



## Vaihtoehtoisten käyttövoimien hyödyntäminen kaupunkiliikenteen linja-autoissa

### Citation

Judl, J., & Mäkinen, J. (2019). *Vaihtoehtoisten käyttövoimien hyödyntäminen kaupunkiliikenteen linja-autoissa*. Suomen ympäristökeskus (SYKE).

### Year

2019

### Version

Publisher's PDF (version of record)

### Link to publication

[TUTCRIS Portal \(http://www.tut.fi/tutcris\)](http://www.tut.fi/tutcris)

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright, please contact [cris.tau@tuni.fi](mailto:cris.tau@tuni.fi), and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Kohti kestäväää kaupunkiliikennettä

*Kaupunkiliikenteen linja-autot aiheuttavat kasvihuonekaasu- ja lähipäästöjä sekä liikennemelua. Euro 6 -päästönormien ansiosta dieselbussien tyyden oksidi- ja pienhiukkaspäästöt ovat pienentyneet, mutta hiilidioksidipäästöt ovat yhä korkeita. Hiilidioksidipäästöt on saattava vähenemään, jotta asetetut päästövähennystavoitteet voidaan saavuttaa.*



## Vaihtoehtoisten käyttövoimien hyödyntäminen kaupunkiliikenteen linja-autoissa



- ▼ Kaupunkiliikenteen linja-autoissa voidaan hyödyntää useita vaihtoehtoisia käyttövoimia ja polttoaineita, joiden avulla voidaan vaikuttaa kaupunkien kokonaisvaltaiseen viihtyvyyteen vähentämällä hiilidioksi- ja lähipäästöjä sekä liikennemelua.
- ▼ Vaihtoehtoisten käyttövoimien hankinnassa tulee arvioida kokonaisvaltaisesti käyttövoimien ominaisuuksia ja käyttövoimien sopivuutta kullekin alueelle. Hankinnassa tulee huomioida käyttövoiman ja polttoaineen kasvihuonekaasu- ja lähipäästöt, liikennemelua, hankinta- ja käyttökustannukset sekä tarvittavan infrastruktuurin kustannukset. Lisäksi on huomioitava polttoaineiden paikallinen saatavuus sekä alueen ja bussilinjastojen erityisominaisuudet.
- ▼ Vaihtoehtoisten käyttövoimien päästövähennyspotentiali riippuu useista tekijöistä ja päästövähennyksiä tulisi tarkastella kriittisesti koko polttoaineen elinkaaren ajalta.

## Fossiilisten polttoaineiden aika on ohi

**Suomessa kaupunkiliikenteen linja-autot käyttävät polttoaineena pääasiassa fossiilista dieseliä. Suomi on sitoutunut päästövähennystavoitteisiin, joiden saavuttaminen vaatii fossiilisten polttoaineiden korvaamista vaihtoehtoisilla polttoaineilla ja käyttövoimilla. Näiden avulla voidaan vähentää myös muita linja-autoliikenteen ympäristöhaittoja, kuten lähipäästöjä ja liikennemelua.**

**EU:ssa on hyväksytty muutosdirektiivi, joka myös ohjaa vaihtoehtoisten käyttövoimien hankintaan julkisen sektorin ajoneuvohankinnoissa. Direktiivin mukaan vuosina 2021–2025 hankittavista kaupunkiliikenteen linja-autoista 41 % tulee olla puhtaita ajoneuvoja ja vuosina 2026–2030 hankittavista 59 %. Puolet hankintatavoitteesta tulee täyttää täyssähköisillä linja-autoilla ja loput voivat olla 100 % biopolttoainetta käyttäviä linja-autoja.**

**Vuosina 2021–2025 hankittavista kaupunkiliikenteen linja-autoista 41 % tulee olla puhtaita ajoneuvoja ja vuosina 2026–2030 hankittavista 59%.**



Tässä Canemure-hankkeen julkaisussa esitellään tällä hetkellä markkinoilla olevia kaupunkiliikenteen linja-autojen vaihtoehtoisia käyttövoimia ja polttoaineita. Jokaisella käyttövoimalla ja polttoaineella on hyviä ja huonoja puolia, joita tulisi arvioida kokonaisvaltaisesti ennen hankintapäätöksiä.

## Kaupalliset teknologiat

### BIO-DIESEL

**Biodiesel on öljypohjainen biopolttoaine.** Uusiutuva biodiesel eli toisen sukupolven biodiesel (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO) valmistetaan jätteistä ja tähteistä. Suomessa uusiutuvan biodieselin raaka-aineena käytetään esimerkiksi käytettyä paistorasvaa, eläinrasvaa, mäntyöljyä ja palmuöljyn rasvahappotislettä. Uusiutuva biodiesel on vaihtoehtoisista käyttövoimista ainoa, jota voidaan hyödyntää sellaisenaan olemassa olevassa diesel-kalustossa, eli se ei vaadi investointeja uuteen kalustoon tai tankkausinfrastruktuuriin. Biodieselin hinta on noin 10 % kalliimpi kuin fossiilisen dieselin.

Esimerkiksi Seinäjoella Härmän liikenne on siirtynyt käyttämään Neste MY uusiutuva diesel™ -polttoainetta paikallisliikenteessä.

### BIO-ETANOLI

**Bioetanoli on alkoholipohjainen biopolttoaine,** jota valmistetaan Suomessa esimerkiksi biojätteistä ja sahatteollisuuden sivujätteistä. Bioetanolia ei voida käyttää sellaisenaan dieselkalustossa, vaan bioetanolin käyttö edellyttää teknisiä muutoksia kalustoon tai uuden kaluston hankkimista. Esimerkiksi Scania valmistaa etanolimoottoreita linja-autoille. Bioetanolin käyttökustannukset ovat hieman korkeammat kuin dieselin. Kestävästi tuotettua etanolia tarvitaan myös jakeluvetoitteen täyttämiseen 95 E10 –benssiinissä, minkä vuoksi etanolin riittävyys on epävarmaa.

Bioetanolibussit ovat Suomessa vielä melko tuntemattomia, mutta esimerkiksi Tukholmassa liikennöi yli 400 etanolibussia.

### BIO-KAASU

**Biokaasu syntyy mikrobien hajottaessa biomassaa hapettomissa olosuhteissa.** Biokaasua valmistetaan eloperäisistä raaka-aineista, kuten biojätteistä, jätevesilietteestä ja lannasta. Kaasun käyttäminen vaatii kaasubussikaluston, jossa voidaan käyttää biokaasun lisäksi myös maakaasua. Biokaasubussin hankintahinta on noin 10–15 % korkeampi kuin dieselbussin, samoin huoltokustannukset ovat noin 10 % korkeammat. Toisaalta dieseliä hieman matalammat energiakustannukset mahdollistavat edulliset käyttökustannukset. Biokaasun käyttäminen edellyttää kaasun tankkausinfrastruktuuria.

Esimerkiksi Vaasassa on otettu käyttöön 12 kaasubussia ja Lappeenrannassa 2 kaasubussia.

### TÄYSSÄHKÖ

**Täyssähköisessä linja-autossa on sähkömoottori, jonka energianlähteenä toimivat ladattavat akut.** Täyssähköisessä linja-autossa on useita hyviä puolia – se on paikallis päästötön, sen melutaso on alhainen ja matkustusmukavuus on korkea. Toisaalta täyssähköbussin toimintasäde on hyvin rajallinen, minkä takia on harkittava tarkkaan, millaisia linjoja täyssähköbussilla voidaan liikennöidä ja missä lataus järjestetään. Täyssähköbussi on hankintahinnaltaan vaihtoehtoisista kallein, mutta sen energiakustannukset ovat alhaisimmat (noin 70 % pienemmät kuin dieselissä). Suurella akulla varustetut täyssähköbussit vaativat vähemmän investointeja latausinfrastruktuuriin verrattuna päätepysäkeillä

pikaladattaviin pieniakkuisiin täyssähköbussihin. Toisaalta suurten akkujen valmistus vaatii paljon raaka-aineita ja energiaa.

Esimerkiksi Turussa ja Tampereella on sähköistetty yhdet bussilinjat. Turussa liikennöidään kuudella sähköbussilla ja Tampereella neljällä. Pääkaupunkiseudulla Pohjolan Liikenne on ottanut käyttöön 30 sähköbussia usealla linjalla.

#### JOHDIN-AUTO

**Johdinauto ottaa tarvitsemansa sähkön kadun yläpuolella olevista ajojohtimista** raitiovaunun tapaan. Johdinbussin hyödyt ovat samat kuin täyssähköbussilla, mutta sen käyttö edellyttää investoimista ajojohtimiin. Lisäksi johdinbussien reittejä ei voida muuttaa joustavasti kiinteiden ajojohtimien vuoksi. Johdinauton joustavuutta voidaan parantaa pienellä akulla, joka mahdollistaa lyhyet matkat ilman ajojohtimia.

#### HYBRIDI

**Hybridissä hyödynnetään poltto- ja sähkömoottoria.** Hybridien avulla voidaan vähentää energiankulutusta, lähipäästöjä sekä hieman liikennemelua. Hybridi voi olla ladattava (plug-in-hybridi) tai ei-ladattava. Ei-ladattavan hybridin päästövähennyspotentiaali on pieni, ja sitä voidaan käyttää parantamaan esimerkiksi biopolttoainetta käyttävän polttomoottorin hyötysuhdetta kaupunkiajossa. Hybridissä jarrutusenergia otetaan talteen ja suurin hyöty saadaan, kun hybridibussi sijoitetaan linjoille, joissa on paljon jarrutuksia ja kiihdytyksiä. Ladattava hybridi vaatii samanlaisen latausinfrastruktuurin kuin täyssähköbussi. Ladattavan hybridin toimintasäde on polttomoottorin ansiosta pidempi kuin täyssähköbussilla, mutta sen päästövähennyspotentiaali on pienempi kuin muilla vaihtoehdoilla käyttövoimilla.

Hybridibusseja on ollut käytössä monissa kaupungeissa, kuten Turussa, Tampereella ja Helsingissä.

## Päästövähennyspotentiaali riippuu laskentatavoista

Kaikilla esitellyillä vaihtoehdoilla käyttövoimilla voidaan vähentää linja-autoliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä. Päästövähennyspotentiaali kuitenkin riippuu useista tekijöistä ja täsmällistä päästövähennyspotentiaalia voi olla vaikea määrittellä.

Biopolttoaineita arvioitaessa tulee huomioida biopolttoaineiden valmistustapa, käytetyt raaka-aineet ja niiden määrittely EU:n uusiutuvan energian direktiivissä (RES-direktiivi). Biopolttoaineiden laskennallinen päästövähennyspotentiaali riippuu paljon siitä, määritelläänkö raaka-aine jätteeksi, tähteeksi vai sivutuotteeksi. Esimerkiksi Suomessa palmuöljyn rasvahappotisle (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) määritellään tähteeksi, kun taas osassa Euroopan maista se luokitellaan sivutuotteeksi. Jätteenä tai tähteenä lasketun raaka-aineen päästövähennyspotentiaali on suurempi kuin sivutuotteen, minkä vuoksi biopolttoaineiden laskennallinen päästövähennyspotentiaali voi vaihdella maittain.

Kotimaisia jäteraaka-aineita on saatavilla rajallisesti, minkä vuoksi biopolttoaineiden kysynnän kasvaminen lisää tarvetta ulkomaisille raaka-aineille, mikä voi vaikuttaa biopolttoaineen elinkaaripäästöihin. Biopolttoaineiden kestävyyttä arvioitaessa tulee myös huomioida, mihin muuhun käyttötarkoitukseen biomassa oltaisiin voitu käyttää, ja aiheuttaako biomassan käyttäminen epäsuoria maankäytön muutoksia. Biopolttoaineiden määrän rajallisuus on huomioitava myös siitä näkökulmasta, että biopolttoaineita tulisi olla saatavissa raskaaseen pitkän matkan tieliikenteeseen sekä meri- ja lentoliikenteeseen, joita on haastavaa sähköistää.

Sähköä käyttävien ajoneuvojen päästövähennyspotentiaali riippuu siitä, miten käytettävä sähkö on tuotettu. Sähköbussien elinkaaripäästöjä tarkasteltaessa on huomioitava myös niissä käytettävien akkujen elinkaaripäästöt.

Valmistajien mukaan tarkasteltujen käyttövoimien päästövähennyspotentiaali verrattuna fossiiliseen dieseliin on uusiutuvalle biodieseliin 50–90 %, bioetanoliin 80–90 %, biokaasulle 85–90 %, hybridille 25–30 %, ladattavalle hybridille 50–70 % ja täyssähköiselle linja-autolle 90 %.

**Vaihtoehdoilla käyttövoimilla voidaan vähentää linja-autoliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä**



# Yhteenveto

## UUSIUTUVA BIO- DIESEL

- ▼ Valmistajan mukaan kasvihuonekaasujen vähenemä 50-90 % elinkaaren ajalta (riippuu käytetyistä raaka-aineista ja tuotantotavasta)
- ▼ "Drop-in" polttoaine, sopii sellaisenaan diesel-ajoneuvoihin, ei tarvita muutoksia autokalustoon eikä polttoaineen jakeluverkkoon
- ▼ Rajallinen määrä kotimaisia jäteraaka-aineita saatavilla
- ▼ Kalliimpaa verrattuna fossiiliseen dieseliin. Hintaa saattaa nostaa myös mahdollinen verohelpotusten poisto.

## BIO- ETANOLI

- ▼ Valmistajan mukaan kasvihuonekaasujen vähenemä 80-90 % elinkaaren ajalta (riippuu käytetyistä raaka-aineista ja tuotantotavasta)
- ▼ Ei voida käyttää sellaisenaan dieselbussseissa
- ▼ Voidaan hyödyntää olemassa olevaa polttoaineen jakeluverkkoa
- ▼ Polttoaineen paikallinen saatavuus epävarmaa
- ▼ Rajallinen määrä kotimaisia jäteraaka-aineita saatavilla

## BIO- KAASU

- ▼ Valmistajan mukaan kasvihuonekaasujen vähenemä 85-90 % elinkaaren ajalta (riippuu käytetyistä raaka-aineista ja tuotantotavasta)
- ▼ Vaatii kaasubussikaluston sekä polttoaineen jakeluverkon
- ▼ Matalat energiakustannukset, vain hieman korkeampi hankintahinta
- ▼ Metaanivutojen mahdollisuus biokaasun tuotantoketjussa

## HYBRIDI

- ▼ Potentiaalinen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemä 25-30 % ei-ladattaville hybrideille ja 50-70 % ladattaville hybrideille elinkaaren ajalta (riippuu sähkön tuotantotavasta sekä sähkömoottorin ja polttomoottorin käyttösuhteesta)
- ▼ Ei-ladattava hybridi ei vaadi latausinfrastruktuuria
- ▼ Ladattavat hybridit tarvitsevat latausinfrastruktuuriin
- ▼ Akkujen tuotanto vaatii paljon raaka-aineita ja energiaa, akkujen rajallinen käyttöikä

## TÄYS- SÄHKÖ

- ▼ Potentiaalinen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemä 90 % elinkaaren ajalta (riippuu sähkön tuotantotavasta)
- ▼ Paikallispäästötön, vähäinen liikennemelu
- ▼ Vaatii latausinfrastruktuuriin
- ▼ Matalat käyttökustannukset, kallis hankintahinta
- ▼ Rajallinen toimintasäde
- ▼ Akkujen tuotanto vaatii paljon raaka-aineita ja energiaa, akkujen rajallinen käyttöikä

KIRJOITTAJAT: JÁCHYM JUDL, JOHANNA MÄKINEN

LÄHTEET:

AIRAKSINEN, S., LEHTINEN, A.-K. & LEHTINEN, V.-V. 2018. KUOPION LINJA-AUTOLIIKENTEEN KÄYTTÖVOIMASELVITYS. 55 S.

CIVITAS. 2016. SMART CHOICES FOR CITIES – ALTERNATIVE FUEL BUSES. POLICY NOTE. 56 P.

DREIER, D. SILVEIRA, S., KHATIWADA, D., FONSECA, K. V. O., NIEWEGLOWSKI, R. & SCHEPANSKI, R. 2018. 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. TRANSPORTATION RESEARCH PART D: TRANSPORT AND ENVIRONMENT, VOL. 58, PP. 122-138.

GASUM. 2019. BIOKAASU – UUSIUTUVAA KOTIMAISTA ENERGIAA. TIEDOTE, SAATAVISSA: [HTTPS://WWW.GASUM.COM/KAASUSTA/BIOKAASU/BIOKAASU/](https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/)

LAJUNEN, A. 2014. ENERGY CONSUMPTION AND COST-BENEFIT ANALYSIS OF HYBRID AND ELECTRIC CITY BUSES. TRANSPORTATION RESEARCH PART C: EMERGING TECHNOLOGIES, 38, PP. 1-15.

LEHTINEN, A. & KANERVA, O. 2017. SELVITYS SÄHKÖBUSSIEN EDISTÄMISEKSI SUOMALAISILLA KAUPUNKISEUDUILLA. LIIKENNEVIRASTO, LIIKENTEEN PALVELUT -OSASTO. LIIKENNEVIRASTON TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ 21/2017. 57 S.

LIIKENNE- JA VIESTINTÄMINISTERIÖ. 2019. DIREKTIIVI: PUHTAUSTAVOITTEET JULKISTEN HANKINTOJEN AJONEUVOILLE. TIEDOTE, SAATAVISSA: [HTTPS://WWW.LVM.FI/-/DIREKTIIVI-PUHTAUSTAVOITTEET-JULKISTEN-HANKINTOJEN-AJONEUVOILLE-1012283](https://www.lvm.fi/-/direktiivi-puhtaustavoitteet-julkisten-hankintojen-ajoneuvoille-1012283)

LIIMATAINEN, H., METSÄPURO, P., IKONEN, M. WAHLSTEN, R. & LAJUNEN, A. 2014. HYBRIDIBUSSIT – KOKEMUKSIA KÄYTTÖÖNOTOSTA, LIIKENNÖINNISTÄ JA ENERGIANKULUTUKSESTA. TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO, LIIKENTEEN TUTKIMUSKESKUS VERNE, TUTKIMUSRAPORTTI. 41 S.

LIIMATAINEN, H., NYKÄNEN, L., RANTALA, T., REHUNEN, A., RISTIMÄKI, M., STRANDELL, A., SEPPÄLÄ, J., KYTÖ, M., PUROILA, S. & OLLIKAINEN, M. 2015. TARVE, TOTTUMUKSET, TEKNIikka JA TALOUS – ILMASTONMUUTOKSEN HILLINNÄN TOIMENPITEET LIIKENTEESSÄ. SUOMEN ILMASTOPANEELI.

NESTE. 2019. NESTE MY UUSIUTUVA DIESEL. TIEDOTE, SAATAVISSA: [HTTPS://WWW.NESTE.COM/FI/PUHTAAMMAT-RATKAISUT/TUOTTEET/](https://www.neste.com/fi/puhtaammat-ratkaisut/tuotteet/)

UUSIUTUVAT-POLTTAINEET/NESTE-MY-UUSIUTUVA-DIESEL

NYLUND, N.O. AND KOPONEN, K.. 2012. FUEL AND TECHNOLOGY ALTERNATIVES FOR BUSES: OVERALL ENERGY EFFICIENCY AND EMISSION PERFORMANCE. VTT. 402 P.

SOIMAKALLIO, S., HONGISTO, M., KOPONEN, K., SOKKA, L., MANNINEN, K., ANTIKAINEN, R., PASANEN, K., SINKKO, T. & THUN, R. 2010. EU:N UUSIUTUVIEN ENERGIÄLÄHTEIDEN EDISTÄMISDIREKTIIVIN KESTÄVYYSKRITEERISTÖ – NÄKEMYKSIÄ MÄÄRITELMISTÄ JA KESTÄVYYDEN TODENTAMISESTA. VTT WORKING PAPERS 150. 130 S.

ZEEUS. 2016. ZEEUS EBUS REPORT – AN OVERVIEW OF ELECTRIC BUSES IN EUROPE. 116 P.

KUVA: KAI WIDELL, SYKE.  
PIIRROKSET: MACROVECTOR / FREEPIK.  
LAYOUT: SATU TURTIAINEN, SYKE.  
HELSINKI 11/2019.

ISBN 978-952-11-5116-3 (PDF)



SYKE

Suomen ympäristökeskus | syke.fi |



Tampereen yliopisto

hiilineutraalisuomi.fi

CANEMURE



LIFE17 IPC/FI/000002 LIFE-IP CANEMURE-FINLAND Tämän best practices -julkaisun tuottamiseen on saatu rahoitusta Euroopan unionin LIFE-ohjelmasta. Tämän best practices -julkaisun sisältö edustaa ainoastaan CANEMURE -projektin näkemyksiä ja EASME / Komissio ei ole vastuussa best practices -julkaisun sisältämän informaation mahdollisesta käytöstä.