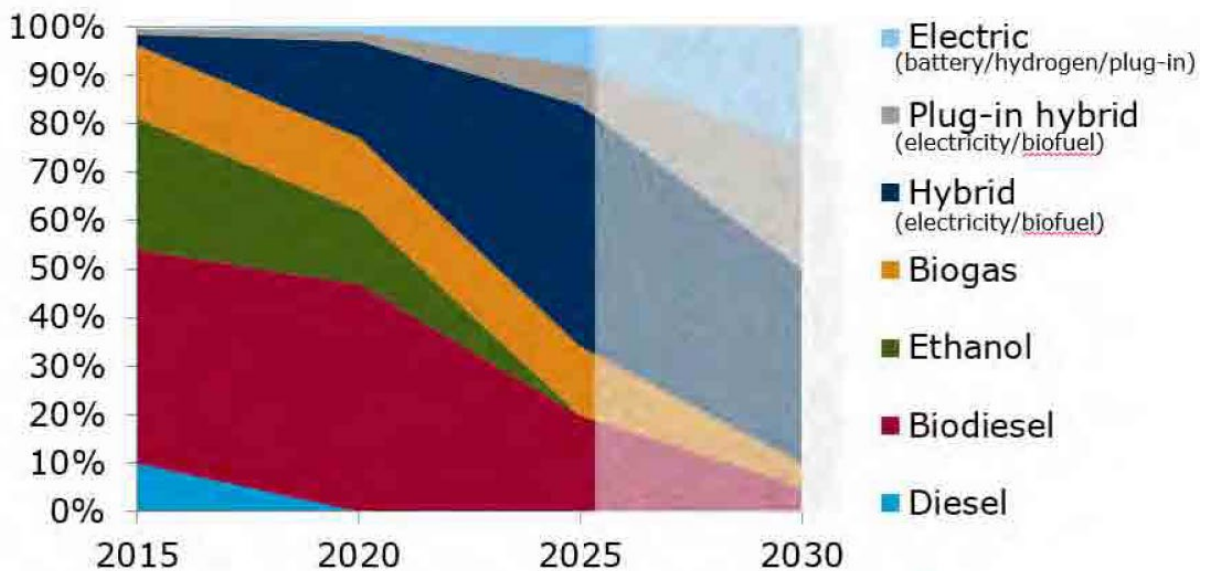
Kuva 18. Polttokennobussi tankkausasemalla Aberdeenissa Skotlannissa. (lähde: <https://www.fuelcellbuses.eu>).

2.4. Helsingin, Tukholman ja Oslon tavoitteet

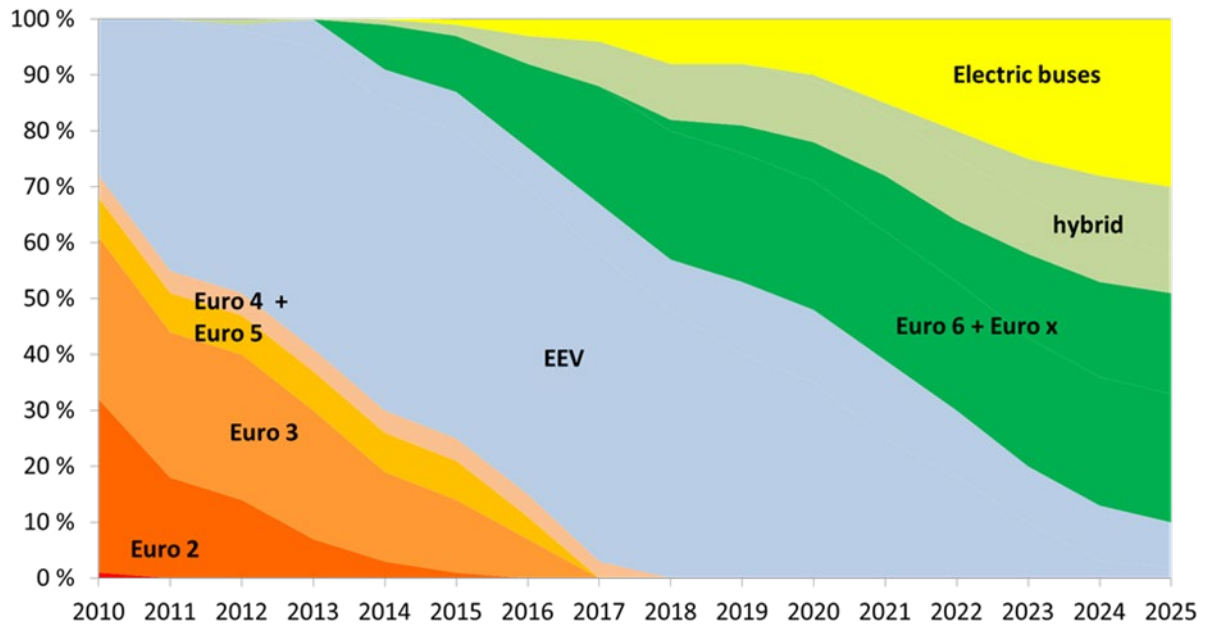
Helsingin seudun (Helsingin seudun liikenne, HSL), Tukholman seudun (SL) ja Oslon seudun (Ruter) joukkoliikenteen toimivaltaisten viranomaisten tavoitteet bussiliikenteen käyttövoimavaihtoehtojen kehitykselle on esitetty seuraavissa kuvissa. Kaikilla seuduilla on tavoitteena fossiilisen dieselin käytön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



Kuva 19. Ruterin tavoitteet bussiliikenteen käyttövoimavaihtoehtojen kehityksessä Oslossa



Kuva 20. SL:n tavoitteet bussiliikenteen käyttövoimavaihtoehtojen kehityksessä Tukholmassa



Kuva 21. 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 joukkoliikenteen toimivaltainen viranomaisen ja tarjoajia ovat liikennöitsijät. **Kilpailutuksessa kannattaa sallia bussiliikenteen ruuhkavuorojen ajaminen tulevaisuudessakin dieselbusseilla, joita mahdollisesti liikennöidään uusiutuvalla biodieselillä.** 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
- 3) vaihtoehtoisista käyttövoimista annetaan päästöjen mukaan lisäpisteitä ja varsinainen käyttövoiman valinta on liikennöitsijällä
- 4) tilaaja pyytää vaihtoehtoisia tarjouksia eri käyttövoimista
- 5) ”ranskalainen urakka”, tilaaja ilmoittaa kiinteän hinnan, liikennöitsijä määrittelee, minkälaista palvelua tarjoaa tällä summalla
- 6) allianssimallissa hintatason sijasta pisteytetään tarjoajan edellyttämää kateprosenttia, mikä pienentää liikennöitsijän riskiä uuteen käyttövoimaan siirryttäessä

Muita huomioitavia seikkoja:

- tarjous voi sisältää perinteisten yksikkökustannusten lisäksi (eur/linjakm, eur/linjatunti ja eur/autopäivä) myös kiinteän osan, joka ei muutu suoritteiden muuttuessa (eur/v)
- pidempi sopimuskausi, esim.
 - o 8 + 0-2 v optio
 - o 10 + 0-5 v optio on PSA:n mukaan mahdollinen, jos liikennöitsijän investoinnit ovat merkittäviä

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 vaihtoehtojen 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

Vaihtoehdossa tilaaja asettaa kohdekohtaisesti ja mahdollisesti päästölajeittain päästötavoitteet. Liikennöitsijöiden tehtävä on tarjota tilaajan tavoitteita ja reunaehtoja vastaavaa, kyseiselle kaupunkiseudulle ja kilpailutetuille linjoille soveltuvaa sekä taloudellisesti kannattavaa bussiliikennettä. **Vertailuperusteena voi olla hinta ja ehtona päästötavoitteiden toteutuminen.** Sopimuskauden aikana tilaajan on tarve seurata ja valvoa päästötavoitteiden saavuttamista. Haastavimpana asiana on, millä tavoin todennetaan eri ajoneuvojen päästöt ja käytettävän energian well-to-wheel CO₂-päästöt.

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

Kolmas vaihtoehto on Suomessa yleisesti käytetty. Tyypillisesti hintapisteet ovat olleet suurin valintaan vaikuttava tekijä. Kalustopisteitä on annettu 0-16 pistettä vaihdellen tarjouskilpailusta. Valinta-perusteena on tällöin kokonaistaloudellinen edullisuus. HSL:n linja-autoliikenteen kilpailutuksissa on mahdollista saada lisäpisteitä esimerkiksi Euro-päästöluokkien, CO₂-päästöjen ja melun mukaan. Lahden linja-autoliikenteen kilpailutuksissa on annettu lisäpisteitä myös kaasu- ja sähköbussista. Pisteytyksen on hyvä perustua päästöluokkiin ja linkaaren aikaisten päästöjen vähenemään. Lisäpisteitä voidaan antaa pohjautuen esimerkiksi linkaaren aikaisten päästöjen hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen (well-to-wheel), typenoksidien (NO_x) ja pienhiukkaspäästöjen (PM) vähenemiseen. Koska nämä vähenevät eri käyttövoimilla eri tavoin, voidaan eri käyttövoimia pisteyttää eri tavoin. Tarjoajan päätettäväksi hinnan lisäksi, minkä käyttövoiman kalustoa tarjoaa liikenteeseen.

Esimerkiksi Ruotsin kilpailutuksissa laadun painoarvo on suurempi. Tilaajan suunnitteluvastuu on 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.

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 vaihtoehtoista. 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.

Tilaaajan 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. VE 5 – ”Ranskalainen urakka”, tilaaja ilmoittaa kiinteän hinnan

Ns. ranskalaisessa urakassa tilaaja ilmoittaa kiinteän hinnan ja liikennöitsijä määrittelee, minkälaista palvelua tarjoaa tällä summalla. Mallin etuna on se, että liikennöitsijän ammattitaito ja vahvuudet voidaan saada paremmin hyödynnettyä, kun kilpailutusvaatimuksia ei ole liian tarkkaan määritelty. Malli vaatii kuitenkin huolellista kilpailutuksen valmistelua ja kilpailutusosaamista tilaajalta.

Kilpailutusta kiinteällä hinnalla ja laadullisilla perusteilla on Suomessa käytetty sekä onnistuneesti että heikommalla lopputuloksella, mutta linja-autoliikenteen operoinnin kilpailutukseen malli ei ole vielä yleistynyt. Hollannin Eindhovenissa käytettiin linja-autoliikenteen operoinnin kilpailutuksessa kiinteän hinnan kilpailutusta. Tilaaja oli tyytyväinen käyttöoikeussopimuksena kilpailutetun tarjouskilpailun lopputulokseen, jossa liikenteeseen tuli 43 sähköbussia.

Tarjouskilpailun voittaja valitaan laadun perusteella. Tämän vuoksi on tärkeää kuvata, millä tavoin laatu pisteytetään. Jos laatua arvioidaan käyttövoiman perusteella, on tarve edellä kuvattujen mallien tavoin pisteyttää eri käyttövoimat ja käytettävät energiat (fossiilinen diesel ja uusiutuva biodiesel). Uusiutuvan biodieselin riittämättömyys voidaan huomioida esimerkiksi siten, että linjakilometrin hintaa alennetaan tietyllä prosentilla, mikäli liikennöitsijä liikennöi uusiutuvan biodieselin sijasta fossiilisella dieselillä. Käyttövoiman lisäksi laadun arvioinnissa voidaan pisteyttää esimerkiksi palvelutasoon liittyviä tekijöitä.

3.1.6. VE 6 – Allianssi

Allianssimallissa edellytetään liikennöitsijältä erillistä kirjanpitoa, jotta voidaan seurata kohteen kustannusten kehitystä. Tällöin kulurakenne avataan tilaajalle. Kohteen liikennöintiä varten muodostetaan tilaajan ja liikennöitsijän yhteinen organisaatio.

Hintatason sijasta tarjouskilpailussa pisteytetään tarjoajan edellyttämää kateprosenttia. Lisäksi on tarve pisteyttää eri käyttövoimat esimerkiksi ranskalaisen urakan tavoin. Allianssimallin etuna on, että riskit uuteen käyttövoimaan siirryttäessä ovat liikennöitsijän kannalta pienemmät. Mahdollinen kustannusten ennakoimaton kehitys siirtyy tilaajalle ja yhteistyössä tilaajan kanssa voidaan miettiä keinoja kustannusten ylitysten vähentämiseksi.

3.1.7. Muita linja-autoliikenteen hankinnassa huomioitavia seikkoja

Kun liikennöitsijän vastuulla on tankkaus- ja latausinfrastruktuurin toteuttaminen ja kaluston hankinta, on sopimuskauden pidentäminen perusteltua. Tällöin tarjouskilpailussa voidaan pyytää myös kiinteä osuus, jota 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 kilpailutti 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 voimassaoloaikaa 50 prosentilla olisi näin ollen sovellettava seuraavia edellytyksiä: julkisia palveluhankintoja koskevan sopimuksen on velvoitettava 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 yhtenäistämässä 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 päätepysäkeillä on suuri vaikutus esimerkiksi kalusto- ja autokiertojen sekä mahdollisten latausjärjestelmien suunnitteluun ja tätä kautta myös bussiliikenteen kustannuksiin.

Vaihtoehtoisia käyttövoimia kilpailutettaessa sopimuskausi voi olla pidempi, jos liikennöitsijän vastuulla on tankkaus- ja latausinfrastruktuurin toteuttaminen. Kilpailutuksessa tulee myös huomioida perinteistä dieselbussiliikennettä pidempi hankintaprosessi: kilpailutus kannattaa aloittaa noin puolitoista vuotta ennen bussiliikenteen aloittamista.

Liikennettä kilpailutettaessa voidaan kokeilla uusia hankintamalleja, kuten päästökattoa, ranskalaista urakkaa tai allianssia.

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

3.2. Huomioitavia asiat poikkeusoloissa

Linja-autokalustolla on merkittävä tehtävä myös väestön turvallisuuden ja yhteiskunnan toimivuuden varmistamisessa poikkeusoloissa. Valmiuslain (29.12.2011/1552) mukaan poikkeusoloja ovat mm. Suomeen kohdistuva aseellinen hyökkäys tai sen uhka, väestön toimentuloon tai maan talouselämän perusteisiin kohdistuva erityisen vakava tapahtuma tai uhka, erityisen vakava suuronnettomuus tai hyvin laajalle levinnyt vaarallinen tartuntatauti. Valmiuslaissa on säädetty, että tiekuljetusviranomaiset voivat muuttaa luvanvaraisen henkilöliikenteen aikatauluja ja reittejä sekä ohjata joukkoliikenteessä käytettävää kalustoa tilanteen edellyttämällä tavalla (75 §). Lisäksi valmiuslaissa on säädetty, että luvanvaraista liikennettä harjoittava liikenteenharjoittaja on poikkeusoloissa velvollinen suorittamaan tiekuljetusviranomaisen määräämiä kuljetuksia (77 §) ja että moottoriajoneuvon omistajan tai haltijan on tarvittaessa luovutettava moottoriajoneuvonsa tiekuljetusviranomaisen käyttöön (78 §). Liikenne- ja viestintäministeriö voi poikkeusoloissa määrätä luvanvaraista liikennettä harjoittavan liikenteenharjoittajan hoitamaan henkilöiden tai omaisuuden evakuointikuljetuksia (84 §).

Valmiuslakiin kuuluu myös varautumisvelvollisuus: *Valtioneuvoston, valtion hallintoviranomaisten, valtion itsenäisten julkisoikeudellisten laitosten, muiden valtion viranomaisten ja valtion liikelaitosten sekä kuntien, kuntayhtymien ja muiden kuntien yhteenliittymien tulee valmiussuunnitelmin ja poikkeusoloissa tapahtuvan toiminnan etukäteisvalmisteluin sekä muilla toimenpiteillä varmistaa tehtäviensä mahdollisimman hyvä hoitaminen myös poikkeusoloissa (12 §).* Varautumisvelvollisuuden hoitamiseksi on joukkoliikenneviranomaisen varmistettava, että liikenne voidaan hoitaa mahdollisimman hyvin myös poikkeustilanteessa ja että kalustoa on käytettävissä poikkeusolojen tehtäviin. Kaluston käyttövoima saattaa vaikuttaa toimintaan poikkeusoloissa, sillä esimerkiksi isoimmista poikkeusoloista sähköverkon toimivuus saattaa vaarantua samoin kuin polttoaineiden saanti. Uusien käyttövoimien osalta haasteeksi voi muodostua se, että kalusto saattaa tyypistä riippuen olla yhteensopiva vain paikallisen lataus- tai tankkausinfra kanssa. Tämä rajoittaa merkittävästi kaluston toimintasädetä esimerkiksi evakuointitehtävissä.

Viranomaisilla on oltava varautumissuunnitelma, jolla varmistetaan, että linja-autoliikenteen kalustoa on voitava käyttää myös poikkeustilanteissa ja mahdollisesti poikkeusolojen tehtäviin.

Sähköbussien suhteen sähkönjakelun ongelmiin on jossain määrin mahdollista varautua esim. dieselgeneraattoreilla. Generaattorilla voi poikkeustilanteissa muuntaa fossiilisen polttoaineen energiaa sähköksi. Oslon satamassa on sähköbussiliikennettä, mutta ei riittävää bussien latausmahdollisuutta. Siellä asia on ratkaistu tuottamalla sähköä dieselgeneraattorin avulla.

Dieselbussiliikenteessä varautuminen poikkeustilanteisiin voi edellyttää generaattoria tankkauspaikoilla, koska sähköä tarvitaan jonkin verran tankkauksen hoitamiseksi. Kaasu- ja sähköbussiliikenteessä tankkauksen ja latauksen onnistuminen poikkeustilanteissa tehdään yhteistyössä kaasu- ja

sähköverkkoyhtiön kanssa. Tällöin kaasun tankkaus onnistuu myös poikkeustilanteissa. Poikkeustilanteita varten voi olla tarpeen erillinen kaasukontti kaasun jakeluhäiriöiden varalle. Sähkön saanti edellyttää varageneraattoreita.

3.3. 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.

Uusiutuvaa biodieseliä käyttävän bussiliikenteen kilpailuttaminen ei eroa merkittävästi perinteisestä dieselbussiliikenteen kilpailutuksesta, koska sama kalusto ja varikot soveltuvat molemmille käyttövoimavaihtoehtoillemme.

Uusiutuvan biodieselin tankkaus järjestetään varikolla, koska ulkoisilla tankkausasemilla ei pääsääntöisesti ole uusiutuvaa biodieseliä tarjolla. Liikennöitsijät huolehtivat itse tarvittavien polttoainetosimusten tekemisestä. Liikenteen tilaajan tulee valvoa liikennöitsijän toimittamista dokumenteista, että busseja on tosiasiaa ajettu biodieselillä.

Voi olla perusteltua edellyttää, että liikennöitsijä ostaa vain ko. kohteen kulutuksen verran uusiutuvaa biodieseliä. Tällöin liikennöitsijä todentaa, minkä verran polttoainetta kuluu ko. kohteen liikennöintiin ja osoittaa tilaajalle tilaavansa vuoden aikana ko. kohteen kulutuksen verran uusiutuvaa biodieseliä. Tämä mahdollistaa sen, ettei varikolle tarvitse ostaa useampia polttoainelaitteistoja. Liikennöitsijä voi ostaa vuoden aikana muutaman erän uusiutuvaa biodieseliä ja liikennöi muuna aikana käyttäen fossiilista dieseliä. Tätä mallia puoltaa se, että tilaajan edellyttämä panos hiilidioksidipäästöjen vähenemiseksi täyttyy, vaikka osa vähenemästä tapahtuu muualla. Hiilidioksidipäästöt ovat globaali ongelma kasvihuonepäästöjen ja ilmastonmuutoksen kannalta. Uusiutuva biodiesel kuitenkin palaa puhtaammin ja vähentää myös jonkin verran typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjä. Tämä puoltaisi, että tilaaja edellyttää uusiutuvalla biodieselillä liikennöintiä ainakin toimivalta-alueellaan tai kaupunkialueella. Uusiutuvan biodieselin puhtaammalla palamisella on suurempi merkitys vanhemmassa eli alemmassa Euro-päästöluokan kalustolla ja pienempi vaikutus uudessa Euro 6-päästöluokan busseissa.

Kilpailutuksessa on hyvä huomioida mahdollisuus, että uusiutuvan biodieselin saatavuus heikkenee tai hinta kasvaa. Tämä nostaa liikennöitsijälle aiheutuvia riskejä, jotka hinnoitellaan tarjouksessa. Uusiutuvan biodieselin käytöstä voi olla hyvä maksaa liikennöitsijälle korvaus, joka perustuu uusiutuvan biodieselin hintaan. Linjakilometrin yksikkökustannuksesta voisi periaatteessa erottaa polttoainekustannuksen eur/km, joka seuraa esimerkiksi Suomessa uusiutuvaa biodieseliä tarjoavien yritysten hintakehitystä. Mallin heikkoutena on, että polttoainetoimittaja voi nostaa uusiutuvan biodieselin hintaa ja se siirtyy suoraan tilaajan maksettavaksi. Jos liikennöitsijä joutuu siirtymään uusiutuvasta biodieselistä fossiiliseen dieseliin, voidaan eur/km hintaa alentaa tai vaihtoehtoisesti kokonaiskorvausta alentaa.

3.4. Biokaasu

Kaasubussiliikenteessä vaaditaan investointeja tankkausinfrastruktuuriin bussivarikolle tai muuhun liikennöinnin kannalta tarkoituksenmukaiseen sijaintiin.

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 ja kytkeä kaasuhälytyslaitteisto sähköjärjestelmään niin, että tila menee virrattomaksi, jos tulee kaasuvuoto.

Kaasubussiliikenteessä joukkoliikennetoimijat ja niiden roolit ovat pääosin samat kuin perinteisessä dieselbussiliikenteessä. Tilaajana toimii kaupunki tai joukkoliikenteen toimivaltainen viranomaisen ja tilaajan suuntaan tarjoajina toimivat liikennöitsijät. Bussikalusto sekä 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 tankkauslaitteet. Bussikalustoon sekä tankkausjärjestelmiin liittyvä huolto ja koulutus kilpailutetaan osana kaluston ja tankkauslaitteiden hankintaa. Tällöin huolto ja koulutus ovat liikennöitsijän sekä kalusto- ja laitevalmistajien vastuulla.

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.

3.5. Sähkö

Sähköbussiliikenteessä yksi merkittävimmistä eroista perinteiseen dieselbussiliikenteeseen verrattuna on investointitarve latausinfrastruktuuriin. Investointeja latausinfrastruktuuriin vaaditaan vähintään bussivarikolle. Sähköbussiliikenteessä päätepysäkkilatausta käytettäessä tarvitaan lisäksi investointeja latausinfrastruktuuriin bussilinjan varrelle. Infrastruktuuri vaikuttaa tilantarpeisiin ja sähköbussiliikenteen tapauksessa myös sähköverkkoon. Bussilinjan varrelle sijoitettavat latauslaitteet vaikuttavat myös kaupunkikuvaan.

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 la-

tausinfrastruktuurin (bussilinjan varrella sijaitsevat pikalatauslaitteet) omistaa kaupunki, ovat liikennöitsijät riippuvaisia kaupungin tarjoamasta latausinfrastruktuurista ja kaupungin kilpailuttaman sähkön hinnasta.

Sähköbussiliikenteessä joukkoliikennetoimijat ja niiden roolit ovat pääosin samat kuin perinteisessä dieselbussiliikenteessä. Tilaajana toimii kaupunki tai joukkoliikenteen toimivaltainen viranomaisen ja tilaajan suuntaan tarjoajina toimivat liikennöitsijät. Bussikalusto sekä latausjärjestelmät 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 latausjärjestelmiin liittyvä huolto ja koulutus kilpailutetaan osana kaluston ja latauslaitteiden hankintaa. Tällöin huolto ja koulutus ovat liikennöitsijän sekä kalusto- ja laitevalmistajien vastuulla.

Sähköbussiliikenteessä investointeja latausinfrastruktuuriin vaaditaan vähintään bussivarikolle. Lisäksi pääte pysäkkilatausta käytettäessä on huomioitava bussilinjalle tulevan latausinfrastruktuurin tarpeen lisäksi latausajan tarve linjalla.

Sähköbussiliikenteessä pääte pysäkkilatausta 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 työnjohtojen 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. Samaan tapaan myös biokaasuliikenteessä täytyy liikenteen tilaajan valvoa, että busseihin ei ole tankattu edullisempaa maakaasua biokaasun sijasta.

Sähköbussiliikennettä kilpailutettaessa tulee tarjouspyyntöasiakirjoihin lisätä vaatimus vaihtoehtoisesta käyttövoimasta tai tarjouskilpailun pisteytyksestä on muutettava nykyisestä. Lisäksi tulee huomioida perinteistä dieselbussiliikennettä pidempi hankintaprosessi sekä riittävä sopimuskauden pituus.

3.6. 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 2. 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, 1,0-1,3 milj. eur. + Käyttöikä sopimuskautta pidempi 20-30 v. + Tukee alueen pienten yritysten mahdollisuuksia osallistua tarjouskilpailuihin. + 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 infrasta. 	<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. + Tukee alueen pienten yritysten mahdollisuuksia osallistua tarjouskilpailuihin. + Latausasemat tehdään katualueille ja keskustassa voivat vaikuttaa kaupunkikuvaan. + 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 tilatessaan varmistua laitteiden yhteensopivuudesta (toistaiseksi ei standardia). + Liikennöitsijä voi kilpailuttaa sähköenergian. + Häiriötilanteissa on eduksi, jos liikennöitsijällä suora sopimussuhde toimittajaan ja huoltajaan. Muutoin tarve sopimuksin asettaa häiriöiden korjausajat ja sanktiot. + Liikennöitsijä voi valita kokonaistaloudellisesti edullisimman ratkaisun: käyttääkö varikkolatausta vai/ja päätepysäkkilatausta. - Käyttöikä sopimuskautta pidempi (latausasema voi siirtyä tilaajalle sopimuskauden päättyessä) - Voi olla riski, ettei kaupunki hyväksy haluttua latausaseman sijaintia (riskiä pienentää, jos mahd. 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.

Tilaja voi tarjota liikennöitsijän käyttöön biokaasun tai latausasemien sähkön. Varsinkin biokaasun osalta muodostuu selvä kannustin biokaasulla liikennöintiin. Jos tilaja 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 toimittajia. Koska Hämeenlinnassa on kattava kaasuputkiverkosto, voi liikennöitsijä valita vapaammin keltä ostaa biokaasun, mikäli biokaasun tuottajat johtavat kaasua kaasuputkiverkostoon. 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.

Isojen investointien vuoksi on hyvä arvioida, ottaako tilaaja tavanomaista isomman roolin liikenteen hankinnassa. Toisaalta isoja investointeja voidaan kompensoida sopimusaikaa pidentämällä.

Pääsääntöisesti sähköbussien latausasemia käyttää vain yhden liikennöitsijän linja-autot. Paikoin voi olla perusteltua muuttaa kohdejakoja siten, että kaikki saman latausaseman linjat kuuluvat samaan kohteeseen.

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 pika-latausaseman hinnalla on mahdollista ostaa ylimääräinen sähköbussi. Vaihtoehtojen kannattavuuteen vaikuttaa luonnollisesti varikon sijainti suhteessa linjan reittiin. Tarjouspyynnössä voidaan edellyttää myös, että sopimuskauden päättyessä päätepysäkkien sähkön latausasemat siirtyvät tilaajalle, mikä alentaa investointitarpeita seuraavilla kilpailuttamiskierroksilla.

4. HAASTATTELUT

4.1. Liikennöitsijöiden haastattelut

Työn aikana lähetettiin haastattelupyyntö Hämeenlinnan kaikille kahdeksalle kaupunki- ja seutuliikenteen liikennöitsijälle. Haastattelupyyntöön vastasi neljä liikennöitsijää:

- Pekolan Liikenne Oy
- Vekka Liikenne Oy
- Inter Kuljetus Oy
- Länsilinjat Oy

Lisäksi haastateltiin Koiviston Auto -konsernia, jolla on kokemusta kaasu- ja sähköbussiliikenteestä.

4.1.1. Toiminnan yleispiirteet

Haastatellut liikennöitsijät toimivat pääasiassa Hämeenlinnan ja sen seutukunnan alueella. Lisäksi on paikallisliikennettä yksittäisissä kaupungeissa ja yksi liikennöitsijä toimii laajemmin Länsi-Suomen alueella. Osa liikennöitsijöistä hoitaa myös esimerkiksi koulukuljetuksia pikkubusseilla useiden kuntien alueella. Eri liikennemuotojen osuus (Hämeenlinnan paikallisliikenne, paikallisliikenne muualla Suomessa, seutuliikenne, pitkämatkainen liikenne ja tilausajot) vaihtelee liikennöitsijöittäin. Pienkalustolla tehtävät koulukuljetukset ovat merkittävässä roolissa.

Liikennöitsijöitä kiinnostaa Hämeenlinnan alueella liikennöinti, kunhan se on kilpailullisesti mahdollista. Nykyisellään Hämeenlinnan liikennöinnistä kilpailee monta liikennöitsijää – kilpailutilanne on tilaajan kannalta hyvä, mutta riskinä on myös liian alhainen hintataso, joka voi johtaa laadun heikentymiseen. Pitkät sopimuskaudet johtavat toisaalta siihen, että paikallisliikenteestä on sivussa pidemmän aikaa ja johtaa toiminnan supistamistarpeeseen. Laajentuminen esimerkiksi taksiliikenteeseen on kiinnostavaa.

4.1.2. Siirtyminen vähäpäästöisempään liikenteeseen

Liikennöitsijät ovat valmiita vaihtoehtoihin käyttövoimiin. Toiveena on kuitenkin, että tilaajan edustajat ymmärtävät vaihtoehtojen käyttövoimien haasteet, riskit ja vaikutukset hintatasoon. Toiveena on, että nämä asiat huomioidaan tarjouskilpailuja valmisteltaessa ja liikennöintisopimuksissa. Toiveena on, että tilaaja ottaa vastuun infrasta ja sopimuskaudet ovat pitkiä kaluston suuremman hankintakustannuksen vuoksi. Isommat liikennöitsijät ovat valmiimpia ottamaan vastuuta kokonaisuudesta.

Hämeenlinna nähdään kuitenkin melko pieneksi kaupungiksi, ja vaadittavan infran toteuttamiseen on todennäköisesti iso kynnyks. Euro 6 -mallin dieseleillä, etenkin uusiutuvan biodieselin avulla, saadaan päästöt todella alas, joten se voisi hyvinkin riittää Hämeenlinnan kokoiseen kaupunkiin. Pienemmissä kaupungeissa ajetaan liikennöitsijöiden näkemyksen mukaan dieseleillä vielä todennäköisesti aika pitkään.

Liikennöitsijät ovat valmiita liikennöimään **uusiutuvalla biodieselillä**, jos saatavuus on hyvä ja kustannukset järkevällä tasolla. Erityisenä riskinä nähtiin, että liikennöitsijä voittaisi liikenteen sitoutuen käyttämään uusiutuvaa biodieseliä, mutta sen hinta kasvaisi ennakoimattomasti sopimuskauden

aikana. Sen vuoksi uusiutuvan biodieselin hinnan kehittyminen tulisi huomioida indeksitarkistusten yhteydessä.

Osan mielestä **biokaasu** voi olla hyvä vaihtoehto, jos infra on kunnossa ja edellyttäen, että kaasu on riittävän tasalaatuista. Osan mielestä kaasubussin hyödyt verrattuna dieselkäyttöisiin Euro 6 -busseihin ovat kuitenkin liian pienet suhteessa vaadittavaan infraan, kaluston käyttöikään ja huoltoon.

Sähköbussit vaativat merkittävän infran toteuttamisen. Liikennöitsijät kokevat, ettei kaupunki ole valmis tähän. Liikennöitsijältäkin vaaditaan isoja investointeja varikkolatauksen toteuttamiseen (muuntamo, sähköliittymä, latauslaitteet) ja tämä voi olla liian iso kynnys etenkin pienemmille liikennöitsijöille.

4.1.3. Käyttövoimien kilpailuttaminen

Pienemmät seudun liikennöitsijät ovat sitä mieltä, että vastuu lataus- ja tankkausinfrastruktuurista on tilaajalla. Tätä tukevat tankkaus- ja latausinfrastruktuurin pitkä elinkaari ja se, että liikenteestä vastaavat useat liikennöitsijät. Yksi liikennöitsijä oli lisäksi sitä mieltä, että kaluston pitäisi Hämeenlinnan kokoisessa kaupungissa olla siirrettävissä seuraavalle liikennöitsijälle, ja/tai että Tampereen allianssimalli raitiotien liikennöinnissä, jossa tilaaja tarjoaa kaluston, on operointiin ainut vaihtoehto, jotta keskisuuret yritykset saadaan mukaan markkinoille. Isommat liikennöitsijät ovat valmiimpia otamaan vastuuta koko järjestelmästä. Tosin haasteeksi tunnistettiin lyhyet tarjousajat sekä lyhyt aika tarjouskilpailun ratkaisemista liikenteen alkuun – tässä ajassa ei ole välttämättä riittävästi aikaa selvittää ja toteuttaa infrastruktuuria. Pidettiin lisäksi hyvänä, että tilaaja määrittäisi vain tavoitteet ja liikennöitsijä voisi tarjota ratkaisun päästötavoitteen saavuttamiseksi. Alla on liikennöitsijöiden näkemyksiä vaihtoehtoisista kilpailuttamismalleista vaihtoehtoisten käyttövoimien osalta:

Tilaaja päättää käyttövoiman ja edellyttää sitä liikennöitsijöiltä. Osa liikennöitsijöistä näki, että tilaajan suora linjaus on edellytys sille, että tarjotaan uudella käyttövoimalla. Muutoin liikennettä tarjotaan olemassa olevalla kalustolla.

Tilaaja antaa pisteitä well-to-wheel CO2-päästöjen mukaan ja liikennöitsijä valitsee käyttövoiman. Tähän liittyvät infraan liittyvät ratkaisut: sitoutuisiko kaupunki toteuttamaan tarjousten mukaista infraa, ottaen huomioon, että valinta saattaisi liikennöitsijästä riippuen olla hyvin erilainen.

Tilaaja antaa kustakin käyttövoimasta lisäpisteitä. Tämän pitäisi olla jollain tavalla sidottu kustannuksiin. Johtaa muuten helposti siihen, että tarjoaja ei voi pitää kiinni siitä mitä on luvannut.

Tilaaja pyytää vaihtoehtoisia tarjouksia eri käyttövoimista ja valitsee tarjousten perusteella käyttövoiman. Isoin liikennöitsijä piti tätä mahdollisena, vaikka ei parhaana mallina.

”Ranskalainen urakka” - Tilaaja ilmoittaa kiinteän hinnan ja liikennöitsijä määrittelee, min-kälaista palvelua tarjoaa hinnalla. Ranskalaista urakkaa pidettiin mielenkiintoisena mahdollisuutena, jolla voisi saada uudenlaisia avauksia. Ranskalaiseen urakkaan voisi sisällyttää vapauden, että liikennöitsijä voi ajaa vähäisemmän kysynnän aikana pienkalustolla. Tämä antaisi mahdollisuuden varsinkin yrityksille, joilla on paljon pienkalustoa koululaisliikenteessä.

Varsinkin pienet liikennöitsijät toivovat, että tilaaja ottaa isomman roolin, mikäli käyttövoimavaihtoehdot edellyttävät isompia investointeja.

Isommat liikennöitsijät ovat valmiimpia uusiin käyttövoimiin, mutta painottavat sitä, että sekä tilaaja että liikennöitsijä ymmärtävät riskit.

4.1.4. Muut näkökulmat uusiin käyttövoimiin sekä yleisesti kilpailuttamiseen

Liikennöitsijän katteet tulevat hyvin pienistä puroista, mikä tilaajan on tiedostettava. On aloitettava hyvin varovasti, eikä ottaa riskejä. Laatuikäytävillä liikenteen volyyymi voisi riittää kattamaan kustannukset.

Kaikki haastatellut nostivat esiin kaluston järkevän koon. Liikennöitsijöiden mielestä ei ole järkevää ajaa aina isolla autolla, jos matkustajamäärät ovat hyvin pieniä. Kaluston kokoon liittyy liikenteen tilaajan puolelta kuitenkin kysymys siitä, halutaanko palvelua tuottaa tasalaatuisena vai otetaanko riski siitä, että jossain tapauksessa pienestä kalustosta tulee este matkustajalle. Kysymys käytettävän kaluston koosta liittyy erityisesti kesäliikenteeseen.

Kalusto tulisi ylipäätään saada aktiivisemmin käyttöön. Keskusteltiin siitä, voitaisiinko kuljetuksia tehostaa esim. yhdistämällä koululaisten ja vanhusten kuljetukset, joiden ajankohdat voisivat olla paremmin lomittain.

Tilaajan ja liikennöitsijän pitäisi tehdä enemmän asioita yhdessä. Kilpailutusasetelma on uutta, ja sitä edelleen harjoitellaan. Ruotsissa asiat ovat jo pidemmällä ja markkinavuoropuhelua tilaajan ja tarjoajien välillä käydään. Kumppanuuskuvio hyödyttää kaikkia ja tähän suuntaan Suomessakin ollaan menossa. Sopimusten tulee olla riittävän pitkiä, esim. 5 + 3 vuotta, jotta kaluston investointi voidaan paremmin maksaa sopimuskauden aikana.

HSL:n ympäristöbonusjärjestelmää pidettiin hyvänä, koska esimerkiksi uusiutuvan biodieselin toimituksissa eivät polttoainetoimittajat sitoudu vuotta pidempiin sopimuksiin. Tällöin voidaan vuodeksi sitoutua liikennöintiin puhtaammalla polttoaineella. Sähköbussiliikenteeseen ympäristöbonus ei kuitenkaan sovellu.

Pitäisi panostaa siihen, että ihmiset saadaan busseihin. Ei ole etua liikennöidä puhtaasti tyhjiä busseja. Kaupungin toivotaan ottavan myös enemmän digitaalisia palveluja käyttöönsä.

4.2. Kalustovalmistajien haastattelut

Kalustovalmistajista työssä haastateltiin Scanian, VDL:n ja Volvon edustajia. Kalustovalmistajien näkemyksissä on selkeitä eroja, jotka voi ymmärtää paremmin, kun huomioidaan kunkin valmistajan tausta ja markkina-asema eri käyttövoimissa. Kalustovalmistajien näkemyksistä on selvästi havaittavissa myös, missä määrin ne ovat panostaneet uusiin käyttövoimiin. Sähköbussiliikenteen osalta VDL:llä on selvästi tavoitteena olla kehittyvällä markkinalla etulyöntiasemassa, kun puolestaan Volvo ja Scania panostavat ensin testaamiseen ja tuotteen saamiseksi luotettavaksi. Volvo ja Scania haluavat varmistua, että sähköbussien tuotanto ja käyttö ovat taloudellisia, minkä vuoksi yritykset eivät ole ensimmäisten joukossa tulossa markkinoille. Volvolla ja Scanialla on myös omaa dieselmoottorituotantoa, minkä vuoksi he haluavat myös ensin kehittää omaa tuotettaan. Scanian näkemyksissä heijastuu selvästi se, että Scanialla on oma busseihin kehitetty kaasumoottori. Jos Suomessa siirrytään enemmän kaasubussiliikenteeseen, Scania on puolestaan ainoa kalustovalmistaja, joka tarjoaa kaasubusseja ja joka on jo vahvasti Suomen bussikalustomarkkinoilla. Kaikki Suomen viime aikaiset kaasubussit ovatkin Scanian valmistamia.

Uusiutuvaa biodieseliä pidettiin varteen otettavana vaihtoehtona Hämeenlinnan seudulle. Tällöin voidaan käyttää nykyistä kalustoa, mutta voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä. Uusiutuvaa biodieselin haasteeksi koettiin epävarmuus tuotannon määrästä ja hinnan kehityksestä varsinkin, jos monet toimijat siirtyvät sen käyttämiseen.

Scania pitäisi kaasubussiliikenteeseen siirtymistä järkevänä ratkaisuna. Biokaasulla liikennöitäessä voidaan hyödyntää paikallisia yhdyskuntajätteitä. Kaasubussien hankinta ja huoltokustannukset ovat jonkin verran dieselbusseja kalliimpia. Kaasubussit ovat kuitenkin toimintavarmaa tekniikkaa, jota esimerkiksi Ruotsissa käytetään paljon. Volvo on tuottanut aiemmin myös kaasubusseja, muttei näe enää kaasubusseissa etua, koska Euro 6 -dieselmoottorilla voidaan saavuttaa samat ympäristöhyödyt varsinkin käyttäen uusiutuvaa biodieseliä.

Kalustovalmistajien näkemykset käyttövoimaratkaisujen suositeltavuudesta poikkeavat selvästi toisistaan.

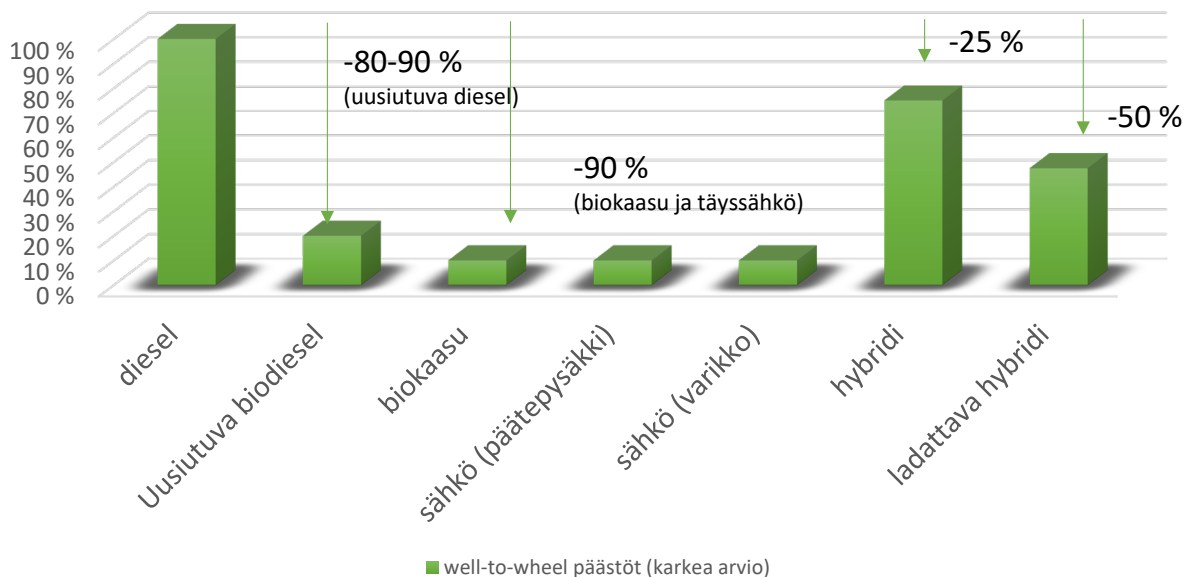
Valmiudet sähköiseen liikenteeseen siirtymisessä jakavat selvästi kalustovalmistajien mielipiteitä. Myös näkemykset lataustavasta jakavat mielipiteitä. Volvo ja Scania puoltavat myöhempää siirtymistä sillä, ettei sähköbussien valmistuksesta ja latauksesta ole vielä standardia. Ne näkevät myös perusteltuna, että kaupunki ottaa vastuun latausinfrastruktuurin toteuttamisesta päätepysäkeillä latausasemien pitkän elinkaaren vuoksi ja koska kaupungilla on paras mahdollisuus ja tietämys, minne latausasemat kannattaa rakentaa. VDL puolestaan tarjoaisi mielellään sekä kaluston että latausinfrastruktuurin, koska useamman toimijan mallissa häiriöitä on tavallisesti enemmän – kun yksi osapuoli ottaa kokonaisvastuun, liikenne alkaa todennäköisemmin aikataulussa ja ilman häiriöitä.

5. KÄYTTÖVOIMAVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

5.1. Päästöt ja kustannukset

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

Uusiutuva biodiesel ja biokaasu eivät ole lähipäästöttömiä, mutta fossiiliseen dieseliin verrattuna biodieselin lähipäästöt ovat alhaisemmat. Biokaasun lähipäästöt ovat samalla tasolla fossiilisen dieselin kanssa. Uusiutuva biodiesel palaa puhtaammin ja sen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt ovat fossiilisen dieselin käyttöön nähden edullisempia. Esimerkiksi uusiutuva biodiesel ei sisällä lainkaan rikkiä. Uusiutuvan biodieselin puhtaammalla palamisella on suurempi vaikutus vanhalla kalustolla, jolla on alempi Euro-päästöluokitus kuin uudella Euro 6 -päästöluokan busseissa. Biokaasun typenoksidipäästöt ovat puolestaan noin 40 % ja pienhiukkaspäästöt noin 70 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Täyssähkö on täysin lähipäästötöntä.



Kuva 22. Käyttövoimavaihtoehtojen well-to-wheel päästöt (karkea arvio) suhteessa Euro 6 -päästöluokan dieselbusiliikenteeseen (Kettunen 2015, Edward 2011, Nylund ym. 2015, Mikkonen 2016, Neste 2018 ja UPM 2018).

Yllä olevasta kuvasta selviää, että biokaasun ja täyssähkön (Suomen keskimääräinen sähkön tuotantotapa) well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 90 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Biokaasun osalta voidaan päästä parempaan alenemaan, mutta tuotanto ja logistiikka tuottavat jonkin verran päästöjä. Sähkön hiilidioksidipäästöt ovat myös selvästi alemmat, jos sähkö tuotetaan uusiutuvasta energiasta tai ydinvoimalla. Uusiutuvan biodieselin well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 80–90 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Neste ilmoittaa uusiutuvan biodieselin well-to-wheel päästökseen 90 % ja UPM 80 % pienemmäksi kuin fossiilisen dieselin. Biokaasun tavoin uusiutuvalla biodieselillä voidaan päästä parempaan alenemaan, mutta tuotanto ja logistiikka aiheuttavat päästöjä.

Hybridibussiliikenne on myös ympäristöystävällisempää kuin perinteinen dieselbussiliikenne. Hybridibussit ja ladattavat hybridibussit eivät kuitenkaan ole lähipäästöttömiä. Hybridibussien hiukkas- ja

typpioksidipäästöt ovat noin 40-50 % perinteistä dieselbussia pienemmät. Hybridin well-to-wheel hiilidioksidipäästöt ovat noin 15-35 % pienemmät kuin fossiilisella dieselillä. Uusiutuvaa biodieseliä käytettäessä hybridinkin hiilidioksidipäästöt alenevat merkittävästi.

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. Uusiutuvaa biodieseliä käytettäessä ladattavaan hybridinkin hiilidioksidipäästöt alenevat merkittävästi.

Kustannusten osalta on tarkasteltu investointikustannuksista kalusto- ja infrakustannuksia sekä käytön aikaisista kustannuksista energia- ja huoltokustannuksia. Käyttövoimavaihtoehdoista pienimmät investointikustannukset ovat dieselillä, uusiutuvalla biodieselillä ja hybridibusseilla. Edellisissä käyttövoimavaihtoehdoissa ei ole tarvetta infrastruktuuri-investointeihin.

Kaasubussikaluston investointikustannus on hieman suurempi kuin dieselbussikalustolla noin 270 000 euroa. Lisäksi on investoitava kaasubussien tankkausinfrastruktuuriin. Pikatankkausasema maksaa noin 1,0 miljoonaa euroa. Liikennöitsijän voi olla perusteltua investoida myös hidastankkaukseen, koska pikatankkaukseen sitoutuu työaikaa, mikä pitkällä aikavälillä lisää merkittävästi kustannuksia. Hidastankkauspaikan toteuttaminen maksaa noin 100 000 euroa. Lisätankkauspaikkojen rakentaminen hidastankkauspaikalle on melko edullista. Liikennöitsijät voivat käyttää myös raskaalle liikenteelle tarkoitettuja julkisia asemia. Jos julkinen tankkausasema sijaitsee kaukana, liikennöitsijälle voi syntyä merkittäviäkin lisäkustannuksia tankkauksesta aiheutuvista siirtokilometreistä. Henkilöautojen julkisilla tankkausasemilla heikkoutena on puolestaan alhaisempi teho, minkä vuoksi busin tankkaus kestää noin puoli tuntia.

Suurin osa nykyisistä Hämeenlinnan seudulla liikennöivien yritysten bussivarikoista sijaitsee Elenia Lämpö Oy:n jakeluverkon varrella tai välittömässä läheisyydessä. Liittäminen kaasuverkkoon on mahdollista kohtuullisin kustannuksin. Elenia voi tarjota liitokset omaan paikallisjakeluverkkoonsa. Liitos kaasuputkeen on suositeltavaa, silloin kun se on mahdollista.

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. Sähköbussien latausinfrastruktuurin hankinnassa vaihtoehtona on latauspalvelun hankkiminen erilliseltä toimittajalta. Esimerkiksi HSL on hankkinut Leppävaaran terminaalin pikalatauspalvelun kuukausiveloitteisena kokonaispalveluna, joka sisältää viiden pikalatauspaikkojen (pantografilataus) toteutuksen sekä kunnossa- ja ylläpidon. Latauspalvelun toimittaja laskee palvelun järjestämisestä HSL:ltä kiinteän kuukausimaksun (70 000 €/kk) ja ladatun sähkön busioperaattorilta. Toimittaja lisää sähkön hintaan tarjouksessaan antamansa kiinteän kateprosentin (5 %). Latauspalvelusta on tehty kuuden vuoden mittainen sopimus, joten palvelun kiinteät kustannukset HSL:lle ovat sopimuskauden aikana yhteensä 5,04 milj. €. Hinnassa on huomioitu myös Sellon laajennuksen rakennustyömaan aikainen tarve väliaikaisille pikalatauspaikoille. Kokonaiskustannus on samalla tasolla kuin mitä seuraavassa taulukossa on mainittu päätepysäkin latauspaikkaa kohden.

Sähköliittymän hinta päätepysäkillä sijoitettavalle pikalatauslaitteelle, käytettäessä mitoittavaa 500 kW nimellisteho, olisi esimerkkitapauksissa Loimalahden päätepysäkillä noin 54 000 € (alv 0 %) ja Rautatieasemalle noin 22 000 € (alv 0 %). Liittymien koko olisi 4x3x200A. Molemmissa sijainneissa tarvitaan lisäksi verkon vahvistuksena uusi muuntamo. Rautatieasemalla muuntamon sijoittaminen ympäristöön saattaa olla haasteellista. Liittymien toimitusaika on 14-24 viikkoa.

Sähköliittymä Hämeenlinnan nykyisten liikennöitsijöiden varikkopaikoille tilanteessa, jossa varikolle tulee kuusi 50kW:n kokoista hidasta latauslaitetta, maksaisi noin 33 000 € (alv 0 %), riippuen tuleeko

laitteet suoraan varikon nykyisen pienjänniteliittymän taakse vai omaksi liittymäkseen. Liittymien koko voisi tässä tapauksessa olla 3x3x160A. Lisäksi kaapelointeja joudutaan uusimaan myös varikon tontilla. Liittymismaksun maksaa liittymän tilaaja. Useimmissa tapauksissa tarvitaan lisäksi verkon vahvistuksena uusi muuntamo, joka rakennetaan sähköyhtiön vastuulla ja kustannuksella.

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 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 lisälämmittintä. Lisälämmittimen polttoaineen kulutuksen vaikutus kokonaiskustannuksiin on kuitenkin vähäinen. Laskelmissa on oletettu, että biokaasun osalta lisälämmittintä käytetään 2 kk, dieselillä 4 kk ja sähköllä 6 kk vuoden ajosuoritteesta. Tällöin biokaasun km-kustannus kasvaa 0,023 eur/km, dieselin 0,046 eur/km, uusiutuvan biodieselin 0,050 eur/km ja sähkön 0,076 eur/km. Dieselin hinnassa lisälämmityksestä syntyvä dieselin kulutus on kuitenkin jo mukana nykyisissä liikennöintikustannuksissa. Kaasubussien lisälämmittintä käytetään laskelmassa biokaasussa ja sähköbussin uusiutuvalla biodieselillä.

Sähkön hinta muodostuu sähkönsiirrosta, energiasta sekä sähköverosta. Sähkönsiirto ja sähkövero ovat kiinteitä maksuja, mutta sähköenergian hinta on kilpailutettavissa. Suuria sähkötehoja vaativat bussien latausasemat kuuluvat Elenialla tehosiirtotuotteisiin, joiden tehomaksu määräytyy latausase- man viimeisen 12 kuukauden kahden suurimman kuukausitehon keskiarvona. Näin ollen käytössä olevien latausasemien määrällä on melko suuri merkitys polttoaineena käytettävän sähkön kokonais- hintaan, vaikka energiankulutus pysyisi samalla tasolla. Esimerkiksi jos liikennöidään 6 sähköbussilla, joilla ajetaan yhteensä noin 500 000 km/v (n. 80 000 km/auto/v), on yhden lisälatausase- man käytöstä muodostuva lisäsähkönhinta noin 2 senttiä/km.

Tässä työssä käytetyllä polttoaineen kulutuksella (ei sisällä lisälämmittimen polttoaineen kulutusta) ja energian hinnalla laskettuna käyttövoimavaihtoehtojen pienimmät energiakustannukset ovat täyssähköllä noin 0,11 €/km (6 bussia, 2 pikalatausase- maata tai 6 hidaslatausase- maata varikolla). Tästä sähköenergian osuus on noin 0,04 eur/km, sähkön siirron osuus hieman alle 0,05 eur/km ja sähköve- ron osuus hieman yli 0,02 eur/km. Lisäksi lisälämmitin nostaa kilometrikustannusta 0,076 eur/km.

Seuraavassa taulukossa on esitetty käyttövoimavaihtoehtojen vertailu eri näkökulmista.

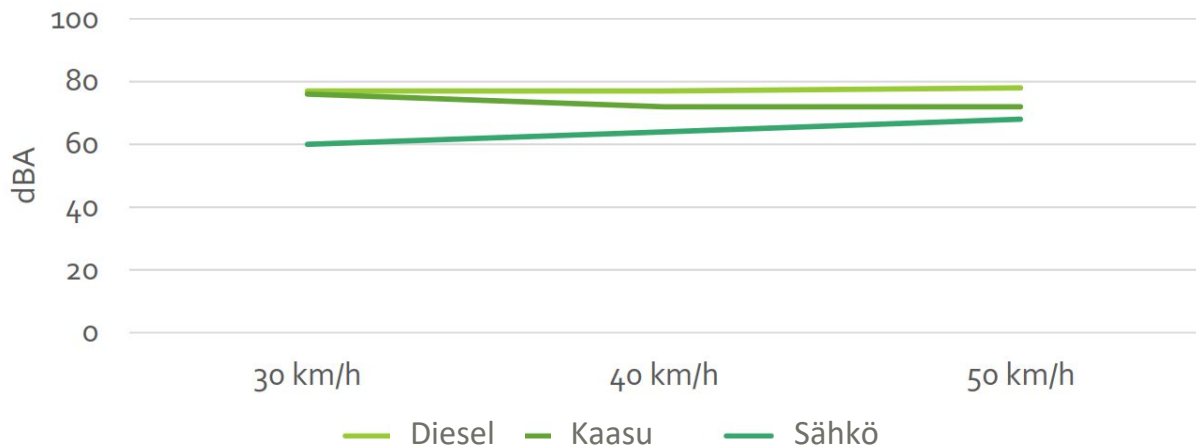
Taulukko 3. Käyttövoimavaihtoehtojen vertailu ominaisuuksien, päästöjen ja kustannusten näkökulmasta

	DIESEL	BIOKAASU	TÄYSSÄHKÖ	HYBRIDI	LADATTAVA HYBRIDI
KALUSTON SAATAVUUS	ERINOMAINEN (minibussit, 2-akseliset bussit, teli- bussit, nivelbussit)	HYVÄ (2-akseliset bussit, telibussit, nivelbussit)	HYVÄ (mini- bussit, 2-akseli- set bussit, teli- bussit, nivel- bussit)	HYVÄ (pää- osin käytössä 2-akseliset bussit)	KOHTALAINEN
KALUSTOTOI- MITTAJAT SUO- MEN MARKKI- NOILLA	Irisbus, Iveco, MAN, Mercedes- Benz, Scania, So- laris, VDL ja Volvo	Iveco, MAN, Mer- cedes-Benz, Sca- nia ja Solaris	BYD, Ebusco, Linkker, Mer- cedes-Benz, Scania, Solaris, VDL ja Volvo	Hess, Irisbus, Iveco, MAN, Scania, Sola- ris, Van Hool, VDL ja Volvo	Volvo

	DIESEL	BIOKAASU	TÄYSSÄHKÖ	HYBRIDI	LADATTAVA HYBRIDI
KALUSTOKUSTANNUS (alv 0%)	240 000 €	270 000 €	420 000 €	300 000 €	420 000 €
JÄLKIMARKKINAT	Olemassa olevat ja ennustettavat. Uutta kalustoa voimakkaasti painottavat pisteytykset saattavat kuitenkin heikentää jälkimarkkinoita.	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				
TOIMINTAMATKA	600 km	500-700 km (riippuu kaasusäiliöiden koosta)	Päätelysäckilataus noin 50-100 km Varikkolataus noin 250 km (riippuen akkukapasiteetista)	600 km	600 km
TANKKAUS/LATAUS	Tankkaus yö- tai päivätauolla varikolla tai ulkoisella tankkausasemalla	Tankkaus varikolla liikennöinnin päätyttyä joko hidastai pikatankkauksella	Päätelysäckilataus päivän aikana linjalla sekä varikkolataus yöllä varikolla	Tankkaus varikolla	Päätelysäckilataus päivän aikana linjalla sekä varikkolataus yöllä varikolla
TANKKAUS-/LATAUSAIKA	5-10 minuuttia	Pikatankkaus 10-15 min, Hidastankkaus noin 15-30 min/bussi	Pikalataus 5min/20km, Hidaslataus 2-12 h	Muutaman minuutin	Pikalataus 5min /20km, Hidaslataus 2-12 h
POLTTOAINEEN KULUTUS	33 l /100 km	35 kg/100 km	100 kWh/100 km	noin 25 l /100 km (polttoaineenkulutus 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	1,02 €/l, (uusiutuvan biodieselin hinta +0,10 snt/l)	0,79 €/kg + siirto 0,22 €/kg	0,11 €/kWh	1,00 €/l	0,11 €/kWh 1,00 €/l
ENERGIAKUSTANNUKSET	noin 34 €/100 km, uusiutuva biodiesel noin 37 €/100 km	noin 38 €/100 km	noin 11 €/100 km	noin 25 €/100 km	noin 21 €/100 km
LISÄLÄMMITTIMEN POLTTOAINEEN KULUTUS	3 l/h (0,046 eur/km, uusiutuvalla biodieselillä 0,050 eur/km, käyttöaika-arvio yhtäjaksoisesti 4 kk/v)	3 eur/kg (0,023 eur/km, käyttöaika-arvio yhtäjaksoisesti 2 kk/v)	3 eur/l (0,076 eur/km, käyttöaika-arvio yhtäjaksoisesti 6 kk/v)	3 l/h (0,046 eur/km, uusiutuvalla biodieselillä 0,050 eur/km, käyttöaika-arvio yhtäjaksoisesti 4 kk/v)	3 l/h (0,046 eur/km, uusiutuvalla biodieselillä 0,050 eur/km, käyttöaika-arvio yhtäjaksoisesti 4 kk/v)
LISÄLÄMMITTIMEN KÄYTTÖTARVE	Euro 6 -moottorin lämpötila alhainen, joten tarvetta melko paljon	Moottorin lämpötila korkein, käyttötarve vähäisin.	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 lähipäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -80-90 %	Ei lähipäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -90 %	Lähipäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -90 % (Suomen keskimääräinen sähkön tuotantotapa)	Ei lähipäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -15-35 %	Ei lähipäästötön, CO2 (well-to-wheel) noin -35-70 %
INFRAKUSTANNUS nykyisille toimijoille (alv 0%)	Ei investointeja infrastruktuuriin	Pikatankkauslaitteet 1,0 milj. €. Lisäksi mahdolliset hidastankkauslaitteet esim. 0,1-0,3 milj.€ (6-20 bussille, riippuu bussien määrästä)	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	22 €/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 hallitsevampaa. 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 23. Diesel-, kaasu- ja sähköbussien melu eri nopeuksilla (Oulun joukkoliikenteen ympäristöpäästöt eri käyttövoimille, Micropolis, 2018).

5.2. Kooste käyttövoimien eduista ja haasteista

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

Taulukko 4. Eri käyttövoimien edut fossiiliseen dieseliin nähden.

Vertailtava tekijä	Uusiutuva biodiesel	Biokaasu	Sähkö	Hybridi	Ladattava Hybridi
Puoltavia tekijöitä	<ul style="list-style-type: none"> + Ei edellytä lisäinvestointeja nykyiseen kalustoon, koska uusiutuva biodieseliä 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 lähdeässä. + 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 liikkennöidä pääsääntöisesti sähköllä, ladataan sähköbussin tarvoon. + Pidempi toimitasäde kuin sähköbussilla dieselmoottorin ansiosta. + Häiriötilanteissa dieselillä. + Latausaika sähköbussia lyhyempi, minkä vuoksi soveltuu useammille linjoille. + Tukee joukkoliikenteen markkinointia ja ympäristöystävällistä imagoa.

Taulukko 5. Eri käyttövoimien haittoja, riskejä ja heikkouksia fossiiliseen dieseliin nähden.

Vertailtava tekijä	Uusiutuva 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"> - Paikallinen saatavuus vaihtelee - Lähipäästöt samalla tasolla kuin dieselissä. - Kaasun tankkausasemainvestointi noin 1,0–1,3 Meur, jos varikon lähellä ei busseille soveltuvaa tankkausasemaa. - Tankkausasemaverkosto vasta kehittyneessä. - 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 riippuen lataustehosta - 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 biodieseliä) - 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 biodieselin 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.

5.3. 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 6 ja 7 on poistoaikana käytetty 10 vuotta. Taulukossa 8 on poistoaikana käytetty busseille 10 vuotta, sähkön latausinfrastruktuurille 15 vuotta ja biokaasun tankkausasemalle 25 vuotta. Vertailussa käytetyt investointi- ja käyttökustannukset perustuvat taulukossa 3 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 (päätepysäkkilataus) 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 päätepysäkkilatausta käytettäessä infrakustannuksiin on sisällytetty varikolle hidaslatauslaite jokaiselle bussille. Päätepysäkkien latausasemien määrät vaihtelevat todellisuudessa päätepysäkkien määrän mukaan. Vertailutaulukossa 6 bussin tapauksessa on oletuksena 2 latausasemaa ja 20 bussin tapauksessa 6 latausasemaa.

Kaasubussiliikenteessä oletuksena on, että tankkausta varten rakennetaan varikolle kaasun pikatankkausasema sekä hidastankkauspaikat kaikille busseille (yhteensä noin 1,1–1,3 milj. euroa). Laskelmissa on oletuksena, että tankkausasemainvestoinnin maksaa liikennöitsijä, jolloin liikennöitsijä ostaa vain kaasua. Biokaasun hintana on käytetty 0,79 eur/kg + Elenian perimä kaasun siirtohintaa 0,21 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 päätepysäkkien läheisyydessä.

Taulukko 6. Esimerkki 6 bussille, joilla ajetaan 80 000 km/bussi/vuosi). Käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu (tarkastelujakso 10 vuotta). Pääte pysäkkilatausta käyttäviä sähköbussuja varten oletuksena on kahden (2) latausaseman rakentamistarve.

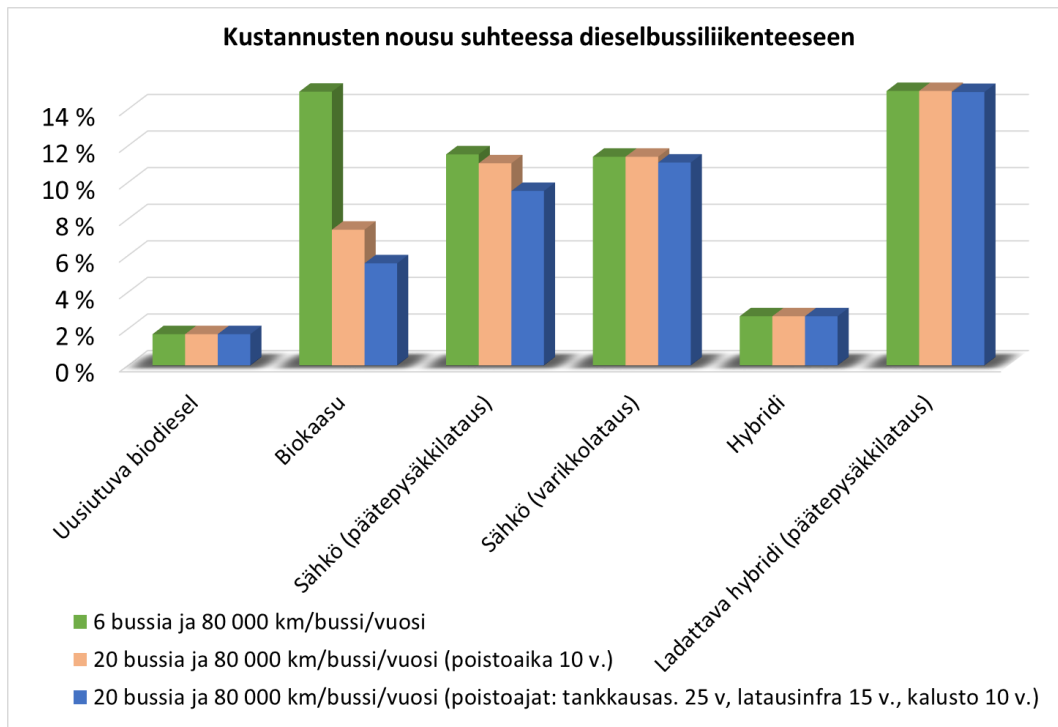
	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)				Vuosi-kustannukset (€/v)	Vuosi-kustannukset (€/v)	Vuosi-kustannukset ilman infraa (€/v)	Kustannusten nousu (%)	Kustannusten nousu ilman infraa (%)
	Infra	Kalusto	Energian hinta (+alv)	Energia	Huolto	Akkujen vaihto					
6 bussia ja 80 000 km/bussi/vuosi											
Diesel	0	1 440 000	1,02 eur/l	0,38	0,20	0,00	1 258 770	1 260 000	1 260 000	0 %	0 %
Uusiutuva biodiesel	0	1 440 000	1,14 eur/l	0,43	0,20	0,00	1 280 277	1 280 000	1 280 000	2 %	2 %
Biokaasu	1 160 000	1 620 000	1,01 eur/kg	0,40	0,22	0,00	1 447 068	1 450 000	1 300 000	15 %	4 %
Sähkö (pääte pysäkkilataus)	620 000	2 520 000	0,11 eur/kWh	0,18	0,20	0,06	1 403 966	1 400 000	1 330 000	12 %	5 %
Sähkö (varikkolataus)	120 000	2 520 000	0,11 eur/kWh	0,18	0,20	0,19	1 402 321	1 400 000	1 390 000	11 %	10 %
Hybridi	0	1 800 000	1,1 eur/l	0,30	0,25	0,01	1 292 585	1 290 000	1 290 000	3 %	3 %
Ladattava hybridi (pääte pysäkkilataus)	620 000	2 520 000	1,1 eur/l ja 0,11 eur/kWh	0,28	0,25	0,06	1 472 010	1 470 000	1 400 000	17 %	11 %

Taulukko 7. Esimerkki 20 bussille, joilla ajetaan 80 000 km/bussi/vuosi). Käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu (tarkastelujakso 10 vuotta). Pääte pysäkkilatausta käyttäviä sähköbussuja varten oletuksena on kuuden (6) latausaseman rakentamistarve.

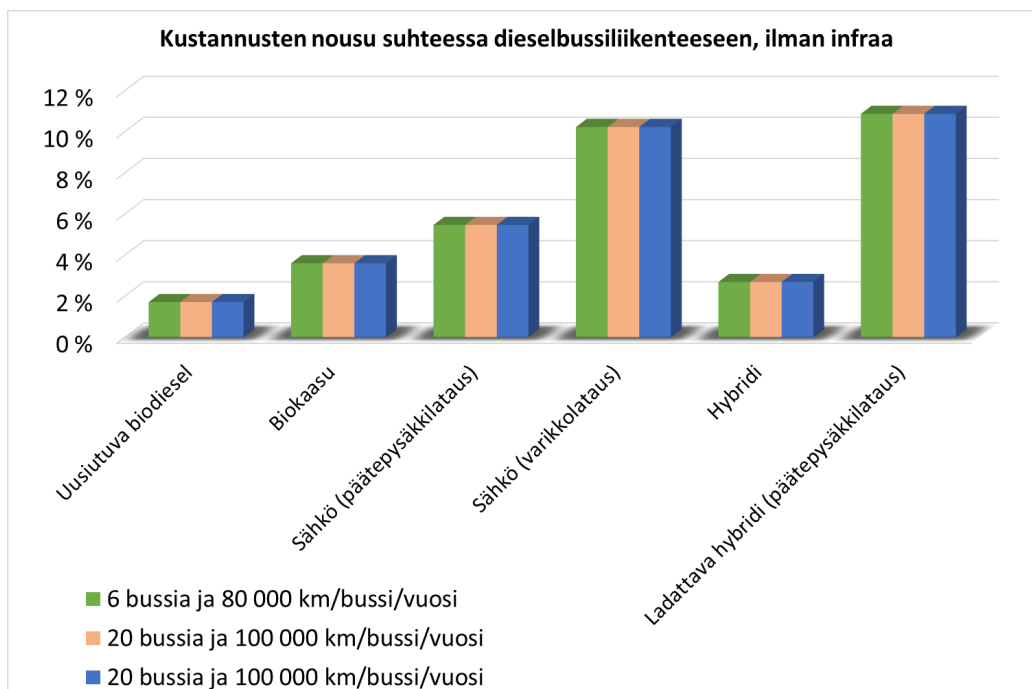
	Investointikustannukset (€)		Käyttökustannukset (€/km)				Vuosi-kustannukset (€/vuosi)	Vuosi-kustannukset ilman infraa (€/v)	Kustannusten nousu (%)	Kustannusten nousu ilman infraa (%)
	Infra	Kalusto	Energian hinta (+alv)	Energia	Huolto	Akkujen vaihto				
20 bussia ja 80 000 km/bussi/vuosi (poisto aika 10 v.)										
Diesel	0	4 800 000	1,02 eur/l	0,38	0,20	0,00	4 200 000	4 200 000	0 %	0 %
Biodiesel	0	4 800 000	1,14 eur/l	0,43	0,20	0,00	4 270 000	4 270 000	2 %	2 %
Biokaasu	1 300 000	5 400 000	1,01 eur/kg	0,40	0,22	0,00	4 510 000	4 350 000	7 %	4 %
Sähkö (pääte pysäkkilataus)	1 900 000	8 400 000	0,11 eur/kWh	0,18	0,20	0,06	4 660 000	4 430 000	11 %	5 %
Sähkö (varikkolataus)	400 000	8 400 000	0,11 eur/kWh	0,18	0,20	0,19	4 670 000	4 630 000	11 %	10 %
Hybridi	0	6 000 000	1,1 eur/l	0,30	0,25	0,01	4 310 000	4 310 000	3 %	3 %
Ladattava hybridi (pääte pysäkkilataus)	1 900 000	8 400 000	1,1 eur/l ja 0,11 eur/kWh	0,28	0,25	0,06	4 890 000	4 650 000	16 %	11 %

Taulukko 8. Esimerkki 20 bussille, joilla ajetaan 80 000 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 kuuden (6) 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				
20 bussia ja 80 000 km/bussi/vuosi (poistoajat: tankkausas. 25 v, latausinfra 15 v., kalusto 10 v.)										
Diesel	0	4 800 000	1,02 eur/l	0,38	0,20	0,00	4 200 000	4 200 000	0 %	0 %
Biodiesel	0	4 800 000	1,14 eur/l	0,43	0,20	0,00	4 270 000	4 270 000	2 %	2 %
Biokaasu	1 300 000	5 400 000	1,01 eur/kg	0,40	0,22	0,00	4 430 000	4 350 000	6 %	4 %
Sähkö (pääte pysäkkilataus)	1 900 000	8 400 000	0,11 eur/kWh	0,18	0,20	0,06	4 600 000	4 430 000	10 %	5 %
Sähkö (varikkolataus)	400 000	8 400 000	0,11 eur/kWh	0,18	0,20	0,19	4 660 000	4 630 000	11 %	10 %
Hybridi	0	6 000 000	1,1 eur/l	0,30	0,25	0,01	4 310 000	4 310 000	3 %	3 %
Ladattava hybridi (pääte pysäkkilataus)	1 900 000	8 400 000	1,1 eur/l ja 0,11 eur/kWh	0,28	0,25	0,06	4 820 000	4 650 000	15 %	11 %



Kuva 24. Käyttövoimavaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailu 6 ja 20 bussilla. 6 ja 20 bussin osalta kaluston ja sähköbussien latausinfrastruktuurin poisto-aika on 10 vuotta. Lisäksi 20 bussin toisessa tapauksessa bussien poisto-aika on 10 vuotta, sähkön latausinfrastruktuuriin poisto-aika 15 vuotta ja kaasun tankkausasemien poisto-aika 25 vuotta.



Kuva 25. Käyttövoimavaihtoehtojen kustannusvaikutukset ilman infrastruktuuria 6 ja 20 bussilla. 20 bussin molemmissa edellisen kuvan tapauksissa kustannusten kasvu ilman infrastruktuuria on yhtä suuri.

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

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. Hämeenlinnassa liikennöitsijöiden varikkojen läheisyydessä on kaasuputkiverkosto, joten pitkällä tähtäyksellä on eduksi liittyminen kaasuverkoston ja kaasun tankkausaseman rakentaminen varikolle. Elenia perii kaasun siirrosta noin 0,22 eur/kg. Jos liikennöitsijä vastaa biokaasun tankkauksesta, on liikennöitsijällä käytännössä seuraavat vaihtoehdot:

- a) Käydä tankkaamassa julkisella jakeluasemalla (aiheutuu siirtoajoja),
- b) Esim. Gasum rakentaa varikolle tankkausinfran vastaten investoinnista (liikennöitsijä maksaa kaasun hinnassa investoinnin, noin 1,05 eur/kg + alv) tai
- c) Liikennöitsijä rakennuttaa varikolle tankkausinfran (esim. Gasum rakentaa) ja maksaa esim. Gasumille kaasusta 1,01 eur/kg (sis. Elenian siirtohinnan) + 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 pienemmällä bussien määrällä taloudellisesti kannattavampaa, mikäli varikon tankkausasema sijaitsee paikalla, joka houkuttelee myös muita 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. Käytännössä rajoitteita asettavat mielekkäät kohteiden koot, koska pitkällä tähtäimellä on eduksi, jos seudulla on useampia liikenteenharjoittajia.

Uusiutuvalla dieselillä voidaan kustannustehokkaimmin alentaa CO₂-päästöjä käyttäen myös vanhempaa kalustoa. Biokaasuun kannattaa siirtyä riittävän suuressa, noin 15 bussin kohteessa, jotta kustannustaso ei nouse yli 10 %. Sähköbussiliikenteessä on myös saatavissa mittakaavaetua: hiukan alle 10 bussilla liikennöintikustannukset kasvavat noin 10 prosenttia. Biokaasu- tai sähköbussiliikenteeseen ei kannata siirtyä pienissä kohteissa.

Sähköbussiliikenteen investointikustannukset ovat suuret. Käyttökustannukset ovat kuitenkin edulliset. Sen vuoksi pääte pysäkkilatausta käytettäessä sähköbussiliikenne on sitä kannattavampaa, mitä tiheämpi vuoroväli linjalla on. Pääte pysäkkilataus soveltuu käytettäväksi erityisesti kaupunkien paikallisliikenteessä linjapituudeltaan kohtuullisen lyhyillä sekä liikennöintisuoritteeltaan ja kalustomäärältään suurilla bussilinjoilla. Pääte pysäkkilatausta käytettäessä on tarve lisäinvestoinneille pääte pysäkkilatausasemien rakentamiseen. Varikkolataus soveltuu pääte pysäkkilatausta 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.

20 bussin vaihtoehtojen vertailutaulukko osoittaa, että liikennöintikustannukset kasvavat noin kaksi prosenttia (2 %), 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 se, 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 päätepysäkkiajat 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.

6. SUOSITUKSET JA ETENEMISPOLUT HÄMEENLINNASSA

6.1. Lähtökohdat

Uusia käyttövoimia kilpailutettaessa kilpailutuksen on hyvä alkaa riittävän varhain. Sekä tarjousten jättöajan että ajan tarjouskilpailun ratkaisusta liikenteen alkamiseen on oltava riittävästi pitkä. Tarjousten jättöajan on oltava riittävän pitkä, jotta liikennöitsijät voivat selvittää mahdolliset vaihtoehtoisten käyttövoimien edellyttämät infrastruktuuri-investoinnit sekä pyytää alustavat tarjoukset kalustosta. 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.

Uusia käyttövoimia kilpailutettaessa niin tarjousten jättöajan kuin ajan tarjouskilpailun ratkaisusta liikenteen alkamiseen on oltava riittävän pitkä.

Ajan tarjouskilpailun ratkaisusta liikenteen alkamiseen on oltava vähintään 12 kk, jotta kalusto ehditään toimittamaan ennen liikenteen alkua ja liikennöitsijä ehtii rakennuttamaan tarvittavat infrastruktuuri-investoinnit.

Hämeenlinnan kaupunkiseudun kaupunkiliikenteessä on keväällä 2019 käytössä 21 linja-autoa, jotka on jaettu kuuteen 1–6 auton kohteeseen. Kohteen 6 sopimuskausi optiovuosineen päättyy toukokuun lopussa vuonna 2020. Myös kohteiden 4 ja 5 sopimuskaudet päättyvät 5/2020, mutta näissä kohteissa on mahdollista hyödyntää sopimuksen 2 vuoden optiokautta.

Taulukko 9. Hämeenlinnan kaupunkiseudun bussiliikenteen sopimuskohteet

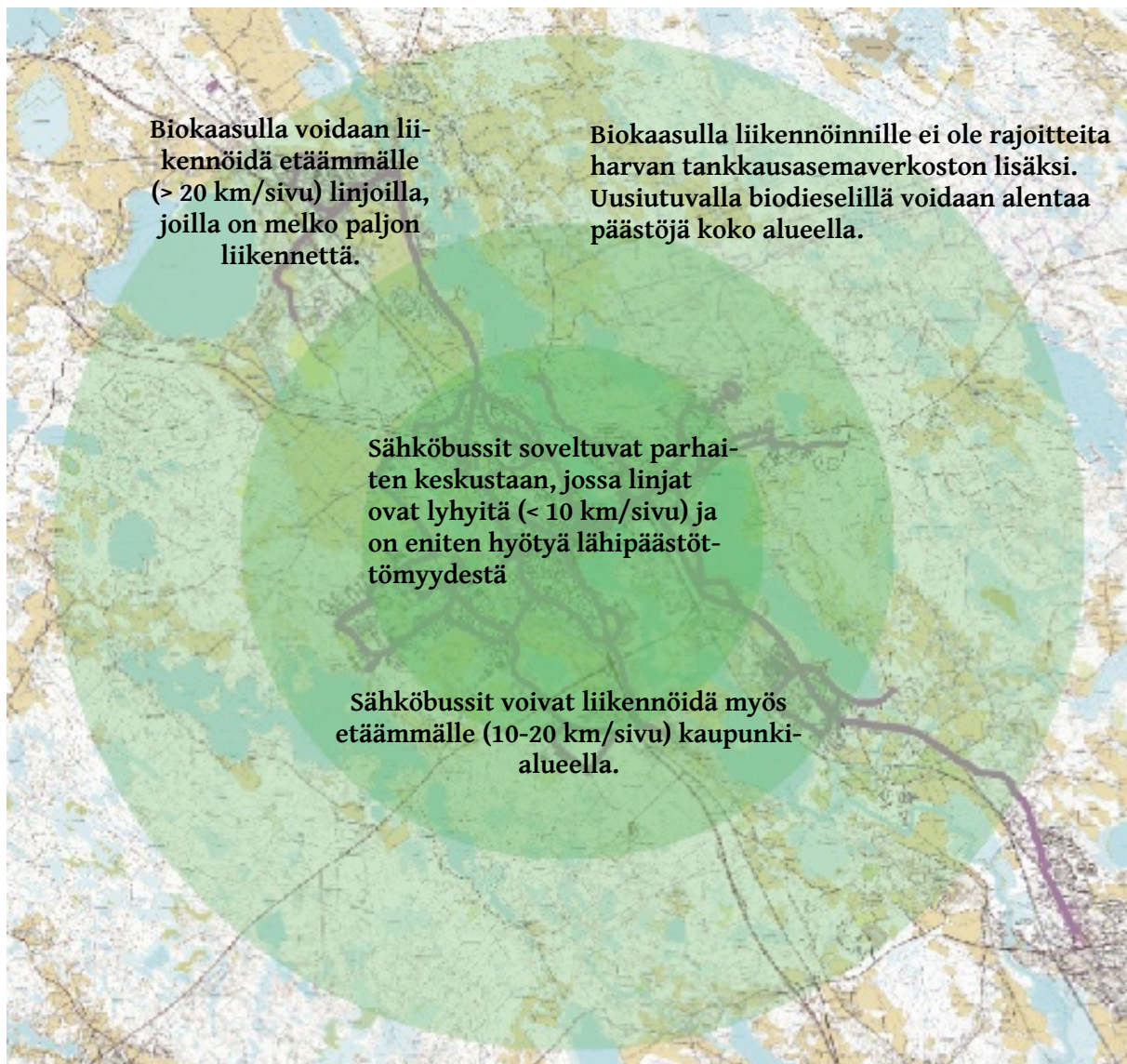
SOPIMUSKOHDE	LINJAT	KALUSTOMÄÄRÄ	SOPIMUS ALKAA	SOPIMUS PÄÄTTYY	OPTIOKAUDEN PITUUS
Kohde 1	5, 10	5	4.6.2017	3.6.2023	4 v
Kohde 2	2	2	4.6.2017	4.6.2022	3 v
Kohde 3	4, 12, 40	4	4.6.2017	4.6.2022	3 v
Kohde 4	13	1	4.6.2017	30.5.2020	2 v
Kohde 5	14, 16, 17	3	4.6.2017	30.5.2020	2 v
Kohde 6	1, 3, 11	6	Optiokausi käytössä	30.5.2020	(3 v)

Sopimuskohteiden linjojen suoritteet ja kalustomäärät jakautuvat seuraavan taulukon mukaisesti.

Taulukko 10. Hämeenlinnan kaupunkiseudun bussiliikenteen linjatiedot

SOPIMUS-KOHDE	LINJA	LINJAN SIVUN PITUUS (KM)	KALUSTO-MÄÄRÄ	LINJA-KM /AUTO /VUOSI	AJANTASAU-AIKA (MIN), YHT./KIERROS	HUOM
Kohde 1	5, 10	30,1	5	66 000	6-106 / 2h kierros	epäsäännöllinen autokierto
Kohde 2	2	9,0	2	75 000	9 / 1 h kierros	
Kohde 3	4	16,8	4	69 000	18 / 2h kierros	yhteinen autokierto 4 ja 40 ja pisin ajantasaus Kettumäessä 16min
	40	6,9				
	12	9,6			8 / 1h kierros	
Kohde 4	13	10,8	1	77 000	6 / 1h kierros	
Kohde 5	14	15,9	3	84 000	27 / 2h kierros	yhteinen autokierto 14, 16 ja 17, kierros 2h
	16	10,6				
	17	8,3				
kohde 6	1	14,9	6	81 000	13 / 1,5h kierros	yhteinen autokierto 1 ja 11 kesken, mutta iltaisin myös linja 3 mukana
	3	14,7			18 / 1,5 h kierros	
	11	16,6			13 / 1,5h kierros	

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 paikallis päästöstä. Kuvan karttaan on merkitty sähköbusseille soveltuvin alue Hämeenlinnan kaupunkiliikenteen alueella. Sähköbussit soveltuvat parhaiten kaupunkimaiseen ympäristöön, jossa lähipäästötömyydestä on suurimmat hyödyt. Ympyrän sisällä kulkevat linjat kulkevat kaupunkimaisimmassa ympäristössä ja ovat suotuisia linjojen pituuden kannalta. Tummmimman vihreän ympyrän ulkopuolelle ulottuvilla linjoillakin voidaan liikennöidä sähköbusseilla, mutta pidempien sivujen pituuksien vuoksi myös latausajat ovat pidempiä. Ympyrän ulkopuolella kaupunkimaisen asumisen määrä on pienempi ja linjat ajavat pääosin rivi- ja omakotialueilla alueellisia keskuksia lukuun ottamatta.



Kuva 26. Eri käyttövoimille parhaiten soveltuvat vyöhykkeet. Sähköbussien lähipäästötömyydestä suurimmat hyödyt saadaan sisimmän ympyrän alueella. Lisäksi toisen ympyrän kaupunkilinjoilla sähköbussien lähipäästötömyydestä saadaan suuret hyödyt. Alempien elinkaaren aikaisten CO₂-päästöjen puolesta biokaasun käytöstä on hyötyä koko kaupunkiseudun linjastossa. (Pohjakartta: Hämeenlinnan karttapalvelu)

6.2. Etenemispolku

Tulevien vuosien kilpailutuksissa on suositeltavaa siirtyä vähitellen kohti uusia käyttövoimia. Vuonna 2020 alkavaan liikennöintisopimukseen ei ehditä enää sisällyttämään kaasu- tai sähköbussikalustoa. Kilpailutuksessa voidaan kuitenkin antaa etua uusiutuvan biodieselin käytöstä esimerkiksi lisäpistein. Liikennöitsijä voisi tankkaussopimuksella osoittaa, että tilaa uusiutuvaa biodieseliä sen verran kuin linjojen 1, 3 ja 11 liikenteeseen kuluu. Tämä edellyttää kaluston käytön ja polttoaineen kulutuksen raportointia tilaajalle. Tällöin liikennöitsijä voi ostaa linjojen liikennöintiin kuluvaan määrään uusiutuvaa biodieseliä liikennöintivuosittain. Etuna on, ettei liikennöitsijän ole tarvetta ostaa uutta polttoainetankkia, vaan voi ostaa kohteen kulutuksen verran uusiutuvaa biodieseliä ja käyttää sitä kaikessa liikenteessään. Kun liikennöitsijä on käyttänyt uusiutuvaa biodieseliä kohteen kulutuksen verran, voi se ajaa loppuvuoden tavanomaisella biodieselillä.

Uusiutuvalla biodieselillä voidaan vähentää merkittävästi hiilidioksidipäästöjä, vaikka kalusto olisikin vanhaa. Mikäli kohteen liikenne voitetaan vanhalla kalustolla, olisi periaatteessa kaupunkialueen lähipäästöjen kannalta etua vaatia nimenomaan ko. kohteen liikennöintiä uusiutuvalla biodieselillä, koska lähipäästöt alenevat enemmän vanhalla kuin uudella kalustolla ajettaessa.

Pidemmillä aikavälillä voidaan siirtyä vähitellen käyttämään myös muita käyttövoimia. Liikennettä kilpailutettaessa on kuitenkin hyvä huomioida, että biokaasuun ja sähköön siirryttäessä on löydettävä mittakaavaedun vuoksi riittävän suuri liikennöntikokonaisuus, jotta uudet käyttövoimat eivät nosta merkittävästi kustannuksia. Hämeenlinnan osalta tämä on haasteellista, koska kaupunkiliikennettä on kokonaisuudessaankin vain 21 autoa. Biokaasuun siirtyminen edellyttäisi vähintään 15 bussin kohdetta, jotta liikennöntikustannukset eivät kasvaisi 10 prosenttia enempää. Uusiin käyttövoimiin siirryttäessä sopimuskauden tulisi olla nykyistä pidempi (8 vuotta + 2 vuoden optio) korkeampien investointikulujen vuoksi. Mikäli liikennöitsijä vastaa merkittävien investointien, kuten sähköbussikaluston ja -latausinfrastruktuurin investoinneista, voidaan sopimuskautta poikkeuksellisesti pidentää jopa 15 vuoteen käyttäen esimerkiksi 10 vuoden + 0-5 optiovuoden mittaista sopimuskautta.

Alkuvaiheessa voidaan siirtyä uusiutuvaan dieseliin. Uusiin käyttövoimiin voidaan siirtyä vähitellen kokeillen mahdollisesti uusia hankintamalleja.

Pidemmillä aikavälillä voidaan kokeilla kilpailutusta ns. ranskalaisena urakkana, jossa hinta on määriteltä etukäteen. Vertailuperusteena on, kuinka suuri osuus liikenteestä liikennöidään uusiutuvalla biodieselillä, biokaasulla tai sähköllä, joille asetetaan omat painokertoimet. Alhaisemmat hiilidioksidipäästöt, lähipäästöt ja melu huomioidaan pisteytyksessä. Mikäli liikennöitsijä voittaa kilpailun uusiutuvalla biodieselillä tai biokaasulla, mutta niitä ei ole saatavissa, liikennöntikorvausta alennetaan. Indeksitarkistuksissa voidaan myös huomioida uusiutuvan biodieselin ja biokaasun hinnan yleinen kehitys. Ranskalaisessa urakassa voidaan antaa pisteitä myös muista kuin käyttövoimista, kuten esimerkiksi tarjottavasta paremmasta palvelutasosta.

Toisessa vaihtoehdoisessa kilpailuttamistavassa tilaaja asettaa hiilidioksidi- (CO₂), typenoksidi- (NO_x) ja pienhiukkaspäästöjen (PM) rajan, jolla liikennöitsijän on tuotettava liikenne. Tilaaja määrittelee ennalta tarjouspyynnössä kunkin kalustotyyppin päästöt (g/km) pohjautuen esimerkiksi VTT:n mittauksiin. Jos tarjoaja täyttää päästörajan ja muut kalustovaatimukset, tarjoaja valitaan hinnan perusteella. Jos uusiutuvan biodieselin tai jonkin muun käyttövoiman saannissa on ongelmia, linjakilometrin hintaa alennetaan esimerkiksi 0,05-0,10 eur/km. Vaihtoehdoisesti kokonaiskorvausta alennetaan, mikäli liikennöitsijä ajaa fossiililla dieselillä osuuden, joka päästötavoitteen täyttymiseksi tulisi ajaa uusiutuvalla biodieselillä. Vastaavasti toimitaan, mikäli liikennöitsijä käyttää maakaasua biokaasun sijasta.

Saatavien kokemusten perusteella muissa kaupunkiliikenteen kohteissa voidaan käyttää ns. ranskalaista urakkaa tai antaa lisäpisteitä uusiutuvaa biodieseliä, biokaasua tai sähköä käytettäessä. Kohteen kokoa voidaan kasvattaa tapauskohtaisesti ja sopimuskausia pidentää, millä tuetaan siirtymistä uusiutuviin polttoaineisiin.

ETENEMISPOLKU

Kilpailutuksissa huomioidaan vähitellen uudet käyttövoimat. Tulevissa kilpailutuksissa voidaan antaa lisäpisteitä, jos liikennöitsijä ostaa kohteen polttoaineen kulutuksen verran uusiutuvaa biodieseliä.

Pidemmällä aikavälillä voidaan siirtyä uusiin käyttövoimiin, biokaasuun ja sähköön. Kilpailutuksessa voidaan kokeilla ns. ranskalaista urakkaa tai päästökattoa. Mikäli uusiin käyttövoimiin siirrytään, voi olla perusteltua muodostaa nykyistä suurempi kohde mitta-kaavaedun vuoksi ja siirtyä pidempään sopimuskauteen (8 vuotta + 2 vuoden optio). Sähköbussihin siirryttäessä sopimuskausi voi olla esimerkiksi 10 vuotta + 3 vuoden optio. Sopimuskausi voi riippua tarjottavasta käyttövoimasta.

VE1 Kilpailutus tehdään ns. ranskalaisena urakkana, jossa hinta on määritelty etukäteen. Vertailuperusteena on, kuinka suuri osuus liikenteestä liikennöidään uusiutuvalla biodieselillä, biokaasulla tai sähköllä, joille asetetaan omat pisteet. Lisäksi paremmasta palvelustasosta voidaan antaa lisäpisteitä.

VE2 Tilaaja asettaa päästörajan, jolla liikennöitsijän on tuotettava liikenne. Jos tarjoaja täyttää päästörajan ja muut kalustovaatimukset, tarjoaja valitaan hinnan perusteella.

Uusia käyttövoimia käyttöönotettaessa on tärkeää käydä markkinavuoropuhelua liikennöitsijöiden ja eri sidosryhmien kanssa.

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>
- Neste (2019). Uusiutuvat raaka-aineet (viitattu 26.4.2019): <https://www.neste.com/fi/puh-taammat-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-polttoaineet/uusiutuvat-raaka-aineet>
- 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