

27

.....
25.10.2010



Joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämismahdollisuudet

Energia- ja ilmastotehokkuus aikajänteellä 2010–2050



www.hsl.fi

Joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämismahdollisuudet

Energia- ja ilmastotehokkuus aikajänteellä 2010–2050

HSL Helsingin seudun liikenne
Opastinsilta 6 A
PL 100, 00077 HSL00520 Helsinki
puhelin (09) 4766 4444
www.hsl.fi

Lisätietoja: Kerkko Vanhanen
kerkko.vanhanen@hsl.fi

Kansikuva: HSL / Lauri Eriksson

Edita Prima Oy
Helsinki 2010

Esipuhe

Energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt ovat nostaneet painoarvoaan yhteiskunnallisessa keskustelussa ja päätöksenteossa. On ilmeistä, että näiden aiheiden merkitys tulee jatkossa edelleen kasvamaan. Tämä joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämiselvitys on laadittu Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymän toimesta vuonna 2010. Tavoitteena on ollut tuottaa tietoa mahdollisuuksista vaikuttaa joukkoliikenteen energiatehokkuuteen ja kasvihuonekaasupäästöihin. Työ on tehty yhteistyössä Liikenneviraston, HKL:n, VTT:n ja VR:n kanssa.

Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Ville Lehmuskoski (pj)	HSL
Jukka Joronen	VR
Lauri Helke	VR
Tuula Säämänen	Liikennevirasto
Ollipekka Heikkilä	HKL
Kimmo Erkkilä	VTT
Reijo Mäkinen	HSL
Kerkko Vanhanen	HSL
Petri Saari	HSL

Konsulttina työssä on toiminut Bionova Consulting, jossa työhön ovat osallistuneet Panu Pasanen, Juho Korteniemi, Markus Latvala ja Tuuli Pohjola.

Helsingissä,

25.10.2010

Ville Lehmuskoski

Tiivistelmäsiivu

Julkaisija: HSL Helsingin seudun liikenne			
Tekijät: Juho Korteniemi, Panu Pasanen, Markus Latvala, Tuuli Pohjola / Bionova Consulting			Päivämäärä 25.10.2010
Julkaisun nimi: Joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämismahdollisuudet			
Rahoittaja / Toimeksiantaja: Helsingin seudun liikenne			
Tiivistelmä: Ympäristöystävällisyys, energiatehokkuus ja kasvihuonekaasutase ovat olennaisesti lisänneet merkitystään yhteiskunnallisissa ratkaisuissa viime vuosina ja näiden merkitys eri valinnoissa kasvaa edelleen. Yksi HSL:n strategisista tavoitteista on vähäpäästöisen liikenteen edistäminen. Joukkoliikenteen energiatehokkuus tällä hetkellä henkilöautoon verrattuna on hyvä. Henkilöautojen energia- ja ilmastotehokkuus on kuitenkin olennaisesti parantumassa ja kehitys jatkuu näillä näkymin ainakin vuoteen 2020 saakka EU:n säätämän uusien autojen myyntiä koskevan direktiivin johdattamana. Henkilöautojen kehitys asettaa yhä kasvavia vaatimuksia myös joukkoliikenteen energia- ja ilmastotehokkuuden kehittämiseksi. Energia- ja ilmastotehokkuudelle on asetettu kansallisesti ja kansainvälisesti sitovia tavoitteita vuoteen 2020 asti ja ei-sitovia tavoitteita vuoteen 2050 asti. Joukkoliikenteeseen vaikuttavia sitovia tavoitteita ovat 9 % energiatehokkuuden parannus vuodesta 2005 vuoteen 2016 mennessä sekä kansallisesti sitovat tavoitteet: kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 20 % sekä uusiutuvien energianlähteiden 20 % osuus liikenteessä vuoteen 2020 mennessä. Vuoteen 2050 mennessä tavoitellaan jopa 80 % vähenemää kasvihuonekaasupäästöissä. HSL:n tilaaman joukkoliikenteen energian kulutus vuodessa on 628 GWh, jolla tuotetaan noin 314 miljoonaa matkaa. Bussien käyttämien dieselin ja maakaasun osuus energian kokonaiskulutuksesta on kaksi kolmasosaa, kun taas niiden osuus tuotetuista matkoista on noin puolet. Raidekaluston liikennöinnin vaatima energia on seitsemäsosa koko energian kulutuksesta. Viidenneksen energiasta käyttää liikenneinfrastruktuuri, kuten vaihdelämmitykset ja varikot. Energiatehokkuuden osalta metro ja lähijuna ovat selkeästi parhaita. Yhdellä kilowattitunnilla energiaa matkustaja pääsee metrolla 10 km matkan ja lähijunalla 29,9 km matkan. Vastaavasti raitiovaunulla pääsee n. 4,4 km, dieselbussilla 2,7 km, maakaasubussilla 2,1 km sekä yhtä henkilöä kuljettavalla henkilöautolla 1,3 km matkan. Kasvihuonekaasupäästöjen osalta metro, lähijuna ja raitiovaunu ovat erittäin tehokkaita energiatehokkuuden ja sähkökäyttöisyyden vuoksi. Joukkoliikenteellä on erittäin suuri energia- ja ilmastotehokkuuden kehittämispotentiaali. Vuoteen 2020 asti päästöjen vähentäminen perustuu pääosin hybridibussien käyttöönottoon, sähköisen liikenteen lisäämiseen, ja liikenteen biopolttoaineiden osuuden lisäämiseen. Operatiivisista keinoista tärkeimpiä ovat ajotapojen kehittäminen ja jarrutusenergian hyödyntäminen. Liikennejärjestelmän tasolla joukkoliikenne vähentää merkittävästi energiankulutusta sekä ilmastopäästöjä.			
Avainsanat: energiatehokkuus, ilmastotehokkuus, energiankulutus, joukkoliikenteen teknologiakehitys			
Sarjan nimi ja numero: HSL:n julkaisuja 27/2010			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-050-9 (nid.)	Kieli: suomi	Sivuja: 69
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-051-6 (pdf)		
HSL Helsingin seudun liikenne, PL 100, 00077 HSL, puhelin (09) 4766 4444			

Sammandragssida

Utgivare: HRT Helsingforsregionens trafik			
Författare: Juho Korteniemi, Panu Pasanen, Markus Latvala, Tuuli Pohjola / Bionova Consulting			Datum 25.10.2010
Publikationens titel: Utvecklingsmöjligheter i kollektivtrafikens energieffektivitet			
Finansiär / Uppdragsgivare: HRT Helsingforsregionens trafik			
Sammandrag:			
<p>Miljövänlighet, energieffektivitet och växthusgasbalans har allt mer ökat sin betydelse i de samhällsbesluten under de senaste åren och deras betydelse i olika valsituationer kommer att öka alltjämt. En av HRT:s strategiska målsättningar är att främja trafik med låga utsläpp.</p> <p>För tillfället är kollektivtrafikens energieffektivitet bra i jämförelse med bilen. Personbilarnas energi- och klimateffektivitet håller dock på att förbättras och som det nu ser ut kommer utvecklingen som regleras genom EU-direktiv om försäljning av nya bilar att fortsätta åtminstone fram till år 2020. Personbilarnas utveckling ställer nya krav också för utveckling av kollektivtrafikens energi- och klimateffektivitet.</p> <p>Det har fastställts nationellt och internationellt bindande mål fram till 2020 och icke-bindande mål fram till 2050 för energi- och klimateffektiviteten. De bindande mål som påverkar kollektivtrafik är förbättring av energieffektivitet med 9 % från år 2005 fram till 2016 samt de nationellt bindande målen: minskning av växthusgasutsläpp med 20 % samt ökning av andelen förnybara energikällor i trafiken till 20 % fram till 2020. Syftet är att minska växthusutsläppen upp till 80 % till 2050.</p> <p>Kollektivtrafiken som beställs av HRT konsumerar energi 628 GWh per år och med denna mängd produceras cirka 314 miljoner resor. Diesel- och naturgasbussarna utgör två tredjedelar av hela energiförbrukningen medan deras andel är nästan hälften av alla producerade resor. Energi som spårtrafiken kräver är en sjundedel av hela energiförbrukningen. En femtedel av energin går åt till trafikinfrastrukturen, som uppvärmning av spårväxlar och depåerna.</p> <p>Vad gäller energieffektiviteten är metron och närtågen klart de effektivaste. Med en kilowattimme energi kan en passagerare resa 10 km med metro och 29,9 km med närtåg. På motsvarande sätt kan en passagerare resa med spårvagn ca 4,4 km, med dieselbuss 2,7 km, med naturgasbuss 2,1 km och en person med personbil 1,3 km. Vad gäller växthusgasutsläpp är metron, närtåget och spårvagnen väldigt effektiva på grund av energieffektivitet och att de drivs med el.</p> <p>I kollektivtrafiken finns det en stor utvecklingspotential vad gäller energi- och klimateffektivitet. Minskning av utsläpp fram till 2020 baserar sig mest på införandet av hybridbussar, ökning av elektrisk trafik och ökning av andelen biobränsle i trafiken. De viktigaste operativa medlen är utveckling av körsätt och utnyttjande av bromsenergi. På trafiksystemnivå minskar kollektivtrafiken betydelsefullt energiförbrukningen och klimatutsläppen.</p>			
Nyckelord: energieffektivitet, klimateffektivitet, energiförbrukning, kollektivtrafikens teknologikutveckling			
Publikationsseriens titel och nummer: HRT publikationer 27/2010			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-050-9 (nid.)	Språk: finska	Sidantal: 69
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-051-6 (pdf)		
HRT Helsingforsregionens trafik, PB 100, 00077 HRT, tfn. (09) 4766 4444			

Abstract page

Published by: HSL Helsinki Region Transport			
Author: Juho Korteniemi, Panu Pasanen, Markus Latvala, T. Pohjola / Bionova Consulting			Date of publication 25.10.2010
Title of publication: Energy efficiency development possibilities in public transport			
Financed by / Commissioned by: HSL Helsinki Region Transport			
Abstract: Environmental values, energy efficiency and climate impact have taken an essential role in the public affairs in the past years, and their weight in decision making is constantly increasing. One of HSL strategic goals is to promote low emissions transport. Public transport energy efficiency is good when compared to passenger cars today. However, the car energy and climate efficiency is improving substantially and the development is set to continue at least until 2020, supported by the EU directive on new car sales emission limits. The rapid development of passenger car emissions poses an increasing challenge for the energy and climate efficiency of public transport services. There are national and international binding goals for energy and climate efficiency development until the year 2020, and non-binding goals until the year 2050. The goals which impact public transport sector are 9 % improvement in energy efficiency by 2016 when compared to 2005 level, and national binding goals of reducing greenhouse gas emissions by 20 % and using 20 % of renewables in transport sector by 2020. By 2050, the targeted greenhouse gas reduction goals are up to 80 % of all emissions when compared to the 1990 emission levels. The public transport services provided by HSL use 628 GWh energy annually, which produces about 314 million public transport trips. The diesel and natural gas used by the buses represents two thirds of the energy consumption, whereas their share of the produced trips is about one half. The rail rolling stock energy consumption is one seventh of the whole. Circa one fifth of the energy is used by the transport infrastructure, such as stations, rail switch heating and the depots. In energy efficiency terms metro and train are clear leaders. One kilowatt hour of energy takes a passenger 10 km in metro and 29,9 km in a train. Correspondingly the passenger could travel in a tramway 4,4 km, in a diesel bus 2,7 km and in a natural gas bus 2,1 km and in a passenger car transporting one person 1,3 km. From CO ₂ emissions point of view metro, train and tramway deliver best results due to low consumption and electrical drive. Public transport has a major role in reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. By the year 2020 the efficiency improvements are mostly based in the adoption of hybrid buses, increasing the share of electrified public transport, and increasing the share of biofuels. From the operational measures the most important are economic driving training and increased utilisation of braking energy. However, the greatest impact of public transport is at the transport system level.			
Keywords: energy efficiency, climate efficiency, energy consumption, public transport technology development			
Publication series title and number: HSL publications 27/2010			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-050-9 (nid.)	Language: Finnish	Pages: 69
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-051-6 (pdf)		
HSL Helsinki Region Transport, P.O.Box 100, 00077 HSL, tel. +358 (0) 9 4766 4444			

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	11
2	Poliittiset ilmasto- ja energiatarvitteet Suomessa ja Euroopassa.....	13
2.1	Kansalliset ja kansainväliset ilmastotavoitteet 2020-2050.....	13
2.2	Suomen liikennesektoria koskevat tavoitteet vuoteen 2020 saakka	14
2.3	Suomalaisten ja eurooppalaisten kaupunkien ilmastotavoitteet	14
2.4	Uusiutuvan energian lisäämistavoitteet Euroopassa	15
3	Energia- ja ilmastotehokkuuden mittarit	16
3.1	Tyypilliset liikenteen energiatehokkuusmittarit.....	16
3.2	Primäärienergian kulutukseen perustuva vertailu.....	17
4	Joukkoliikenteen energiankulutuksen nykytila Helsingin seudulla	18
4.1	Energian kulutuksen jakautuminen	18
4.2	Liikennemuotojen energiatehokkuus ja vuosittainen ajosuorite	19
4.3	Ilmastotehokkuuden tunnusluvut liikennemuodoittain	21
4.4	HSL:n tilaaman liikenteen kasvihuonekaasutase	22
4.5	Infrastruktuurin merkitys energiankulutuksessa.....	23
5	Teknologian kehitystrendi ja vaikutus energiatehokkuuteen.....	24
5.1	Bussikaluston energiatehokkuuden kehitystrendi.....	24
5.2	Raidekaluston energiatehokkuuden kehitystrendi	26
5.3	Vertailukohta: henkilöautojen päästötehokkuuden kehitystrendi.....	27
6	Energian käytön muutokset ja tehostamiskeinot.....	28
6.1	Infrastruktuurihankkeet, joista päätös on jo tehty	29
6.2	Infrastruktuurihankkeet, joista päätös on avoinna	30
6.3	Muut rakenteelliset keinot	31
6.3.1	Liityntäpysäköinnin kehittäminen	31
6.3.2	Ruuhkamaksu	33
6.3.3	Yhteiskäyttöautojen lisääminen	34
6.3.4	Liikennevaloetuuden kehittäminen raitiovaunuille ja busseille	35
6.3.5	Kooste rakenteellisten keinojen vaikutuksista	37
6.4	Operatiiviset ja tekniset energiatehokkuuskeinot.....	38
6.4.1	Jarrutusenergian hyödyntäminen eri kalustotyypeissä	38
6.4.2	Jarrutusenergian hyödyntäminen, ajotavan optimointi ja teknologiat	39
6.5	Muut operatiiviset keinot	40
7	Joukkoliikenteen energiatehokkuuden skenaariot	41

7.1	Skenaarioiden periaatteita	41
7.2	Skenaarioihin sisältyvät epävarmuudet	41
7.3	Skenaarioiden tiivistelmä	42
7.4	Nollaskenaario – jo päätettyjen toimien vaikutus vuonna 2020	43
7.5	Skenaario 1: liikenteen sähköistäminen 2020 - 2030	44
7.6	Skenaario 2: tehokkuuden optimointi ja kaluston uusinta 2020-2030	45
7.7	Skenaario 3: uusiutuvan energian hankinta 2020-2030	46
7.8	Skenaarioiden vaikutusten vertailua	47
7.9	Energiatehokkuuden kehittäminen vuoteen 2050 saakka	48
8	Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi	49
8.1	Ehdotuksia toimintaperiaatteiksi	49
8.2	Ehdotuksia käynnistettäviksi energiatehokkuuden kehittämistä helpottaviksi jatkotoimenpiteiksi	50
9	Yhteenveto ja päätelmät	51
9.1	Yhteenveto	51
9.2	Päätelmät	52
9.3	Tärkeimmät energia- ja ilmastotehokkuuden parantamiskeinot	53
10	Liite: Energiatehokkuuden mittarit ja niiden epävarmuudet	54
11	Liite: Energian kulutuksen kalustokohtaiset erot	56
12	Liite: Skenaariotyöpajan tulokset	57
13	Liite: Sähkön ja polttoaineiden hankinnan ilmastovaikutukset	59
13.1	Joukkoliikenteen energian kulutus energiatyypeittäin	59
13.2	Sähkön hankinta ja sähkön tuotannon todellinen ilmastovaikutus	59
13.3	Biopolttoaineiden käytöstä syntyvät päästövähennykset	60
14	Liite: johdinautojen vaikutus energiatehokkuuteen	61
14.1	Vertailukohtat muihin kaupunkeihin	61
14.2	Johdinautojen käyttöönoton Helsingissä vaikutus vuoden 2020 tilanteeseen	62
14.3	Johdinautojen energia- ja ilmastotehokkuus dieselbussiin verrattuna – vaikuttavat tekijät	63
15	Liite: verrokka kaupungit Tukholma, Göteborg, Graz, Lyon ja Madrid	64
15.1	Tukholma, Ruotsi – panoksia biokaasuun, etanoliin ja uusiutuvaan sähköön	64
15.1.1	Göteborg, Ruotsi – painopiste uusiutuvien osuuden lisäämisessä	66
15.2	Graz, Itävalta – painopiste uusiutuvan energian käytön lisäämisessä	67
15.3	Lyon, Ranska – painopiste yhdistelmäliikenteellä ja vaihtoyhteyksillä	68
15.4	Madrid, Espanja – painopiste raideliikenteessä ja kaasubusseilla	69

1 Johdanto

Ympäristöystävällisyys, energiatehokkuus ja kasvihuonekaasutase ovat olennaisesti liisänneet merkitystään yhteiskunnallisissa ratkaisuissa, ja näiden merkitys kasvaa edelleen. Yksi HSL:n strategisista tavoitteista on vähäpäästöisen liikenteen edistäminen.

Joukkoliikenteen kilpailija henkilöauto on parantanut energiatehokkuuttaan merkittävästi, ja sen kehitys jatkuu ainakin vuoteen 2020 saakka EU:n säätämän uusien autojen myyntiä koskevan direktiivin johdattamana. Lisäksi autokannan päästöjen on arvioitu vähenevän nykyisestä (n. 180 g CO₂/km) murto-osaan (tasolle 20-30 g CO₂/km) 2050 mennessä.

Joukkoliikenteen energiatehokkuus nykyisin on pääsääntöisesti hyvä henkilöautoon verrattuna. Joukkoliikenteen päätökset ja hankinnat, kuten kalusto- ja järjestelmätason ratkaisut, vaikuttavat kuitenkin hyvin pitkällä aikajänteellä investointien käyttöajan ollessa usein jopa 40 vuotta. Nyt ja lähivuosina tehtävillä ratkaisuilla onkin kauaskantoinen vaikutus joukkoliikenteen kilpailukykyyn energiatehokkuuden näkökulmasta.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää joukkoliikenteen energiatehokkuuden nykytila sekä tähän vaikuttavat keskeiset tekijät tulevaisuudessa aina vuoteen 2050 asti. Eri vaihtoehtojen vaikutuksia niin energiankulutukseen kuin ilmastonmuutoksen hillintään tarkasteltiin erityisesti uudet teknologiat, kaluston käyttötapojen muutokset ja uuden infrastruktuurin rakentamissuunnitelmat huomioiden. Työn tuloksia käytetään linjattaessa HSL:n joukkoliikenteen kehittämissuuntia tulevaisuudessa.

Työn sisältö on seuraavanlainen:

- 2. luvussa luetellaan kotimaisia ja eurooppalaisia energia- ja ilmastotavoitteita, sekä pohjoismaisten pääkaupunkien joukkoliikennesektorin päästötavoitteita,
- 3. luvussa esitellään työssä käytettävät energia- ja ilmastotehokkuuden mittarit,
- 4. luvussa selvitetään HSL:n energiankulutuksen nykytila, jakauma sekä kunkin liikennemuodon energia- ja ilmastotehokkuus,
- 5. luvussa esitetään teknologian kehityksen vaikutus energiatehokkuuteen sekä joukkoliikenteen (bussit ja raidekalusto) että henkilöautojen osalta,
- 6. luvussa luetellaan energiatehokkuuteen vaikuttavat keinot, ja arvioidaan niiden kustannuksia ja vaikutusta energiatehokkuuteen,
- 7. luvussa esitetään kolme erilaista joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämiskenaariota vaikutuksineen ja tärkeimpine toimenpiteineen,
- 8. luvussa tiivistetään ehdotukset jatkotoimenpiteiksi, ja
- 9. luvussa esitetään yhteenveto ja päätelmät.

Lisäksi raportissa on kuusi liitettä, jotka esittelevät tarkemmin seuraavia aiheita:

- energiatehokkuuden mittarit ja niiden epävarmuudet (liiteluku 10),
- energiatehokkuuden kalustokohtaiset erot (liiteluku 11)
- hankkeessa pidetyn skenaariotyöpajan tulokset (liiteluku 12),
- sähkön ja polttoaineiden hankinnan ilmastovaikutuksien esittely (liiteluku 13),
- johdinautojen käyttöönoton vaikutus energiatehokkuuteen (liiteluku 14), ja
- esittely valittujen kaupunkien joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämislinjauksista, kaupungeina Tukholma, Göteborg, Graz, Lyon ja Madrid (liiteluku 15).

Luvuissa 6. ja 7. esitellyjä energiatehokkuuden toimenpiteitä tarkasteltaessa on tärkeää huomata, että eri lähteiden arviot energiatehokkuusvaikutuksista eivät ole yhteismitallisia. Tyypillisiä puutteita ovat teknologian kehityksen aiheuttaman energiatehokkuuden parannuksen huomiotta jättäminen ja eri toimista saatavien hyötyjen päällekkäinen laskenta. Näistä syistä raportin skenaariot esitetään niiden aiheuttaman energiansäästön, eikä absoluuttisen saavutettavan energiankulutustason avulla.

Joukkoliikenteen energia- ja ilmastotehokkuuden kehittämisen päävaihtoehdot ovat:

- liikennesuorituksen siirtäminen energiatehokkaampiin muotoihin (esim. uusien rai-dehankkeiden tai liityntäpysäköinnin kehittämisen myötä),
- energiankulutusta tehostavien teknologioiden käyttöönotto (esim. hybridibussit),
- energiankulutusta tehostavat toimenpiteet (esim. kuljettajien koulutus), ja
- uusiutuvan energian ostaminen liikenteen energianlähteeksi.

Tässä selvityksessä on analysoitu kaikkia vaihtoehtoja. Eri vaihtoehdoilla saavutetaan varsin erilaisia energiankulutusprofieileja, ja vaihtoehdoilla on myös vaikutusta liikenteen kustannusrakenteeseen. Selvityksen tuloksena on tunnistettu keinoja, joilla HSL:n energiankulutusta voidaan vähentää nykyisestä merkittävästi ja ilmastopäästöjä yli 80 % vuoteen 2030 mennessä, jos kulutus ja päästöt suhteutetaan toiminnan laajuuteen.

Yksi selvityksen tärkeistä oheistuloksista on selkeä tarve elinkaariperusteisen ajattelun soveltamiselle HSL:n toiminnassa laajemmin. Elinkaariajattelu on olennaista joukkoliikenteen kustannuksien sekä energiatehokkuuden kannalta, sillä kaluston hankintahinta on vain pieni osa elinkaarikustannuksista, ja käyttöiän aikainen energiankulutus on yleensä merkittävä osa elinkaarikustannuksista. Lisäksi elinkaaritarkastelu tuo näkyviin myös joukkoliikennepalvelua tukevien toimintojen, kuten varikoiden, asemien ja muun infrastruktuurin sekä kaluston siirtojen vaikutukset.

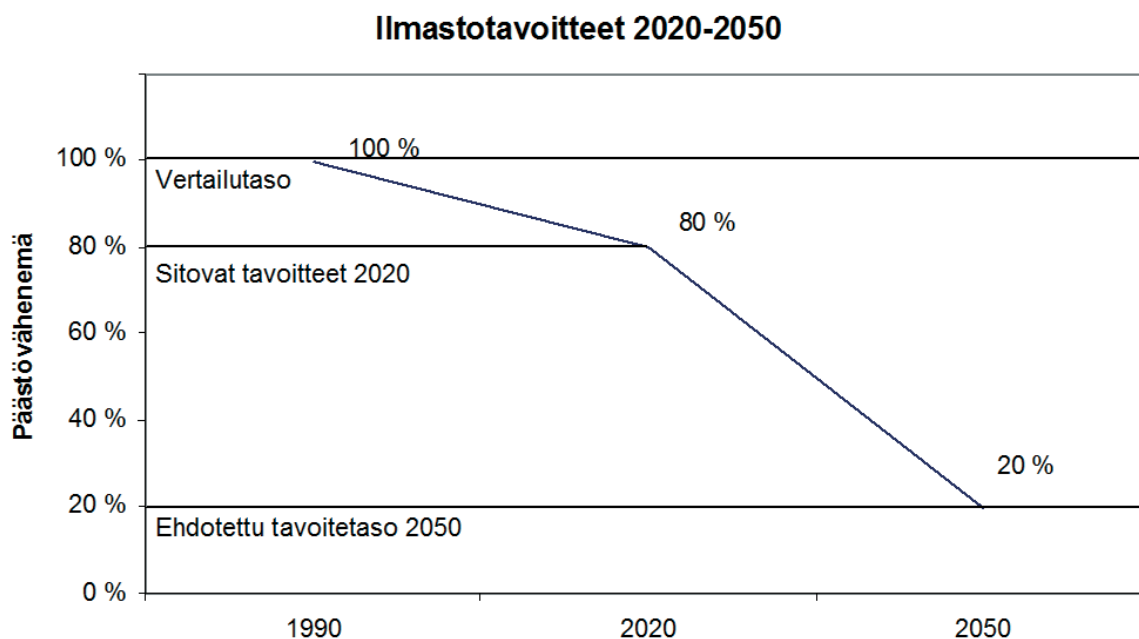
2 Poliittiset ilmasto- ja energiavoitteet Suomessa ja Euroopassa

Suomi, useat muut maat ja Euroopan Unioni ovat asettaneet erinäisiä sitovia ja ei-sitovia tavoitteita kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ja uusiutuvan energian lisäämiseksi.

- Sitovia ilmastotavoitteita on asetettu aikajänteellä 2020, ei-sitovia 2050 saakka.
- Sitovia uusiutuvan energian tavoitteita on asetettu vuoteen 2020 saakka.
- Energiatohokkuutta säätelee energiapalveludirektiivi 2016 saakka, ja lisäksi vuoteen 2020 on vapaaehtoinen 20 % energiatohokkuuden kehitystavoite.

2.1 Kansalliset ja kansainväliset ilmastotavoitteet 2020-2050

Kaikilla EU:n jäsenmailla on velvoite vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä vuoteen 2020 mennessä 20 % vuoteen 1990 verrattuna. Lisäksi Suomen ja EU:n molempien ehdotettu, ei vielä sitova, tavoite on leikata päästöjä vuoteen 2050 mennessä 80 %. ^{1 2}



Lisäksi päästökaupan ulkopuolisille sektoreille tavoite on vähentää päästöjä vuoteen 2020 mennessä vähintään 10 % vuoden 2005 päästöihin verrattuna, ja myös liikennesektorille vähentämistavoitetta 16 % on ehdotettu samalle ajanjaksolle. ³

¹ Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea

² Towards a new Energy Strategy for Europe for 2011-2020

³ LVM / Ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020

2.2 Suomen liikennesektoria koskevat tavoitteet vuoteen 2020 saakka

Alla oleva taulukko koostaa tärkeimmät suomalaista liikennesektoria koskevat tavoitteet.

Tavoite	Status	Laatija
Liikenteen energiankäytöstä 20 % katetaan uusiutuvalla energialla vuoteen 2020 mennessä	Tulossa sitovaksi	TEM / NREAP-suunnitelma EU:lle
Joukkoliikenteen energiatehokkuussopimus: energiatehokkuuden lisääminen 9 % v. 2016 mennessä verrattuna 2001-2005 keskiarvoon	Sitova sopimus-osapuolille	LVM ja allekirjoittajat (sis. kaikki HSL:n käyttämät suuret operaattorit)
Liikenteen CO ₂ -päästöjä leikataan uusiutuvien energialähteiden lisäksi 3 milj. tonnia vuoteen 2020 mennessä. Perusurana päästöille 14 milj. tonnia.	Hyväksytty, ei lakia	TEM / Ilmasto- ja energiastrategia sekä LVM / Ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020
Liikenteen polttoaineiden kokonaiskäytön tulee pudota nykyisestä noin 51 TWh:sta 10 TWh:lla vuoteen 2020 mennessä	Hyväksytty, ei lakia	TEM / Ilmasto- ja energiastrategia
Suomi vähentää CO ₂ -päästöjä päästökaupan ulkopuolisilla toimialoilla sisältäen liikenteen keskimäärin 16 % vuoteen 2020 mennessä.	Hyväksytty, ei lakia	LVM / Ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020
Joukkoliikennematkoja tehdään 100 miljoonaa nykyistä enemmän vuonna 2020 (nousee 20 % vuoden 2009 matkamäärän 500 milj. verrattuna)	Hyväksytty, ei lakia	LVM / Ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020

2.3 Suomalaisten ja eurooppalaisten kaupunkien ilmastotavoitteet

Suuremmista suomalaisista kaupunkiseuduista mm. pääkaupunkiseutu ja Tampereen kaupunkiseutu ovat asettaneet kunnianhimoisia päästöjen vähentämistavoitteita. Nämä tavoitteet on asetettu muotoon per asukas, koska molempien seutujen väestö kasvaa.

Pääkaupunkiseudun ilmastostrategian (2007) mukaan päästöjä vähennetään 39 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 lähtötasoon verrattuna. Tampereen kaupunkiseudun ilmastostrategian mukainen vuoden 2030 vähennystavoite on 40 %. Tämän lisäksi useat muut suomalaiset kunnat ja kaupungit ovat asettaneet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteita. Osa näistä perustuu kuitenkin teollisen rakenteen muutokseen, eikä yksinomaan uusiin päästövähennyksiin.

Muutamien eurooppalaisten pääkaupunkien tavoitteita (lähtötasona 1990) on esitetty alla. Tavoitteet koskevat koko kaupunkia jos toisin ei ole mainittu:

- Kööpenhamina: ensimmäinen hiilineutraali kaupunki vuonna 2025
- Tukholma: fossiilisista polttoaineista vapaa kaupunki vuoteen 2050 mennessä. Joukkoliikenne on tässä edelläkävijä, sillä Storstockholms Lokalstrafikin tavoite on lopettaa kaikkien fossiilisten polttoaineiden käyttö kokonaan SL:n kalustossa viimeistään 2025, ja käyttää vähintään 50 % uusiutuvia moottoripolttoaineita 2011.
- Lontoo: -60 % vähemmän kasvihuonekaasuja vuonna 2025
- Oslo: -50 % vähemmän kasvihuonekaasuja vuonna 2030 (lähtötasona 1991). Oslo aikoo lopettaa fossiilisten polttoaineiden käytön joukkoliikenteessä 2020 mennessä. Nyt käytössä on 275 biokaasu-, bioetanol- ja biodieselbussia.

2.4 Uusiutuvan energian lisäämistavoitteet Euroopassa

Kaikki Euroopan Unionin jäsenvaltiot ovat toimittaneet EU:lle kansallisen uusiutuvan energian edistämisen toimintasuunnitelman, jolla jäsenvaltiot ovat sitoutuneet lisäämään uusiutuvan energian käyttöä vuoteen 2020 mennessä.

Uusiutuvan energian lisäämistavoitteet vuoteen 2020 mennessä valituille valtioille:

Jäsenvaltion tavoite 2020	Uusiutuvien osuus energian kokonaisloppukäytöstä	Uusiutuvien osuus liikenteestä (sisältää uusiutuvan sähkön)
Suomi	38 %	20 %
Ruotsi	50,2 %	13,8 %
Tanska	30 %	10,1 %
Saksa	19,6 %	13,2 %
Itävalta	34,2 %	11,4 %
EU-27	20 %	10 %

Suomen kansallisen toimintasuunnitelman mukaisesti uusiutuvien osuus liikenteessä saavutetaan lähes kokonaan biopolttonesteiden avulla.

Näitä tavoitteita kauemmas EU:n tason tavoitteita on luodanut raportti ”Biofuels in the European Union – A Vision for 2030 and beyond”, jonka mukaan vuonna 2030 liikenteen polttoaineen kulutuksesta neljännes katettaisiin biopolttoaineilla. Lisäksi koko energiajärjestelmän kehityskulkua valmistellaan EU:n ”Roadmap 2050”:ssa, joka esitellään vuonna 2011. Sisältönä ovat keinot vähähiilisen talouden saavuttamiseksi 2050.

3 Energia- ja ilmastotehokkuuden mittarit

3.1 Tyypilliset liikenteen energiatehokkuusmittarit

Euroopassa kasvatetaan uusiutuvan energian osuutta sähkön tuotannossa ja liikenteessä, jolloin samalla energiamäärällä saatavan liikennesuorituksen ilmastovaikutus putoaa. Tästä syystä energia- ja ilmastotehokkuutta tarkastellaan kumpaakin erikseen.

Energia- ja ilmastotehokkuudelle on eri mittaustapoja, joista tärkeimmät on esitetty alla:

- Energian kulutus kalustossa (esim. kWh / km, polttoainetta tai sähköä). Tällöin huomioidaan kaluston moottorin käyttämä polttoaine tai sähköenergia.
- Ilmastopäästöt (esim. grammaa hiilidioksidiekvivalenteja päästöjä / km). Tällöin huomioidaan polttoaineiden ja sähkön elinkaaresta aiheutuvat kasvihuonekaasut.
- Primäärienergian kulutus (esim. kWh / km). Tällöin huomioidaan myös sähkön tuotannon hyötysuhde, eli tuotannossa käytetyn polttoaineen sisältämä energia. Käytännössä tämä tekee sähkökäyttöisen kaluston energian kulutuksesta vertailukelpoisemmän polttomoottorikaluston kanssa.

Energiankulutuksen vähentäminen vaatii investointeja tai toimenpiteitä, jotka vaikuttavat kaluston käyttöominaisuuksiin tai kustannuksiin. Ilmastopäästöjä sen sijaan voidaan vähentää tekemällä hankintapäätöksiä ilmastoystävällisestä polttoaineesta tai sähköstä.

Kun eri kalustojen energia- ja ilmastotehokkuutta verrataan, on syytä huomioida myös näiden kapasiteetti ja täyttöaste. Kalustojen vertailussa mittareina voidaan käyttää:

- kWh / paikkakilometri (huomioidaan energian kulutus ja kapasiteetti)
- g CO₂e / paikkakilometri (huomioidaan ilmastovaikutus ja kapasiteetti)
- kWh / matkustajakilometri (huomioidaan energian kulutus ja täyttöaste)
- g CO₂e / matkustajakilometri (huomioidaan ilmastovaikutus ja täyttöaste)

Jos liikennesuunnittelussa oletetaan, että kaluston täyttöastetta ei voida juurikaan nostaa nykyisestä, tai halutaan tarkastella todellista, toteutuvaa tehokkuutta, voidaan mittareina käyttää suoraan matkustajakilometreihin perustuvia arvoja.

Yllä olevaan perustuen olemme valinneet ensisijaisiksi mittareiksi seuraavat:

- Energian kulutus kWh / matkustajakilometri (käytöstä riippuen myös kWh_{pe})
- Ilmastovaikutus g CO₂e / matkustajakilometri

3.2 Primäärienergian kulutukseen perustuva vertailu

Energiankulutuksen mittaamiseen voidaan valita joko kaluston kulutukseen tai primäärienergiaan perustuva mittari. Verrattaessa sähköllä toimivaa kalustoa polttomoottorikalustoon kannattaa huomioida myös primäärienergian kulutus, muutoin on syytä käyttää kaluston kulutukseen perustuvaa mittaria sen helpotajaisuuden vuoksi.

Primäärienergiankulutus lasketaan huomioimalla sähkön, kaukolämmön ja polttoaineiden valmistuksen ja siirron yhteydessä kulutettu energia. Käytännössä tämä huomioi kaiken asiakkaalle toimitetun energiayksikön valmistukseen ja toimittamiseen kuluneen energian.

Primäärienergiankulutus lasketaan käyttäen PRF-kerrointa (primary resource factor). PRF-kerroin saadaan jakamalla 1 energiantuotannon hyötysuhteella. Näin esimerkiksi sähkön PRF-kerroin 2,5 kuvaa tyypillistä lauhdevoimalaitoksen tuotantoon perustuvaa sähköntuotannon hyötysuhdetta 40 % (0,4). Primäärienergiankulutus saadaan kertomalla kulutettu sähkö PRF-arvolla. PRF-kerrointa käytetään esim. lämmitysmuotojen vertailuun.



Kuva: Esimerkki hyötysuhteesta ja PRF-kertoimesta

Selvityksessä on käytetty seuraavia kertoimia primäärienergiankulutuksen laskentaan

- Sähkönkulutus: 2,5 ja kaukolämmön kulutus: 0,44 (Euroheatcool WP3:n mukaan)
- Liikennepolttoaineet (diesel): 1,3

Energiankäytön kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa hyödynnetään ominaispäästökertoimia. Ominaispäästökerroin kuvaa yhden kilowattitunnin energiankulutuksesta aiheutuvaa päästöä. Ominaispäästökerroin riippuu sähköntuotantotavoista. Syntyneet päästöt lasketaan kertomalla ominaispäästökerroin kulutetulla energiamäärällä. Energiankäytön ominaispäästökertoimina on tässä raportissa käytetty:

- Sähkön ominaispäästökerroin 126 g/kWh (HelEnin ilmoittama arvo)
- Kaukolämmön ominaispäästökerroin 96 g / kWh (HelEnin ilmoittama arvo)
- Liikennepolttoaineen (Diesel) ominaispäästökerroin 265 g/kWh (Tilastokeskus)

Tarkemmin energianhankinnasta ja ominaispäästöistä on kerrottu luvussa 13.

4 Joukkoliikenteen energiankulutuksen nykytila Helsingin seudulla

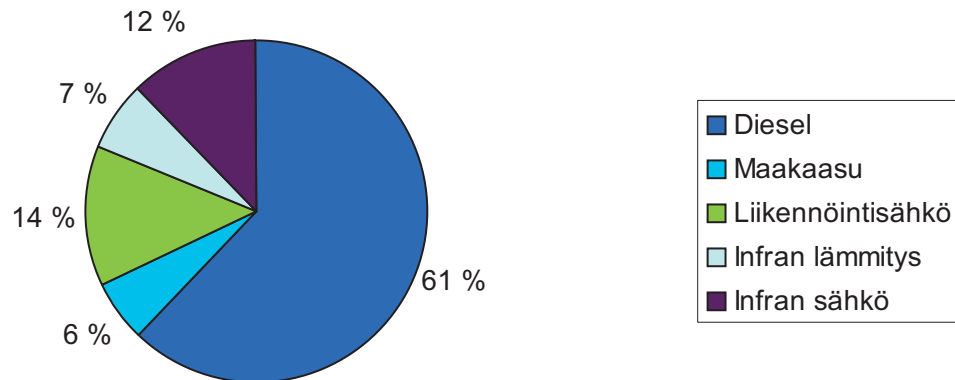
4.1 Energian kulutuksen jakautuminen

Helsingin seudun joukkoliikennejärjestelmä muodostuu lähijunista, raitiovaunuista, metrorosta ja bussiliikenteestä. Liikennöintiin kuluvaan energiaan lisäksi energiaa kuluu mm. varikoiden, asemien ja raideinfrastruktuurin toimintoihin.

HSL:n tilaaman joukkoliikenteen sekä liikennettä tukevan infrastruktuurin energiankulutus oli vuonna 2009 noin 628 GWh, mikä vastaa noin 8 % HelEnin sähkön myynnistä. Tällä tuotetaan 314 miljoonaa matkaa vuosittain. Tämä kulutus huomio myös HSL:n tilaaman bussi- ja raideliikenteen varikkojen ja infrastruktuurin energiankulutuksen.

Bussien käyttämien dieselin ja maakaasun osuus energian kokonaiskulutuksesta on noin kaksi kolmasosaa, kun taas niiden osuus tuotetuista matkoista on puolet. Raidekaluston liikennöinnin vaatima energia puolestaan on noin seitsemäsosa koko energian kulutuksesta. Infrastruktuuri kuluttaa vajaan viidenneksen kokonaisenergiasta.

Energiamuotojen osuudet HSL:n joukkoliikenteessä



Kaavio: energiankulutuksen jakauma eri energiamuotojen välillä HSL:n alueella

Raidekaluston kulutusta tarkasteltaessa on syytä huomata, että lähijunan osalta mukaan on laskettu ainoastaan HSL:n tilaama lähijunaliikenne, eli linjat A, E, I, K, L, M, N, S ja U. Jos koko lähijunaliikenne huomioidaan, kasvaa liikennesähkön osuus 2 prosenttiyksikköä.

4.2 Liikennemuotojen energiatehokkuus ja vuosittainen ajosuorite

Eri liikennemuotojen vuositason ajosuoritteet on esitelty alla olevassa taulukossa. Yksikönä on käytetty miljoonaa kilometriä. Kalustokilometreillä tarkoitetaan sitä kilometrimäärää, jota esim. yksittäiset bussit tai raitiovaunut ovat ajaneet. Paikkakilometrit saadaan kertomalla kalustokilometrit kaluston matkustajapaikoilla. Matkustajakilometrit saadaan lipputiedoista ja liikennetutkimuksista kertomalla linjakilometrit matkan keskipituudella. Tuloksia ja niiden epävarmuuksia käsitellään tarkemmin luvussa 10.

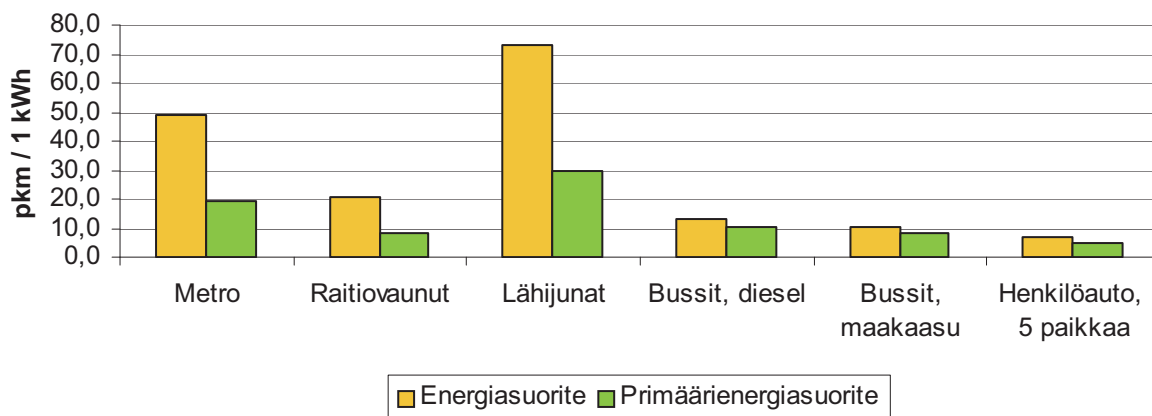
Suoritteet milj. km.	Kalusto-km	Paikka-km	Täyttöaste	Matkustaja-km	Osuus matk. km
Metro (vaunu)	14,2	2 042	20,5 %	418	19 %
Raitiovaunu	5,5	524	21,8 %	114	5 %
Lähijuna (junayks.)⁴	5,5	1 263	40,7 %	514	24 %
Bussit, diesel	84,9	5 173	20,2 %	1 047	48 %
Bussit, maakaasu	6,4	389	20,2 %	79	4 %
Yhteensä	109	9 392	23,1 %	2 171	100 %

Taulukko: liikennemuotojen vuosisuoritteet, täyttöasteet ja osuus matkustajakilometreistä

Tehokkuutta tarkasteltaessa on huomioitava, että joukkoliikenteen täyttöasteeseen vaikuttaa merkittäväällä tavalla se, että ruuhka-aikaan (arkisin 7-9 ja 15-18, noin 5 h / vrk) kaluston käyttö on lähellä maksimikapasiteettia, mutta muuna arkiaikana (noin 13 h / vrk) ja viikonloppuina täyttöaste on alempi. Tästä seuraa keskimääräisen täyttöasteen lasku.

Samalla energiamäärällä saatava paikkasuorite eri liikennemuodoille on esitetty alla. Alla on huomioitu vain liikennesuoritteiden suora energiankulutus, eikä infrastruktuurin kulutusta.

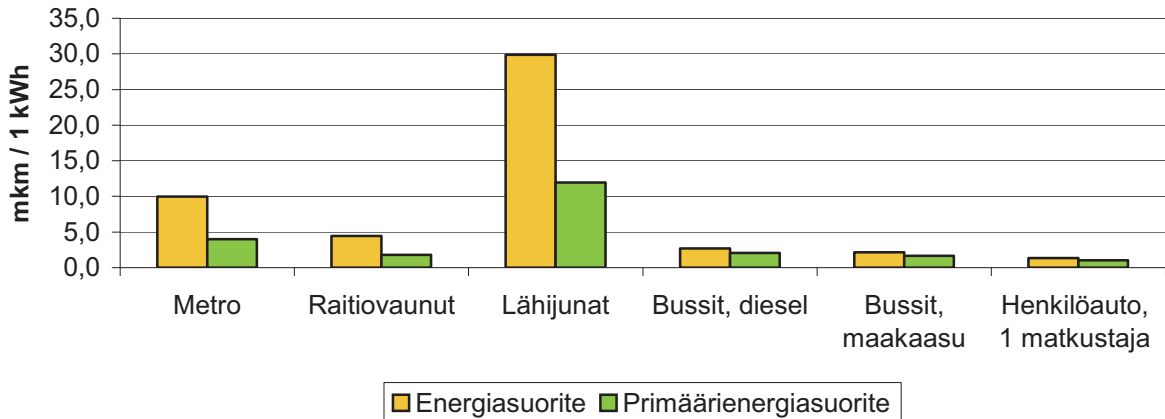
1 kWh:lla saatavat paikkakilometrit



⁴ Yksi junayksikkö = vaunupari. Lähijunan osalta huomioitu vain HSL:n tilaama liikenne.

Kun energiatehokkuutta tarkastellaan per matkustajakilometri koko vuoden keskiarvolla, se laskee noin viidesosaan täyttöasteen vuoksi. Lähijunan erittäin hyvä tulos johtuu sen korkeasta täyttöasteesta ja siitä, että lähijuna pysähtyy vain pysäkeille, jotka sijaitsevat n. 2 km välein, jolloin kiihdytykset vaativat vähemmän energiaa kuin esim. raitiovaunulla.

1 kWh:lla saatavat matkustajakilometrit



Kuvaajasta nähdään, että 1 kWh polttoainetta tuottaa yhdelle matkustajalle:

- metrolla 10 km matkan ja lähijunalla 29,9 km matkan
- raitiovaunulla 4,4 km matkan
- bussilla 2,7 km matkan (diesel) tai 2,1 km matkan (maakaasu)
- henkilöautolla 1,3 km matkan, jos oletetaan että autossa on yksi matkustaja

Jos autoilija ajaa henkilöautolla yksin keskusta-alueella, pääsee hän 1 kWh:lla polttoainetta kuitenkin vain 1,0 km matkan. Tämä johtuu siitä, että keskusta-ajon kulutus on noin 29 % katuajoa korkeampi VTT:n Helsinki-syklin ja katuajon kulutuksien mukaan.

Tässä selvityksessä henkilöauton kulutusarvona käytetään VTT:n LIPASTO-tilaston katuajon kulutusta, joka vastaa HSL-alueen henkilöautoliikennettä yhdistelmäkulutusta paremmin. Tätä arvoa on käytetty selvityksen laskelmissa, kaavioissa ja taulukoissa. Joukkoliikenteen kulutusarvoina on käytetty HSL-alueen keskikulutusta.

Tarkastelut on tehty rinnakkain myös primäärienergiaan perustuen, jotta sähkö- ja polttomoottorikäyttöisiä liikennemuotoja voidaan vertailla. Laskelmissa primäärienergia-kerroin on sama kaikille sähkökäyttöisille liikennemuodoille, jotta vertailu mahdollistuu, vaikka VR käyttääkin vesisähköä. Tarkemmin asiaa on käsitelty kappaleessa 3.2.

Tarkemmin energiatehokkuuden tunnuslukuja ja epävarmuuksia on esitelty luvussa 10.

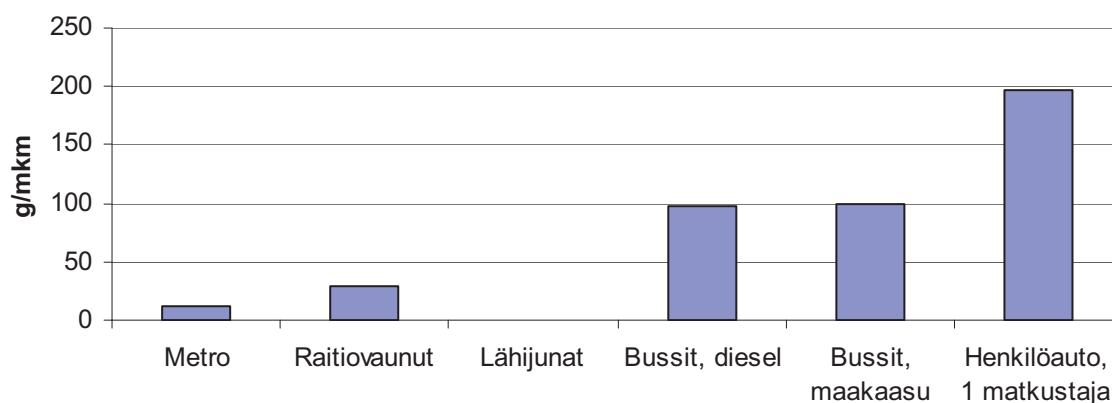
4.3 Ilmastotehokkuuden tunnusluvut liikennemuodoittain

Ilmastotehokkuuden tunnuslukuja laskiessa on huomioitava sähkön ominaispäästökerroin. VR:n lähijunissa käytettävä sähkö on tuotettu vesivoimalla, ja sen päästökerroin on 0.

Muussa sähkökäyttöisessä liikenteessä käytetään HelEnin myymää sähköä, jolle HelEn on ilmoittanut ominaispäästökertoimeksi 126 g CO₂e / kWh. Tämä sähkö on hankittu Pohjoismaisesta sähköpörssistä eikä vastaa HelEnin omaa sähkön tuotantoa.

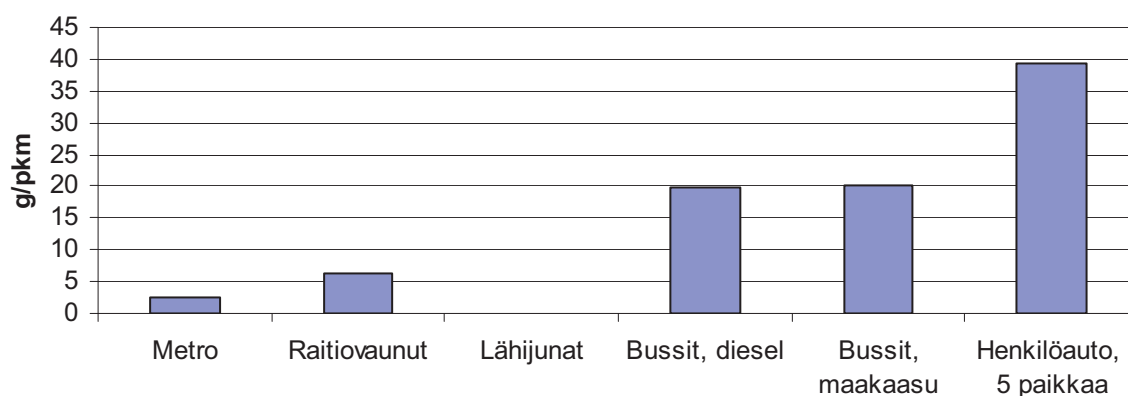
Polttoaineena käytetyn dieselin uusiutuvaksi osuudeksi oletetaan laskuissa 0. Pieni uusiutuvan dieselin osuus ei muuta tulosta oleellisesti, ja vertailukelpoisuuden vuoksi laskennassa tulisi huomioida myös henkilöautojen käyttämän biopolttoaineen osuus.

Kasvihuonekaasupäästöt per matkustajakm



Kaavio: ilmastotehokkuus matkustajakilometriä kohti

Kasvihuonekaasupäästöt per paikkakm

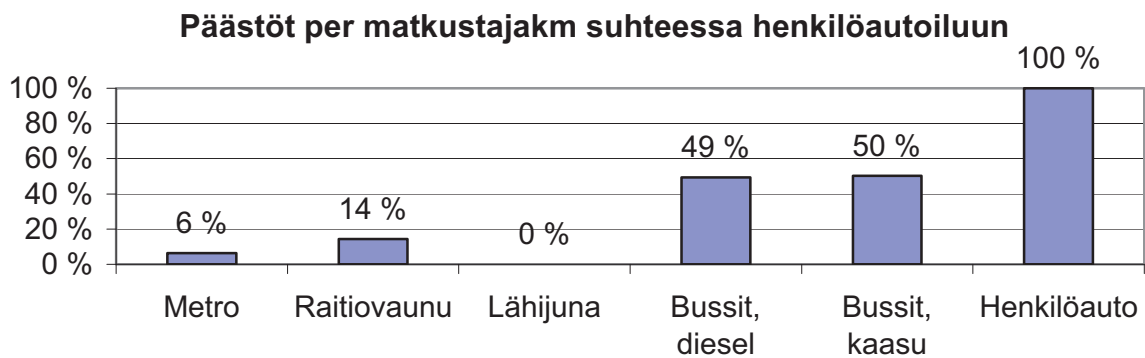


Kaavio: ilmastotehokkuus paikkakilometriä kohti

Alla oleva taulukko koostaa ilmastotehokkuuden tunnusluvut, sekä liikennemuotojen suhteellisen tehokkuuden henkilöautoon verrattuna. Henkilöauton laskelma olettaa, että siinä on yksi matkustaja, ja auto on keskimääräinen suomalainen ajoneuvo katuajossa. Samoin kuin henkilöautoilla, joukkoliikenteessä käytettävällä kalustolla on vaikutusta energiatehokkuuteen. Kalustokohtaisia eroja on käsitelty tarkemmin liitteessä 11.

Ilmastotehokkuus per liikennemuoto	g CO ₂ e / paikakkm	g CO ₂ e / matkustajakm	Päästöt matkustajaa kohti henkilöautoon verrattuna
Metro	3	13	6 %
Raitiovaunut	6	28	14 %
Lähijunat	0	0	0 %
Bussit, diesel	20	97	49 %
Bussit, maakaasu	20	99	50 %
Henkilöauto	39	197	100 %

Taulukko: syntyvät kasvihuonekaasupäästöt liikennemuodoittain



4.4 HSL:n tilaaman liikenteen kasvihuonekaasutase

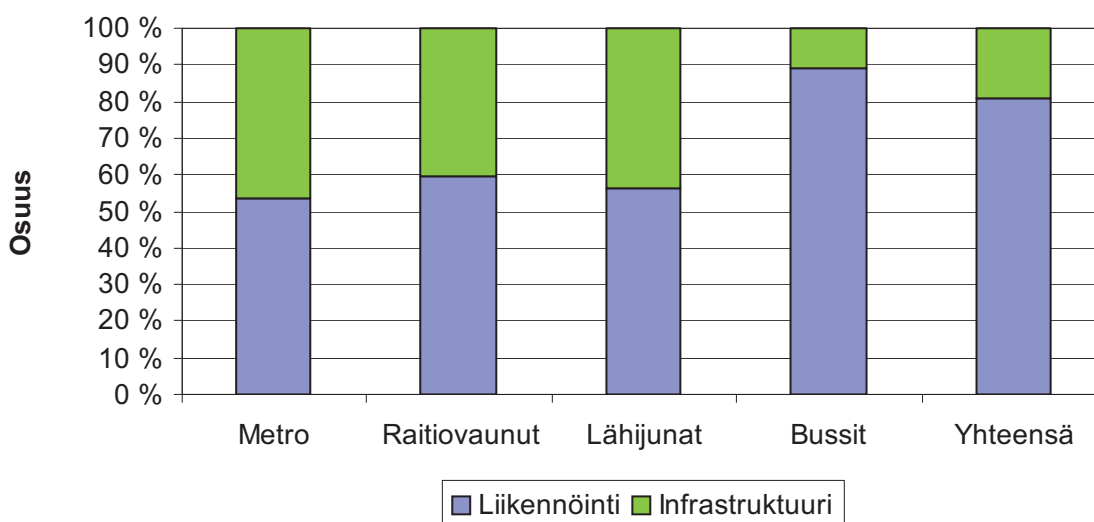
Käytetyt ominaispäästökertoimet perustuvat nyt käytettyihin energialähteisiin. Dieselisiin sekoitetun biopolttoaineosuuden vaikutusta ei kuitenkaan ole tässä huomioitu. Energiankulutus on pyöristetty gigawattitunnin tarkkuudella ja päästöt sadan tonnin tarkkuudella.

Energiamuoto	Kulutus GWh /v	Päästöt CO ₂ /kWh	Tonnia CO ₂ /v	Osuus
Sähkö – VR	30	0	0	0 %
Sähkö – muut	131	126	16 500	13 %
Kaukolämpö	42	96	4 000	3 %
Diesel	389	265	103 000	79 %
Maakaasu	37	198	7 300	6 %
Yhteensä	628	-	130 800	100 %

4.5 Infrastruktuurin merkitys energiankulutuksessa

Aiemmin esitetyt tunnusluvut sisältävät vain liikennesuoritteiden vaatiman energiankulutuksen. Lisäksi infrastruktuurin, kuten asemien, varikoiden ja vaihdelämmityksen vaikutus energian kokonaiskulutukseen on merkittävä, 118 GWh vuodessa eli vajaat 19 % kokonaiskulutuksesta. Tämä on enemmän kuin lähijuna- ja raitiovaunuliikenteen kokonaisenergiankulutus yhteensä. Infrastruktuurin merkitys on suurempi liikennemuodoissa, joissa käytetään suljettuja asemia sekä raideliikenteessä, joka tarvitsee talvisin vaihdelämmitystä. Kulutus vaihtelee talvikauden lämpötilan mukaan.

Energiankulutuksen jakauma liikennemuodoittain, GWh/vuosi



Kaavio: energiankulutuksen jakauma liikennöinnin ja infrastruktuurin kesken

Infrastruktuurin energiankulutus syntyy seuraavista lähteistä:

Kulutuspaikka	Sähköä GWh	Lämpöä GWh
Metroasemat	19,7	7,7
HKL:n ja HelB:n varikot: Ruskeasuo, Koskela, Vallila, Töölö, Vartiokylä, Metrovarikko	18,5	17,0
VR:n infrastruktuuri (lähijuna-asemat ja jaettu infra) ⁵	12,9	0,6
Muiden liikennöitsijöiden varikot (arvioitu)	18,3	15,2
Muut kohteet (pysäkit, juna-asemat, kiinteistöt jne.)	6,9	1,2
Yhteensä	76	42

⁵ Lähijunien osuudeksi kaukoliikenteen kanssa jaetuista vaihdelämmityksistä ja infrasta on laskettu 50 %.

5 Teknologian kehitystrendi ja vaikutus energiatehokkuuteen

Kehittyvä teknologia ja poliittinen tahtotila vähentää ilmastovaikutuksia aiheuttavat merkittäviä tuotekehityspanoksia vähäpäästöisemmän joukkoliikenteen suuntaan. Tässä kappaleessa esitellään energiatehokkuuden ennakoituja kehitystrendejä eri liikennemuodoille. Trendit on koostettu valmistajilta saadun luottamuksellisen tiedon perusteella, ja näin ollen mitään tietoa ei esitetä sillä tavoin, että sen alkuperä ilmenee.

Energiatehokkuuden kehitystrendi on busseille ja raidekalustolle lähes päinvastainen:

- Polttomoottorikäyttöisten bussien energiatehokkuus kehittyi erittäin nopeasti, erityisesti hybriditeknologian ja jarrutusenergian hyödyntämisen ansiosta.
- Sähkökäyttöisen raidekaluston energiatehokkuuden kehitystrendi on suhteellisen vakaa, sillä kiristyvät turvamääräykset nostavat kaluston painoa, vaikka muuten kalustoa pyritäänkin keventämään. Kasvanut paino vaatii lisää energiaa, ja sähkömoottorin hyötysuhteelle ei ole näköpiirissä merkittävää kehitystä. Jarrutusenergian hyödyntämistä on kuitenkin mahdollista tehostaa nykyisestä.
- Tälle välille jäävät johdinautot, joiden perusteknologian kehitys ei tarjoa suuria hyötyjä, mutta toisaalta joiden painoa turvamääräykset eivät nykyisellään lisää.

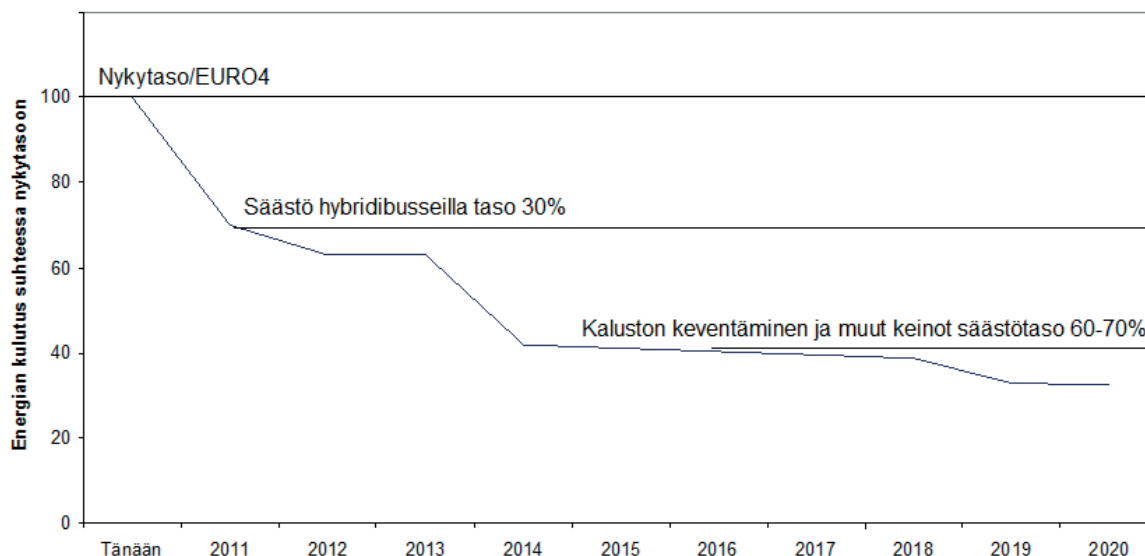
Toisaalta uusien junissa ja busseissa käytettävien mukavuusominaisuuksien, kuten ilmastoinnin, tietonäyttöjen, WLANin ja matkapuhelinten toistoantennien integrointi kalustoon lisää kaluston energiankulutusta. Tässä tarkastelussa ei ole huomioitu näiden vaikutusta, vaan on pyritty tunnistamaan kehityksen perustrendi ilman muita vaikutuksia.

Lisäksi kehitystrendit ovat uudelle hankittavalle kalustolle, joten tämän lisäksi on huomioitava se, miten nopeasti uudentyyppinen kalusto yleistyy ja korvaa käytössä olevan kaluston tai autokannan.

5.1 Bussikaluston energiatehokkuuden kehitystrendi

Bussikaluston energiatehokkuus kehittyi erittäin nopeasti hybridimoottorien yleistymisen ja muun tuotekehityksen myötä. Myös ensimmäisten kaupallisten hybridien tultua markkinoille tuotteiden energiatehokkuuden kehitys jatkuu nopeassa tahdissa.

Bussitekniologian ennustetun kehityksen tuoma enimmäisenergiänsäästö



Tällä hetkellä mittauksissa olevien hybridien vaikutus energian kulutukseen on noin 25 %. Hybridibussien odotetaan kuitenkin vielä kehittyvän siten, että hybriditekniologian vaikutus energiatehokkuuteen on 30 %. Suorituskykyä parannetaan tästä muilla tekniologioilla.

Lisäksi bussikaluston keventämisellä ja uusista materiaaleista rakentamisella on merkittävä potentiaali. Tällaisia mahdollisuuksia tarjoavat mm. alumiini ja komposiitit. VTT:n arvion mukaan kaluston keventäminen tonnilla säästää noin 2,1 litraa polttoainetta sadalla kilometrillä. Alumiinikorisilla busseilla on saavutettu noin 30 % säästöjä.

Hybriditekniologian lanseeraamisen jälkeen saatava lisätehokkuus ei perustu pelkästään kevytrakenteisiin ratkaisuihin. Valmistaja ei kerro käyttämänsä ratkaisun yksityiskohtia, mutta kertoo, että suunnitelma perustuu polttomoottoritekniologiaan ja voimansiirron ja bussin energiajärjestelmän ohjauksen kehittämiseen. Saman tasoiseen energiatehokkuuteen päästään myös sähköbusseilla, jota tässä ei kuitenkaan huomioida.

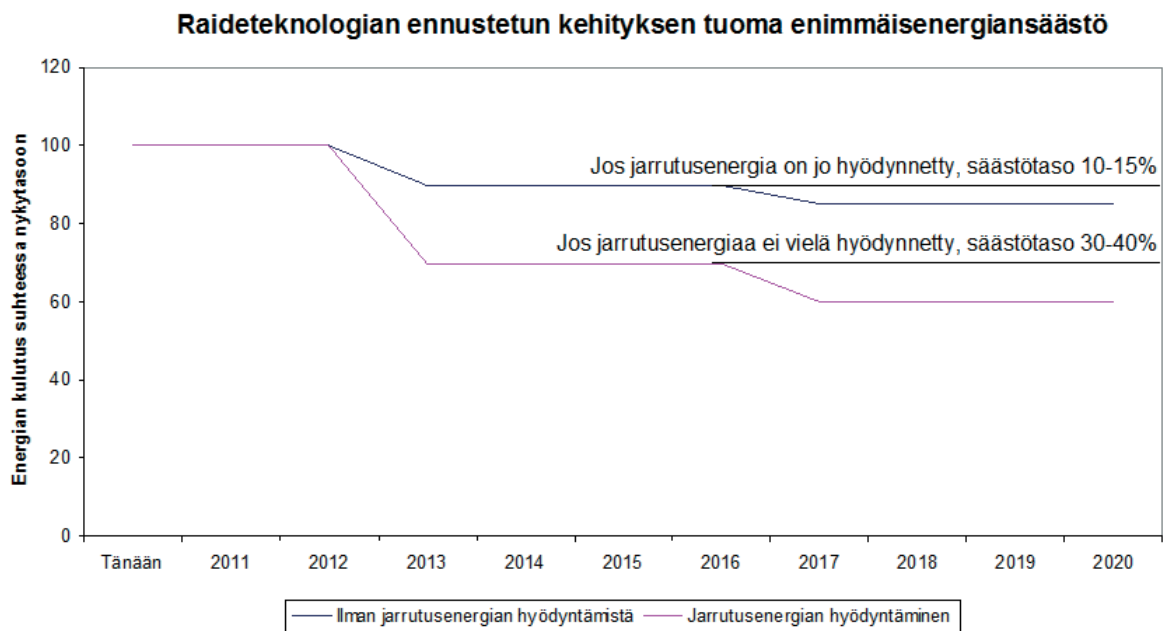
Esitetty tekniologian kehitystrendi on valmistajien mukaan teknisesti todennettu ja kaupallisesti mahdollista toteuttaa, mutta sen toteutumista ei voida taata. Kaupallisten päätösten lisäksi energiapolitiittiset linjaukset voivat vaikuttaa sen toteutumiseen.

Bussikaluston keski-ikä suoritteella painotettuna on pääkaupunkiseudulla noin 6,85 vuotta ja kalusto uusiutuu kokonaisuudessaan 14-15 vuodessa. Kehitystrendin oletetaan lähtevän toteutumaan siten, että loppuvuodesta 2012 käytännössä kaikki HSL:n tilaama uusi liikenne ajetaan hybridikalustolla. Viimeistään 2020 todennäköisesti kaikki liikennöinti on siirtynyt hybrideille, koska CO₂-perusteinen pisteytys ohjaa liikennöitsijöitä tähän.

5.2 Raidekaluston energiatehokkuuden kehitystrendi

Raidekaluston energiatehokkuuden kehitys on hidasta. Sähkömoottorien hyötysuhteet ovat jo korkeita, ja mullistavia parannuksia ei ole tässä hankkeessa tunnistettu. Olennaista parannusta on saatavissa vain, jos kalusto ei vielä hyödynnä jarrutusenergiaa täysimääräisesti, kuten HSL:n tapauksessa raitiovaunujen ja metrojen osalta. Hyödyntämällä jarrutusenergiaa lämmityksessä, superkondensaattoreilla tai syöttämällä se takaisin verkkoon saadaan merkittäviä tehokkuusparannuksia.

Raidekaluston osalta muita tehostamismahdollisuuksia löytyy esim. ilmastoinnista, valoisista ja lämmityksestä, joita voidaan tehostaa noin kolmasosan verran.



Lisäksi raidekaluston jatkuvaa energiakehitystyötä haittaavat tiukentuvat turvamääräykset, jotka kasvattavat kaluston painoa. Painon lisäys korreloi suoraan energiankulutuksen kasvun kanssa. Esimerkkinä painon noususta voidaan ottaa HKL:n raitiovaunut:

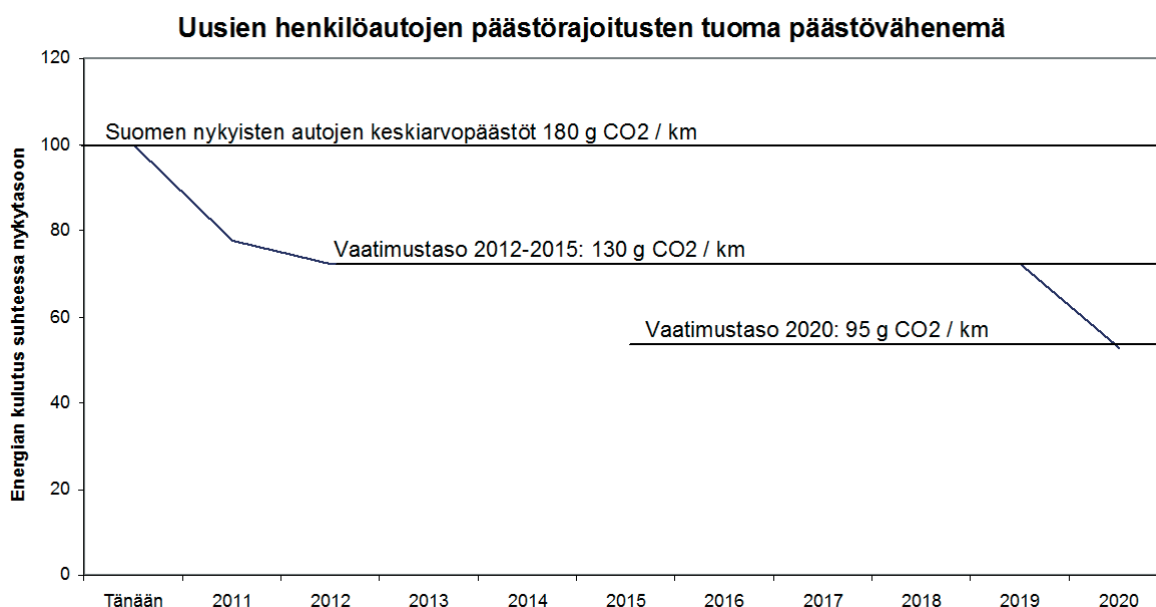
- Variotram nivelvaunu, painaa 35 tonnia, valmistettu 1998-2004
- Nr I vanha nivelvaunu, painaa 28 tonnia, valmistettu 1973-1975

Kaluston paino on siis noussut 25 prosenttia 25 vuoden aikana (jos paikkamäärän muutosta ei huomioida). Jos paino jatkaa nousuaan tällä trendillä, on syytä olettaa että energiatehokkuuden kehitys raidekalustolle olisi negatiivista. Muutoksia tähän voivat tuoda kevyemmät materiaalit ja jarrutusenergian tehokkaampi hyödyntäminen. Asiantuntijoiden näkemys aiheesta koskien oli, että paino säilyisi kuitenkin samana.

5.3 Vertailukohta: henkilöautojen päästötehokkuuden kehitystrendi

Suomen nykyisen henkilöautokannan keskimääräinen päästötaso on 180 g CO₂ / kilometri. Tämä on varsin korkea uusiin autoihin verrattuna, sillä ensirekisteröitävien autojen keskipäästöt Helsingissä ovat noin 157 g ja parhaimpien päästöt jopa alle 100 g.

Henkilöautojen päästöjen vähentämiseksi Euroopan parlamentti on hyväksynyt direktiivin, jonka mukaan 2012-2015 uusien myytävien ajoneuvojen päästötaso saa olla enintään 130 g CO₂ / km. Direktiivissä on myös vaatimus päästötasolle 95 g CO₂ / km vuonna 2020, joka tulee vielä erikseen vahvistaa. Henkilöautojen ominaispäästöjen on arvioitu vähenevän edelleen merkittävästi vuoteen 2050 mennessä, tasolle 20-30 g CO₂ / km. Tämän mahdollistavat teknologiat voisivat olla esimerkiksi sähköautot tai polttokennot.



Päästöjä tarkasteltaessa on huomattava, että esitetyt luvut koskevat yhdistelmäajoa. Tällä hetkellä katuajossa päästöt ovat noin 9 % korkeammat VTT:n LIPASTON mukaan ja keskusta-ajoa vastaavassa Helsinki-syklissä 41 % yhdistelmäajoa korkeammat. Nämä erot todennäköisesti kuitenkin kapenevat etenkin hybridautojen yleistyessä.

Velvoitteista voidaan johtaa 10 vuoden keski-iällä henkilöautokannan päästötasoksi ⁶:

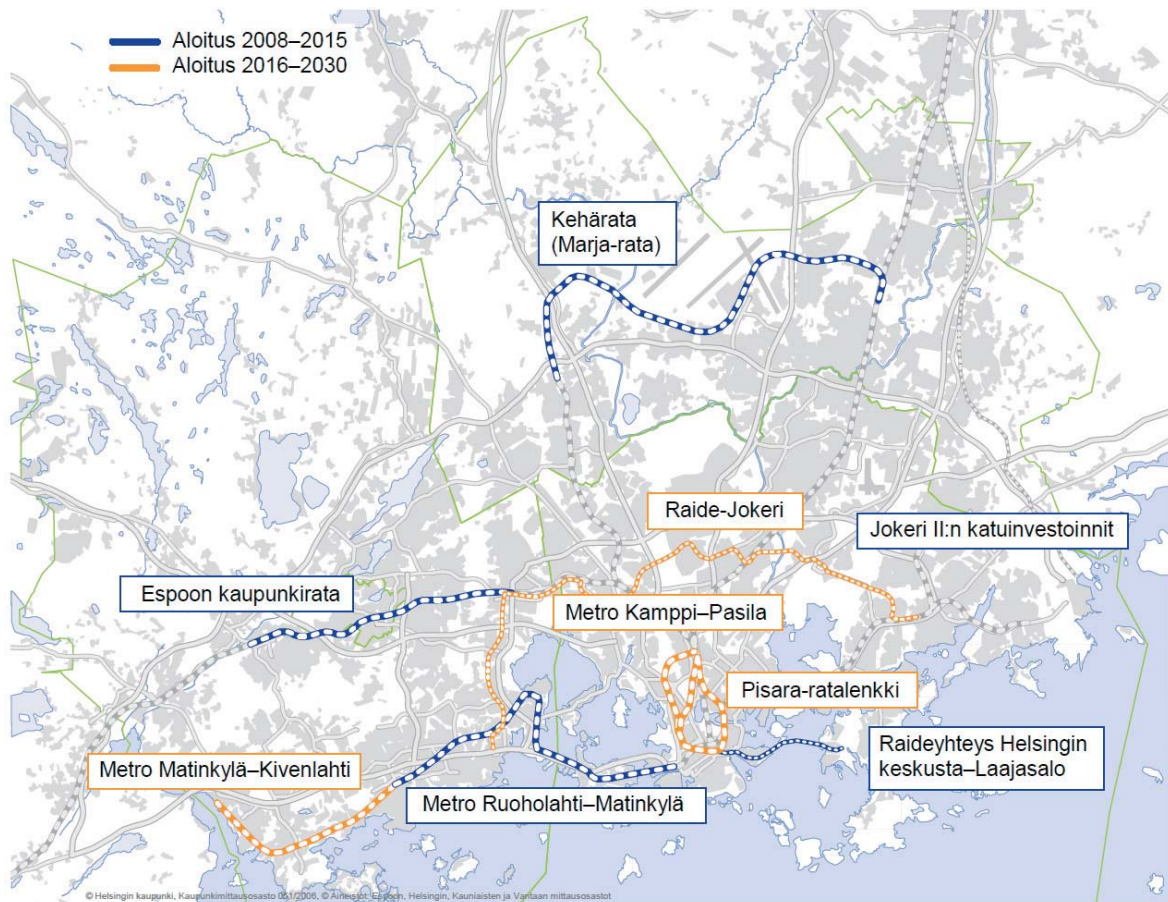
- vaatimustaso 2012 edustaa kolmea neljäsosaa autokannasta 2020: keskimääräiset päästöt 142 g, eli vähennys nykyiseen verrattuna noin 21 %
- vaatimustaso 2020 autokannassa 2030: keskimääräiset päästöt 95 g, eli vähennys nykyiseen autokantaan verrattuna noin 47 %

⁶ Arvio olettaa nopeampaa päästötehokkuuden kehitystä 2020 alkaen kuin VTT:n LIISA-mallin ennusteosio

6 Energian käytön muutokset ja tehostamiskeinot

Useimmat rakenteellisista keinoista ovat merkittäviä joukkoliikenneinvestointeja, joiden pääasiallinen tavoite ei ole energiatehokkuus. Rakenteellisten keinojen vaikutuksia päätöihin ja kustannuksiin on koostettu niistä tehtyjen erillisselvitysten perusteella.

Alla oleva kuva esittää pääkaupunkiseudulle suunnitellut infrahankkeet Pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelman PLJ 2007 mukaisesti.



Kuva: pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelman mukaiset infrahankkeet

Tätä kirjoitettaessa meneillään on Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma 2011-työn laadinta, joka tulee mahdollisesti muuttamaan esitettyjen hankkeiden luetteloa. Suunnitelma laaditaan koko Helsingin seudulle, johon lasketaan kuuluvan 14 kuntaa.

Operatiiviset keinot ovat muutoksia, jotka voidaan tehdä ilman merkittäviä investointeja. Vaikka näihinkin liittyy pääoman sitomista, usein kyseessä on olemassa olevan kaluston hyötysuhteen parantaminen. Näiden lisäksi uusiutuvan sähkön ja biopolttoaineiden hankintaan liittyviä kysymyksiä on käsitelty erikseen luvussa 13.

6.1 Infrastruktuurihankkeet, joista päätös on jo tehty

Tässä luetellaan infrastruktuurihankkeet, jotka on jo käynnistetty tai joista on tehty päätös. Kullekin hankkeelle esitetään niiden vaikutus energiankulutukseen raideliikenteessä (sähkö) ja polttonesteiden kulutuksen vähenemä joukkoliikenteessä ja henkilöautoilussa. Hankkeiden vaikutusten arviointeja ei ole tehty täysin yhteismitallisesti, joten arviot poikkeavat toisistaan osin merkittävästikin. Tästä syystä kaikkien toimenpiteiden energiatehokkuusvaikutukset on pyöristetty gigawattitunnin tarkkuudelle.

Infrastruktuurihankkeiden kuvaus ja kustannus	Energiatase GWh		
	Raide (sähkö)	Bussit (diesel)	Henkilöautoilu
Länsimetro (Ruoholahti-Matinkylä), 13,9 km metroa ja 7 asemaa. Valmistuu 2015+, kustannusarvio 800 M€. Lisää suoritetta noin 11 milj. vaunukilometriä vuodessa. Oletusten vertailutasona 2030 tilanne. Lähteinä Länsimetron YVA ja HKL Metroliikenne.	+31 liikenne +7* asemat	- 45	+ 2
Kehärata (Vantaankoski – Lentoasema – Hiekkaharju/Tikkurila), 17,5 km rataa ja 4 uutta asemaa. Valmistuu 2014, kustannusarvio 605 M€. Lähteenä MARJA-Radan YVA.	+6	- 26	-31

Taulukko: hankkeiden vaikutus energiankulutukseen joukkoliikenteessä ja henkilöautoissa

* Kaikille rakennettaville uusille metroasemille ei ole käytettävissä energiankulutusarvioita tätä kirjoitettaessa. Uusien asemien sähkönkulutus on arvioitu nykyisen verkoston asemien keskiarvolla, joka on pyöristetty 1 GWh:n per uusi metroasema. HKL:n antaman tiedon mukaan Länsimetron osalta sähkönkulutusarvio on oikean suuruinen. Koska uudet asemat ovat maanalaisia, lämmönkulutus on arvioitu vähäiseksi ja sitä ei ole huomioitu.

Henkilöautoilun energiankulutuksen erot selittyvät Länsimetron ja Kehäradan vaikutusarvioinneissa käytetyillä erilaisilla oletuksilla. Länsimetron vaikutusten arviointi keskittyy Länsimetron joukkoliikennekäytävään. Kehäradan vaikutusten arviointi puolestaan huomioi vaikutukset henkilöautoiluun laajemmin. Tämä eroavuus tuo osaltaan esille tarpeen yhdenmukaistaa vaikutusten arviointia, jotta yhteiskunnallisia varoja käytettäessä voidaan vertailla eri hankkeiden vaikutuksia samoilla tai ainakin samankaltaisilla lähtöoletuksilla ja tarkastelulaajuuksilla.

6.2 Infrastruktuurihankkeet, joista päätös on avoinna

Tässä esitellään samalla periaatteella hankkeet, joista ei ole tehty lopullista päätöstä. Näiden vaikutusten arvioinnit ovat osittain vielä puutteellisia, ja tulokset siksi alustavia.

Infrastruktuurihankkeiden kuvaus ja kustannus	Energiatase GWh		
	Raide (sähkö)	Bussit (diesel)	Henkilö- autoilu
Espoon kaupunkirata Leppävaarasta Kauklahteen, 10 kilometriä rataa ja 6 asemaa. Valmistuu noin 2020, kustannusarvio 200 M€. Puolet polttoainesäästöistä kohdistettu busseille. Lähteenä Espoon kaupunkiradan hankearviointi 2003.	+3	- 7	- 6
Raidejokeri (Itäkeskus-Oulunkylä-Tapiola). 25 kilometriä, 32 pysäkkiä. Kustannusarvio 210 M€ (ei sisällä kaluston hankintaa). Vertailukohtana on 4,1 milj. km telibusseilla (nykytila +66 %), joka korvataan raitiovaunulla 2,2 milj. km. Pysäkkiväli 780 m ja liikennevaioetuudet huomioitu. Lähde HSL.	+9	-17	-
Raideyhteys Helsingin keskusta – Laajasalo (Kruunuvuoren sillan kautta). Pituus 15 km raidetta, kustannusarvio huomioiden siltatyöt 190 M€. Arvioitu vähemmän busseille 0,1 milj. km ja henkilöautoille 16 milj. km. Raitiovaunusuoritetta 1,2 milj. km vuodessa, keskimääräinen pysäkkiväli 650 metriä. Lähde HSL.	+5	-1	- 13
Pisara-rata. Kustannusarvio 700 – 1000 M€. Arvioitu, että korvaa 1,08 miljoonaa bussikilometriä ja 0,27 miljoonaa raitiokilometriä vuodessa. Vaikutus huomioitu vuosien 2025 ja 2040 keskiarvolla. Lähde: Pisararadan tarve- ja toteuttamiskelpoisuus selvitys	- 1	- 5	- 9
Länsimetron jatke (Matinkylä-Kivenlahti). Viisi asemaa, kustannusarvio 400 M€. Lisää metrolle 3,5 milj. vaunukilometriä. Lähde: HKL Metroliikenne metron osalta, muuten vaikutus arvioitu *.	+10 liikenne +5 asemat	- 15*	-
Itämetro (Mellunmäki - Sipoon Majvik), 6 uutta asemaa, kustannusarvio 640 M€. Lisää metrolle 16 milj. vaunukilometriä. Lähde: HKL Metroliikenne metron osalta, muuten vaikutus arvioitu *.	+45 liikenne +6 asemat	- 45*	-

Infrastruktuurihankkeiden kuvaus ja kustannus	Energiatase GWh		
	Raide (sähkö)	Bussit (diesel)	Henkilö- autoilu
Johdinautot. Vähennetään bussisuoritetta 5 milj. km ja raitiovaunusuoritetta 0,1 milj. km. Johdinautoilla suori- te 4,4 milj. km vuodessa. Tarkemmin luvussa 14.	+11	-16	-

Taulukko: hankkeiden vaikutus energiankulutukseen joukkoliikenteessä ja henkilöautoissa

Seuraaville infrastruktuurihankkeille ei ole olemassa taustatietoja, joiden perusteella vaikutusta energiankulutukseen voitaisiin arvioida: Klaukkalan rata, metro Kamppi-Pasila, Lentokenttämetro / metro Vantaalle, muut raitioliikenteen parannukset, Länsirata (Espoo-Nummela-Lohja).

6.3 Muut rakenteelliset keinot

Tässä kappaleessa esitetään erikseen muut rakenteelliset keinot, joilla voidaan kehittää joukkoliikenteen ja liikennejärjestelmän energiatehokkuutta. Nämä esitetään erikseen siksi, että niiden vaikutus ja laajuus eivät ole yhtä yksioikoisia kuin raidehankkeilla.

6.3.1 Liityntäpysäköinnin kehittäminen

Liityntäpysäköinnin lisäämisen vaikutus liikennejärjestelmän energiatehokkuuteen voi olla merkittävä. Monet Helsingin seudun raideliikenteen liityntäpysäköintipaikoista on alimitoitettu jo nykyiseen tarpeeseen. Tosin paikkojen kuormitus vaihtelee niiden sijainnin ja joukkoliikennetarjonnan mukaan. Henkilöautopaikkojen lisääminen varsinkin kauemmaksi Helsingin keskustasta etenkin raideverkon asemille sekä polkupyöräpaikkojen lisääminen varsinkin ydinalueille, joilla on hyvä liityntäliikenteen palvelutaso, vaikuttavat positiivisesti joukkoliikenteen kulkumuoto-osuuteen ja kilpailukykyyn sekä liikennejärjestelmän energiatehokkuuden kasvuun.

Kesäkuussa 2010 valmistuneen, Liikenneviraston vetämänä valmistellun "Helsingin seudun työssäkäyntialueen liityntäpysäköinti" -raportin mukaan liityntäpysäköinnin autopaikkojen lisätarpeeksi on arvioitu 5 000 ja pyöräpaikkojen lisätarpeeksi 10 000, kun joukkoliikenteen käytön tehostaminen otetaan lähtökohdaksi. Tämä vaatisi karkeasti arvioiden 65 M€ investointia. Nämä luvut eivät huomioi Kehäradan (500) ja Länsimetron (1500) yhteydessä rakennettavia liityntäautopaikkoja. Myös käynnissä oleva Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma sisältää liityntäpysäköinnin kehittämistavoitteen.

HSL:n arvion mukaan autopaikan keskiarvokustannus pääkaupunkiseudulla on noin 9 600 euroa ja muualla HLJ-alueella noin 6 900 euroa. Polkupyöräpaikkojen keskiarvokustannus on 525 euroa. HLJ 2011 liikennejärjestelmäsuunnitelmaluonnoksessa liityntäpysäköinti- paikkojen rakentamiseen on esitetty 7 miljoonaa euroa vuodessa.

Liityntäpysäköinnin kysyntä tulee kasvamaan merkittävästi uusien raidehankkeiden myötä. Jos ruuhkamaksu otettaisiin käyttöön, kasvaisi liityntäpysäköinnin kysyntä tästä merkittävästi nykytilanteeseen verrattuna. Liityntäpysäköinnin tehokkaan järjestämisen sekä hyötyjen ulosmittaamisen kannalta on erittäin tärkeää, että paikkojen rakentamisen ja kunnossapidon kustannusten jakamisesta päästään sopimukseen eri osapuolten kesken. Suosituimpien liityntäpysäköintialueiden sekä alueiden, joissa esiintyy väärinkäyttöä, maksullista pysäköintiä tulisi harkita, mutta muuten pysäköinnin tulisi olla maksutonta tai sisältyä kausikorttiin. Maksamisen tulisi perustua matkakortin käyttöön.

Liityntäpysäköinti vaikuttaa myös joukkoliikenteen energiatehokkuuteen, sillä liityntäpysäköintipaikat rakennetaan pääsääntöisesti metron ja lähijunan varrelle. Alla oleva taulukko näyttää pysäköintipaikkojen sijainnin HSL:n alueella ja Uudellamaalla.

	Lähijuna	Metro	Bussi / raitiovaunu
Uusista liityntäpysäköintipaikoista	76 %	16 %	8 %
HSL:n matkasuoritteiden osuus	24 %	19 %	57 %

Koska uusien pysäköintipaikkojen synnyttämien eri matkustusmuotojen osuus on hyvin lähijunapainotteinen, on näistä syntyvien joukkoliikennematkojen keskimääräinen energiatehokkuus noin 3 kertaa parempi kuin HSL:n alueen keskimääräisen matkan.

Jos oletetaan, että kukin liityntäpysäköintipaikka tuottaa 400 joukkoliikennematkaa vuodessa, luo 15 000 uutta paikkaa yhteensä 6 miljoonaa joukkoliikennematkaa vuodessa. Tämä vastaisi 1,9 % kasvua HSL:n vuosittaisessa matkamäärässä. Jos sama matkamäärä tuotettaisiin HSL:n matkustusmuotojen keskiarvolla lähijunapainotteisuuden sijasta, kuluisi energiaa vuodessa noin 8 GWh enemmän, joten keinon energiansäästövaikutuksena voidaan pitää 8 GWh. Arvio on luonteeltaan suuntaa-antava, koska tarkkoja tietoja pysäköintipaikoilta tehtävistä matkoista ei ole käytettävissä. Liityntäpysäköinnillä saavutettava energiatehokkuus pienenee, kun bussit tehostuvat.

6.3.2 Ruuhkamaksu

Ruuhkamaksulla voi olla hyvin merkittävä vaikutus liikennejärjestelmän energiatehokkuuteen, etenkin jos samassa yhteydessä kevyen liikenteen ja kävelyn helppoutta ja joukkoliikenne- ja liityntäpysäköintipaikkatarjontaa kasvatetaan. Ruuhkamaksun vaikutuksesta koko liikennejärjestelmään tietoa löytyy Helsingin seudun ruuhkamaksuselvityksestä (LVM 20/2009), jota tarkennetaan parhaillaan meneillään olevalla jatkoselvityksellä. Ruuhkamaksun vaikutukset henkilöautoiluun tarkentuvat lähiaikoina valmistuvassa jatkoselvityksessä, joten tässä niihin ei syvennyttä.

Ruuhkamaksun toimivuuden edellytyksiä parantaa, jos se toteutuu maksuna, jotta liikenteen kehittämiseen saadaan varoja. Koska ruuhkamaksu voi toimia vain osana kokonaisuutta, jolla autoilun vaihtoehtoja edistetään, onkin relevanttia tarkastella ruuhkamaksun tehokkuutta verrattuna kokonaisuuden tehokkuuteen, jos sen muut osat toteutettaisiin ilman ruuhkamaksua. Näin tarkastellen ruuhkamaksun rahoituksellinen rooli korostuu ja energiatehokkuusrooli hieman vähenee.

Tässä selvityksessä tarkastellaan joukkoliikenteen energiatehokkuutta. Ruuhkamaksusta esitettyjen eri mallien vaikutus joukkoliikenteen energiankulutukseen on esitetty alla Helsingin seudun ruuhkamaksuselvityksen mukaisesti. Ruuhkamaksu lisää joukkoliikenteen kysyntää, ja näin myös energiankulutusta. Alla esitetyt vaikutukset on verrattu vuoden 2017 tasoon ilman ruuhkamaksua. Tätä kirjoitettaessa tarkennettu selvitys on työn alla, ja tämä voi osaltaan vaikuttaa tuloksiin. Koska kehä- ja linjamallien keskinäinen ero on varsin pieni, käytetään tässä niiden keskiarvoa.

Ruuhkamaksun arvioidaan vaikuttavan joukkoliikennesuoritteisiin 2020 seuraavasti:

Vaikutus ajosuoritteisiin milj. km / v		Kehä- / linjamalli		Kilometrimalli	
Liikennemuoto	Vertailutaso	M. km /v	Muutos	M. km /v	Muutos
Bussit (PKS:n alueella)	68,9	5,7	8 %	9,4	14 %
Raitiovaunut	6,6	0,3	4 %	0,6	9 %
Metro (sis. Länsimetro)	10,5	0,8	8 %	1,5	14 %
Lähijuna (sis. Kehärata)	13,3	1,0	8 %	1,4	11 %

Tämän ja liikennemuotojen energiatehokkuuden kehityksen perusteella voidaan laskea ruuhkamaksun vaikutus joukkoliikenteen energiankulutukseen vuonna 2020:

Vaikutus energiankulutukseen 2020	Kehä- / linjamalli	Kilometrimalli
Bussiliikenne, suora lisäys	+ 19 GWh	+ 31 GWh
Raideliikenne, suora lisäys	+ 6 GWh	+ 10 GWh

Ruuhkamaksun vaikutus joukkoliikenteen energiatehokkuuteen syntyy siitä, että se nostaa tehokkaiden lähijunamatkojen osuutta matkoista. Jos nämä matkat tehtäisiin nykyjakamalla, jossa bussien osuus on suurempi, energiaa kuluisi laskennallisesti 11-17 GWh enemmän vuotta kohden. Tässä laskelmassa on oletettu, että lisättävän lähijunasuorituksen täyttöaste on 32 %, eli VR:n lähijunaliikenteen keskiarvo.

Ruuhkamaksun vaikutus	Kehä- / linjamalli 2020	Kilometrimalli 2020
JL:n matkustajakilometriä kasvu	146 milj. km.	235 milj. km.
JL:n energiankulutuksen kasvu	25 GWh	41 GWh
Lisäsuorituksen keskikulutus 2020	0,13 kWh / mkm	0,13 kWh / mkm
Nykyjakautuksen keskikulutus 2020	0,18 kWh / mkm	
Laskennallinen energiansäästö	30 % (11 GWh)	29 % (17 GWh)

Vaikka suora vaikutus joukkoliikenteen energiatehokkuuteen on pieni, ruuhkamaksulla on kuitenkin hyvin merkittävä vaikutus koko liikennejärjestelmän energia- ja päästötehokkuuteen kokonaisuudessaan. Helsingin seudun ruuhkamaksuselvityksen mukaan liikennejärjestelmän hiilidioksidipäästöt pienenevät noin 11 % Kehämallissa, 12 % Linjamallissa ja 21 % Vyöhykemallissa (kilometripohjainen malli). Nämä tulokset tarkentuvat käynnissä olevassa jatkoselvityksessä. Ruuhkamaksun investointia on arvioitu seuraavasti: Kehämalli 37 M€, Linjamalli 42 M€ ja Vyöhyke/Kilometrimalli 179 M€.

6.3.3 Yhteiskäyttöautojen lisääminen

Yhteiskäyttöautojen lisääminen HSL:n alueella vaikuttaa joukkoliikenteen energiatehokkuuteen sen, että 85 % yhteiskäyttöautojen käyttäjistä asuu raideliikenne-yhteyksien alueella. Pääkaupunkiseudulla yhteiskäyttöautojen vuokrausta harjoittavan City Car Clubin mukaan tämä jakauma tulee jatkumaan. City Car Clubin asiakaskunta on tällä hetkellä noin 3 500 ja tavoite vuonna 2020 on 22 000 asiakasta pk-seudulla.

Yhteiskäyttöautojen käyttö vähentää henkilöautojen omistusta, ja vähentää tätä kautta myös liikennejärjestelmän päästöjä. Yhden yhteiskäyttöauton on arvioitu korvaavan noin 10 henkilöautoa pk-seudulla ja Helsingin kantakaupungissa noin 12-18 henkilöautoa.

Motivan teettämästä tutkimuksesta ilmeni, että 69 % yhteiskäyttöautojen käyttäjistä omistaa HSL:n matkakortin, johon on ladattu kausikortti ja 28 % HSL:n matkakortin, jolle on ladattu vain arvoa. Lisäämispotentiaali on niiden kuluttajien joukossa, joille vaihtoehtona on auton ostaminen.

Yhteiskäyttöautojen energiatehokkuusvaikutus toimii samalla tavoin kuin liityntäpysäköinnillä. Oletetaan, että 15 % yhteiskäyttöautoilijoista luopuu autosta jäsenyytensä yhteydessä, ja olisi käyttänyt autoa työmatkoihin. Muiden käyttäjien matkustusmuodot eivät muuttuisi. Näin keskimääräinen yhteiskäyttöautoilija käyttää joukkoliikennettä 72 matkaa enemmän vuodessa ($40 / \text{kk} * 12 \text{ kk} * 15 \%$). Tällä perusteella 18 500 yhteiskäyttöautoilijaa lisäksi joukkoliikenteen kysyntää noin 1,3 miljoonaa matkaa vuodessa. Jos vaikutusta arvioidaan samalla perusteella kuin liityntäpysäköinnille, vaikutus olisi noin 2 GWh vuotuinen joukkoliikenteen energiansäästö. Tämä toteutuu sillä oletuksella, että yhteiskäyttöautojen käyttäjät käyttäisivät asuinpaikkansa sijainnin vuoksi pääasiassa rai-dekalustoa joukkoliikennematkoihinsa.

6.3.4 Liikennevaloetuuden kehittäminen raitiovaunuille ja busseille

Liikennevaloetuuden energiankulutuksen tehostamispotentiaali on merkittävä. Etuuden avulla voidaan leikata energiankulutusta raitiovaunuilla ja busseilla teoriassa jopa kymmeniä prosentteja, koska ylimääräisistä pysähdyksistä aiheutuviin kiihdytyksiin kuluu vähemmän energiaa. Toisaalta käytännössä hyöty jää vaatimattomammaksi, sillä liikennettä ei voida toteuttaa yksinomaan joukkoliikenteen ehdoilla, ja myös bussit ja raitiovaunut kilpailevat keskenään etuudesta. Liikennevaloetuuksien potentiaalinen laajempi hyödyntäminen voi vaatia suurempiakin liikennesuunnittelun muutoksia, ja tämä vaatii liikennepoliittista linjanvetoa joukkoliikenteen nykyistä voimakkaammasta suosimisesta henkilöautoilun kustannuksella.

Liikennevaloetuuksilla suurin tehokkuus saavutetaan, jos liikennevalot suunnitellaan niin, että ne mahdollistavat kaluston siirtymisen pysäkiltä pysäkille pysähtymättä. Valtaväylien bussiliikenteelle tämä osittain jo toteutuukin, sillä liikennevalot pyritään rakentamaan ns. vihreiksi aalloiksi, joista autoliikenne voi ajaa useamman valon läpi pysähdyksittä.

Helsingin, Espoon ja Vantaan liikennevaloristeykset on koostettu alla olevaan taulukkoon:

Etuudet kaupungeit- tain	Liikennevalo- risteyksiä	Risteyksiä, joissa on jo etuuksia	Etuudellisten ris- teysten osuus
Helsinki, bussit	369	170	46 %
Helsinki, raitiovaunu	137 *	137 *	100 %
Espoo, bussit	189	23	12 %
Vantaa, bussit	n. 130	n. 20	15 %
Yhteensä *	n. 690	n. 210	31 % *

* Raitiovaunujen risteykset samoja kuin busseilla, joten niitä ei lasketa mukaan

Espoossa ja Vantaalla tehostamispotentiaali on suurin. Helsingissä ilman etuutta olevien bussiristeysten joukossa on etupäässä suojateitä, mutta myös isoja risteyksiä. Raitiovaunujen etuuksia ei voida määrällisesti lisätä, mutta vaikutusta voidaan tehostaa. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston arvion mukaan noin kaksi kolmasosaa pysähtymisistä voidaan poistaa etuuksien avulla suhteellisen pienillä muutoksilla liikennejärjestelmään. Potentiaali on pienempi keskusta-alueilla ja vastaavasti suurempi esikaupunkialueilla.

Liikennevaloetuuden merkitystä energiankulutukselle on arvioitu VTT:n raitiolinjalle 4 ja bussilinjalla 23 tekemien mittausten ja simulointien mukaan. Tässä laskelmassa bussille polttoaineen kulutus laski 4 %, ilman että pysähtymisten vaikutusta huomioitiin. Lisäksi tässä tutkimuksessa liikennevaloviiveet vähenivät molemmilla linjoilla yli 40 %. Jarrutusenergian hyödyntäminen hybridibusseilla ja raitiovaunuissa vähentää liikennevaloetudesta saatavaa hyötyä näkökulmasta. Tämä ei kuitenkaan vaikuta yllä mainittuun tulokseen, ja näin ollen konservatiivisena tehostamisarviona voidaan pitää 4 %. Esikaupunkialueelle potentiaaliksi arvioidaan 5 %, koska nyt etuuksia ei juuri ole käytössä.

Liikennevaloetuuden energiansäästöpotentiaali 2020 arvioidaan seuraavasti:

Liikennemuodon hyöty etuuksista	Säästöpotentiaali	Energiansäästö 2020
Raitiovaunut, kaupunkiajo	4 %	- 1 GWh
Bussit, kaupunkiajoa (2/3 kaikesta)	4 %	- 8 GWh
Bussit, esikaupunkiajoa (1/3 kaikesta)	5 %	- 5 GWh

Liikennevaloetuuksia ei voida suoraviivaisesti luokitella nollaetuuksiin ja muihin etuuksiin, sillä etuuden arvo on lineaarinen. Nollaviive-etuutena pidetään yleensä etuutta, joka pitää viivytyksen käytännössä pienempänä kuin 5 sekuntia, joka ei yleensä vaadi pysähtymistä.

6.3.5 Kooste rakenteellisten keinojen vaikutuksista

Alla olevassa taulukossa koostetaan rakenteellisten keinojen arvioidut vaikutukset. Näiden keinojen osalta on syytä huomioida, että suuri osa tiedosta perustuu energiavaikutusten johtamiseen muista tarkasteluista, eikä energiankulutuksen vaikutusten osalta ole tehty erillistä hanke- tai aihekohtaista arviointia. Tämä lisää tulosten epävarmuutta, ja näitä tuloksia tulisikin pitää suuntaa antavina toimenpiteen todennäköisestä vaikutuksesta.

Rakenteellisen keinojen kuvaus ja kustannus	Energiatase GWh		
	Raide (sähkö)	Bussit (diesel)	Henkilö-autoilu
Liityntäpysäköinnin kehittäminen (jakauma arvioitu oletuksella, että 92 % liityntäpysäköintipaikoista sijaitsee raideyhteyksien varrella)	+3	-11	Suuri
Ruuhkamaksu (kehä/linjamalli), jakauma arvioitu	+6	-17	Hyvin suuri
Ruuhkamaksu (kilometrimalli), jakauma arvioitu	+10	-27	Hyvin suuri
Yhteiskäyttöautojen lisääminen ((jakauma arvioitu oletuksella, että 85 % yhteiskäyttöautojen käyttäjästä asuu raideyhteyksien varrella)	+1	-3	Positiivinen
Liikennevaloetuuden kehittäminen	-1	-13	-

Yllä mainittujen keinojen lisäksi muina joukkoliikenteen energiatehokkuuden kehittämisen keinoina mainittakoon:

- Pysäkkivälin optimointi ja erillisten kaistojen käyttö raitiovaunukalustolle,
- Kutsuliikennebussien kehittäminen,
- Myöhäisvuorojen korvaaminen kutsuvuoroilla,
- Myöhäisvuorojen ajaminen pienemmällä kalustolla, ja
- Metron vuorojen ajallinen dynaaminen optimointi takaisinsyöttöenergian hyödyntämiseksi kiihdytyksissä ja energiankulutuspiikkien tasaamiseksi.

Näille keinoille ei ole tässä työssä voitu arvioida potentiaalia. Siitä huolimatta nämä keinot ovat suuruusluokaltaan melko merkittävässä asemassa tulevaisuuden energiatehokkuudessa ja houkuttelevassa joukkoliikennejärjestelmässä.

6.4 Operatiiviset ja tekniset energiatehokkuuskeinot

6.4.1 Jarrutusenergian hyödyntäminen eri kalustotyypeissä

Jarrutusenergian hyödyntäminen ja taloudellinen ajotapa muodostavat valtaosan operatiivisin keinoin saatavista energiatehokkuushyödyistä. Osa näistä saadaan käyttöön teknologisin keinoin ja osa kuljettajan ohjausjärjestelmällä tai ajotapakoulutuksella.

Eri tyyppisissä kalustoissa jarrutusenergian hyödyntäminen tapahtuu nyt seuraavasti:

Kalusto	Jarrutusenergian käyttö nyt	Käyttökohde tulevaisuudessa
Bussit	-	Hybridibussien akkujen lataus
Metro	Metron lämmitys (M100 ja M200)	Länsimetrossa varastoidaan asemille, M300 optiona varastointi
Lähijuna	Takaisin verkkoon (Sm4, Sm5) ja lämmitys (Sm2)	Sm5 palauttaa jarrutusenergian verkkoon. Tähän saakka Sm5:ssa mitattu kokonaisu säästö (ei pelkkä ajoaika) on 20 %.
Raitiovaunu	Lämmitys (nivelvaunut) ja takaisinsyöttö (Variotram)	Hankittavassa kalustossa lämmitys ja takaisinsyöttö ja optiona superkondensaattorit

Taulukko: jarrutusenergian hyötykäyttö eri kalustotyypeissä

Jarrutusenergian hyödyntämisen potentiaalia ei ole arvioitu erikseen kalustotyypeittäin. Tyypillisenä energiansäästöpotentiaalina voidaan pitää noin 30 %, mutta tämä riippuu vahvasti ajettavasta syklistä, pysähtymistiheydestä ja energian hyödyntämistavasta.

Metron laajentaminen tapahtuu tunneliverkostossa (Länsimetro, Itämetro). Tästä seuraa, että jarrutusenergiaa ei enää tarvita lämmitykseen ja se voidaan käyttää paremmin hyödyksi. Länsimetron asemille tullaankin rakentamaan superkondensaattoreita, joihin jarrutusenergia varastoidaan pienillä siirtotappioilla seuraavaa kiihdytystä odottaessa.

Yleisesti on perustellumpaa syöttää energia takaisin sähköverkkoon, kuin lisätä liikkuvan kaluston painoa esim. akkujen tai superkondensaattorien muodossa. Kuitenkin myös kustannukset ja siirtohäviöt painavat päätöksenteossa. Esim. raitiovaunuverkostossa on tällä hetkellä vain 8 syöttöasemaa, ja mm. tästä syystä raitiovaunujen sähköenergian takaisinsyöttö verkostoon tuottaa siirtohävikkiä. Vastaava siirtohävikki toteutuu myös virtaa verkosta otettaessa, joten hävikin toinen puoli on yhä olemassa.

6.4.2 Jarrutusenergian hyödyntäminen, ajotavan optimointi ja teknologiat

Tässä luetellaan teknologiat ja ratkaisut, joilla jarrutusenergian hyödyntäminen ja ajotavan optimointi toteutetaan HSL:n tilaamassa liikenteessä.

Ratkaisun kuvaus ja kustannus	Käyttökohde ja ajankohta	Säästö prosentteina	Säästö GWh
Metron automatisointi: optimoi kiihdytys- ja jarrutusvaiheen energiankäytön. Kustannusarvio 115 M€. *Säästö on jo huomioitu Länsimetron energiankulutuksessa, joten vain tiedoksi.	Metro, 2014	10 %	-7*
Raitiovaunujen jarrutusenergian hyödyntäminen sekä takaisinsyötössä että lämmityksessä (ei vain toisessa)	Uudet ratikat, 2012 alkaen	15 - 20 % korvatulle kalustolle	-3
Hybridibussit käyttöön kilpailutuksien kautta. Laskettu 30 % tehostuksella kaikessa liikenteessä nykyisellä liikennemäärällä. Arvioitu toteutuvan viimeistään vuonna 2020.	Bussit, 2012-2020	30 %	-106
Lähijunakaluston uusiminen: linjoille tulee 2014 mennessä 32 Sm5-junaa, ja loppu kapasiteetista tuotetaan Sm2-junilla. Keskimäärin energiatehokkuus paranee. Tämä korvaa vain osan junakalustosta, myöhemmin tarvitaan lisää uusia junia.	Lähijunat, 2020	10 %	-2
Kuljettajaa opastavat järjestelmät, kuljettajakohtainen energiankulutuksen mittaus, kuljettajan kannustinjärjestelmät ja taloudellisen ajotavan koulutus	Bussit	Potentiaali 10-15 %	-30 (arvioitu hybrideille)
Kuljettajan opastus, koulutus ja kannustus	Raitiovaunu	10-15 %	-3

Taulukko: Energian käytön tehostaminen ajotavan ja teknologian avulla

Saadut energiatehokkuusvaikutukset muuttuvat sen mukaan, lasketaanko toimenpiteen vaikutus ennen vai jälkeen muita tehostamistoimenpiteitä.

6.5 Muut operatiiviset keinot

Alla luetellut keinot voidaan toteuttaa pääosin ilman investointeja.

Operatiivinen keino	Käyttökohde	Aikajänne	Hyöty / kustannus
CO ₂ -pisteytys bussien kilpailutuksessa	Bussit	2010	Ei tiedossa, mutta tulee vaikuttamaan merkittävästi biopolttoaineiden sekä hybridien kautta, joita on tarkasteltu erikseen.
Rengaspaineet ja renkaiden valinta, oikeat aurauskulmat	Bussit	2011	Joitakin prosentteja, todennäköinen vaihtelu 1-3 %
Varikkojen energia-katselmointi ja tunnistettujen tehostamis-toimien toteuttaminen	Varikot (sähkö, lämpö)	2011 alkaen	Konservatiivisesti 5 %, eli 1 GWh sähköä ja 1 GWh lämpöä.
Metroasemien ja sähkönsyöttöasemien energiakatselmointi ja tunnistettujen tehostamis-toimien toteuttaminen	Metroasemat, sähkönsyöttöasemat	2011 alkaen	Konservatiivisesti arvioituna 5 %, eli 1 GWh sähköä.
Raitiovaunuvarikon talvilämpötilan laskeminen	Raitiovaunuvarikon lämpö	2011	Karkeasti arvioituna 3 GWh säästöjä kaukolämmössä, jos lämmitys voidaan puolittaa

Taulukko: Energian käytön tehostamisen operatiiviset keinot

7 Joukkoliikenteen energiatehokkuuden skenaariot

7.1 Skenaarioiden periaatteita

Skenaariot on tehty joukkoliikenteen energia- ja ilmastotehokkuuden toimenpiteiden vaikuttavuuden näkökulmasta. Skenaariot eivät tee oletusta toiminnan kasvusta (ns. perusennuste). Tarkastelussa ei siis ole joukkoliikenteen absoluuttinen energiankulutus, sillä soveltuvaa liikennemäärän kehitysennustetta ei ole ollut käytettävissä työtä laadittaessa. Skenaarioita tuleekin tästä syystä tarkastella niiden tuoman tehostuksen kautta. Toiminnan laajentuessa tiettyjen toimien säästö kasvaa, osalla se pysyy samana.

Kaikkien skenaarioiden kehityksen pohjalla on nollaskenaario, eli jo päätettyjen toimien vaikutus. Näissä skenaarioissa ei ole huomioitu toimenpiteitä, joiden vaikutusta ei pystytä arvioimaan soveltuvalla tarkkuudella. Skenaarioihin on koottu vain toimenpiteitä, joiden tehokkuutta voidaan arvioida numeerisesti. Osa numeerisista arvoista perustuu analyyseihin ja osa arvioihin, tarkemmin epävarmuuksista seuraavassa kappaleessa.

Hankkeessa järjestettiin skenaariotyöpaja, jossa ideoitiin energiatehokkuuden tehostamiskeinoja ja äänestettiin parhaina pidetyt keinot, jotta ne saatiin nostettua esille kokonaisuudesta. Skenaariotyöpajan tulokset on esitetty liitteessä 12.

7.2 Skenaarioihin sisältyvät epävarmuudet

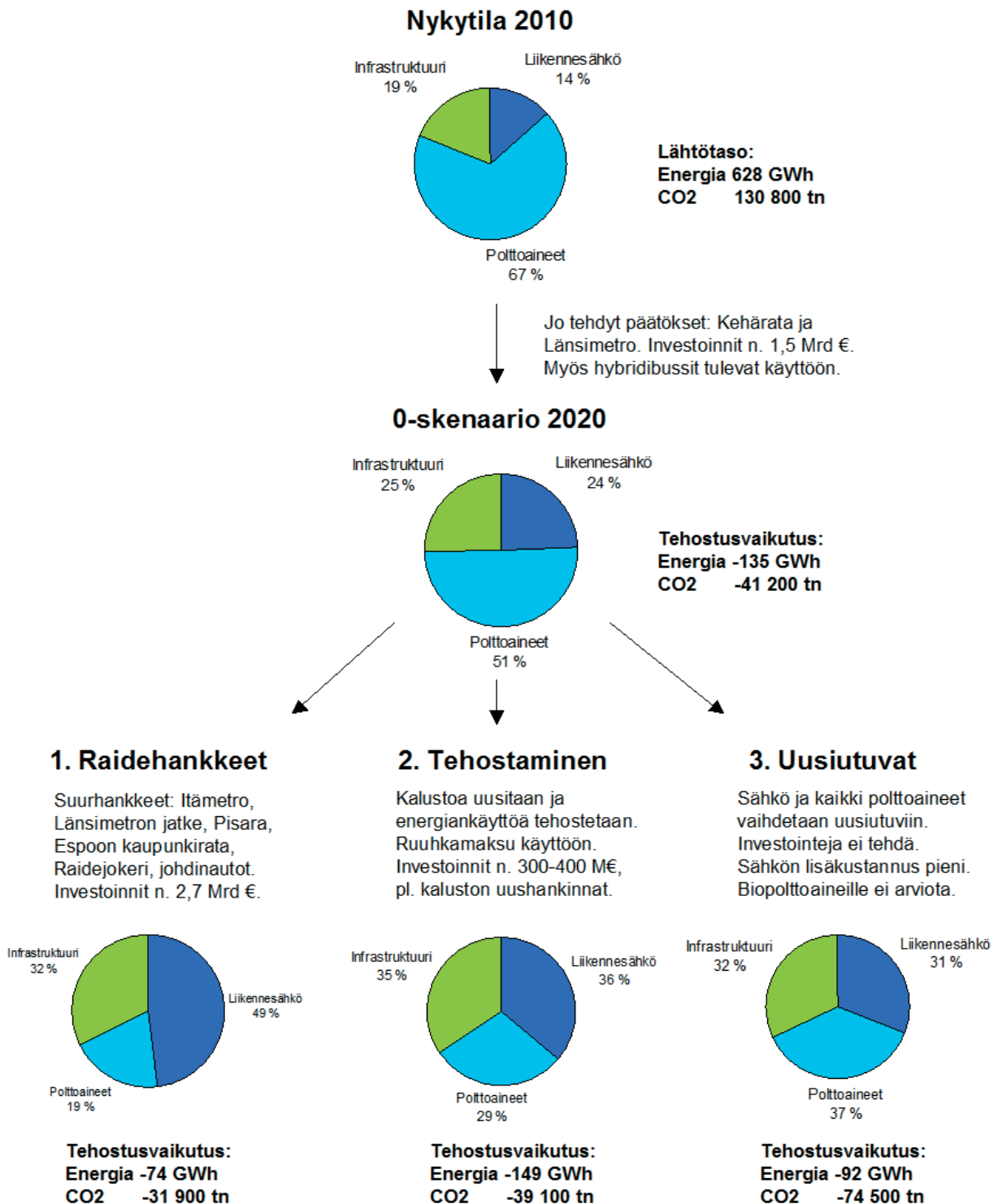
Skenaarioiden taustalla on seuraavanlaisia tekijöitä, joiden epävarmuudet eroavat:

- Teknologinen kehitys, jonka trendi on vääjäämättömästi energiatehokkaampaan suuntaan, mutta tietyn tehokkuustason toteutuma voi vaihdella useilla vuosilla
- Toiminnan tehostaminen koskee yleensä hyvin tunnettua toimintatapaa ja näiden osalta epävarmuus on suhteellisen pieni, kuitenkin kymmeniä prosentteja.
- Infrastruktuurihankkeet, joiden vaikutukset on yleensä mallinnettu vaihtelevilla perusskenaarioilla. Näiden toteutumisen vaikutukset ovat parhaimmillaankin arvioita, ja energiankulutusvaikutuksessa voi olla merkittäviäkin vaihteluita.
- Uusiutuvan energian hankinta. Tähän liittyy vain pieniä epävarmuuksia, lähinnä toimittajien polttoaineilleen takaamien päästövähennemien tarkentumisen kautta.
- Näistä syistä käytetyt lukuarvot on pyöristetty merkitykselle tasolle.

Skenaarioissa polttonesteet ja -kaasut on huomioitu yhdessä, ja päästökerroin on painotettu keskiarvo. Kaksoislaskennan vaikutus on poistettu silloin kun se on mahdollista. Tämän vuoksi energiansäästölukemat voivat jossain määrin poiketa aiemmin esitetyistä.

7.3 Skenaarioiden tiivistelmä

Alla oleva kuvaaja visualisoi eri skenaarioiden luonteen ja tärkeimmän sisällön. Nykytilasta siirrytään 2020 nollaskenaarioon viemällä jo tehdyt päätökset loppuun saakka. Nollaskenaariota voidaan kehittää uusilla päätöksillä, ja tässä on hahmoteltu kolmea erilaista kehityssuuntaa. Uudet päätökset voivat toteutua myös jo ennen vuotta 2020.



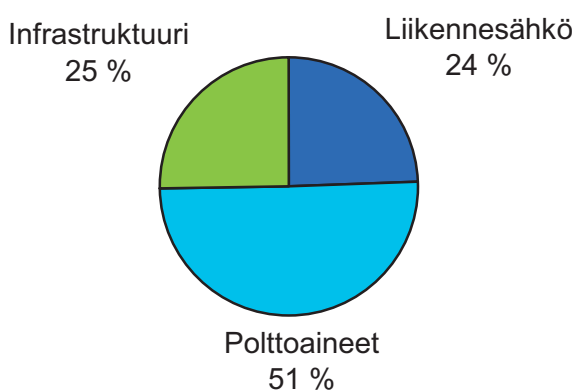
7.4 Nollaskenaario – jo päätettyjen toimien vaikutus vuonna 2020

Nollaskenaario huomioi vain ne muutokset, joiden toteuttamisesta on tehty jo päätös tai jotka toteutuvat markkinaehtoisesti (kuten hybridibussien käyttöönotto). Nollaskenaario ei oleta muutoksia infrastruktuurin energiankulutukseen, eikä huomioi biopolttoaineita.

Jo päätettyjen toimien vaikutus	Sähkö GWh	Polttoaine GWh	CO ₂ e tonnia
Länsimetro (sisältää metron automaation ja infran)	+38	-45	- 6 900
Kehärata	+6	-26	- 6 700
Lähijunakaluston uusiutuminen (32 kpl Sm5-junia)	-2	-	-
Hybridibussit käytössä, säästö 30 % nykytasosta	-	-106	-27 600
Jo päätettyjen toimien vaikutus vuonna 2020	+42	-177	-41 200

Nollaskenaarion nettovaikutus on 135 GWh pienempi energiankulutus ja 41 200 CO₂e-tonnia pienemmät ilmastopäästöt. Skenaarion merkittävin hyöty energiatehokkuudelle on sen suuri vaikutus liikenteen sähköistymiseen, ja polttoaineiden osuus onkin pudonnut merkittävästi. On huomattava että vuoteen 2020 mennessä bussiliikennettä samalla lisätään väestön ja palvelutarpeen kasvaessa, joten prosenttiosuudet alla ovat viitteellisiä.

0-skenaario: energiamuotojen osuudet 2020



Kaavio: energiankulutuksen jakauma jo päätettyjen toimien toteuduttua

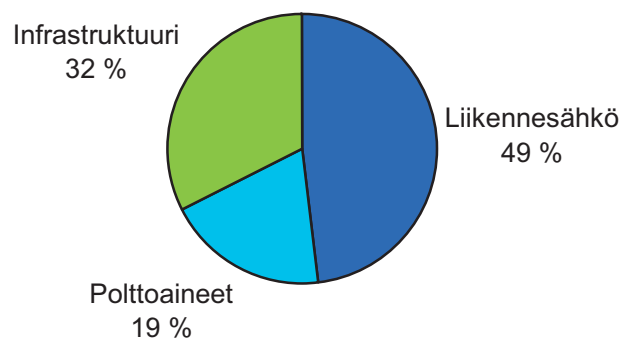
7.5 Skenaario 1: liikenteen sähköistäminen 2020 - 2030

Tässä skenaariossa keskitytään liikennejärjestelmän suurinvestointeihin. Skenaarion johdettava lanka on pääkaupunkiseudun kilpailukyky ja joukkoliikenteen sähköistäminen.

Skenaario 1: liikenteen sähköistämisen toimet	Sähkö GWh	Polttoaine GWh	CO ₂ e tonnia
Espoon kaupunkirata	+3	-7	-1 800
Raidejokeri	+9	-17	-3 300
Pisara-rata	-1	-5	-1 400
Raideyhteys Laajasaloon	5	-1	+400
Johdinautojen hankinta (70 kpl)	11	-16	-2 800
Länsimetron jatke Kivenlahteen (sisältää infran)	15	-15	-2 000
Itämetro Sipoon Majvikiin (sisältää infran)	51	-45	-5 200
Kevytrakennehybridibussit, säästö 60 % nykytasosta	-	-61	-15 800
Skenaario 1:n toimien vaikutus vuonna 2030	+93	-170	- 31 900

Skenaario 1:n nettovaikutus on 74 GWh pienempi energiankulutus ja 31 900 CO₂e-tonnia pienemmät ilmastopäästöt. Samalla on voitu tuottaa erittäin suuri määrä uutta joukkoliikennetarjontaa kasvattamatta energiankulutusta. Tämän skenaarion tärkein hyöty energia- ja ilmastotehokkuudelle sen tuottama raideyhteyksien tarjonnan parantaminen, joilla saavutetaan huomattava määrä uutta kapasiteettia busseja paljon tehokkaammin.

1. Raide-skenaario: energiamuotojen osuudet 2020-2030



Kaavio: joukkoliikenteen sähköistämisen skenaarion tulokset

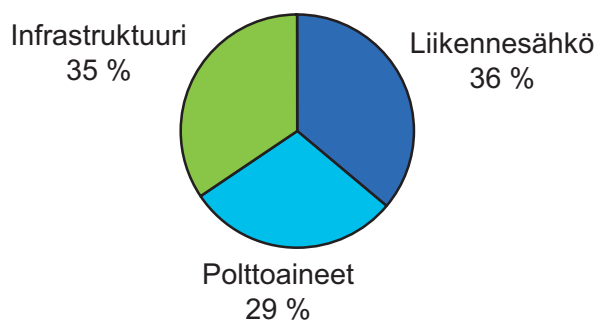
7.6 Skenaario 2: tehokkuuden optimointi ja kaluston uusinta 2020-2030

Tässä skenaariossa keskitytään liikenteen hoidossa saavutettavissa oleviin energiansäästöihin, kun suuria infrastuktuuri-investointeja ei tehdä. Poikkeuksena tästä mukana ovat ruuhkamaksu kilometrimallilla, kaluston uusinta ja liityntäpysäköinnin kehittäminen. Panokset käytetään operatiivisen toiminnan tehokkuuden kehittämiseen.

Skenaario 2: kaluston uusinta ja tehokkuuden optimointi	Sähkö GWh	Polttoaine GWh	CO ₂ e tonnia
Liikennevaloetuudet busseille ja raitiovaunulle	-1	-13	-3 500
Liityntäpysäköintipaikkojen lisäys 15 000 paikalla	+3	-11	-2 700
Ruuhkamaksun käyttöönotto kilometrimallilla	+10	-27	-6 700
Raidekaluston uusiminen (lähijunat, raitiovaunut)	-5	-	-400
Infrastruktuurin energiakatselmointi ja tehostustoimet	-2	-	-600
Kevytrakennehybridibussit, säästö 60 % nykytasosta	-	-85	-21 900
Kuljettajan opastus- ja seurausjärjestelmät	-3	-11	- 3 300
Skenaario 2:n toimien vaikutus vuonna 2030	+2	-147	-39 100

Tämän lisäksi infrastuktuurin kaukolämmön energiankulutusta leikataan 4 GWh. Skenaario 2:n nettovaikutus on 149 GWh pienempi energiankulutus, ja 39 100 CO₂e-tonnia pienemmät ilmastopäästöt. Skenaarion lopputuloksena kaikkien energiamuotojen kulutusta on voitu vähentää, ja näin myös käyttökustannuksia on saatu alennettua.

2. Tehostaminen: energiamuotojen osuudet 2020-2030



Kaavio: joukkoliikenteen energiatehokkuuden optimoinnin skenaarion tulokset

7.7 Skenaario 3: uusiutuvan energian hankinta 2020-2030

Tässä skenaariossa pyritään alhaisiin päästöihin mahdollisimman nopeasti hankkimalla uusiutuvaa energiaa. Panoksia ei käytetä investointeihin tai toiminnan tehostamiseen. Tämän skenaarion laadinnassa käytettyjä lisätietoja löytyy liitteestä 13.

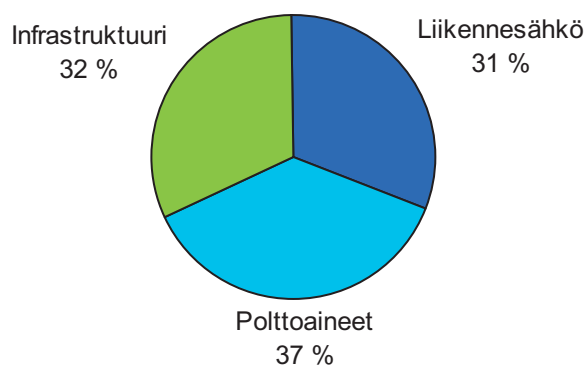
Skenaario 3: uusiutuvan energian hankinta	Sähkö GWh	Polttoaine GWh	CO₂e tonnia
Kevytrakennehybridibussit, säästö 60% nykytasosta	0	-106	- 27 600
Kaikki HKL:n sähkö hankitaan uusiutuvana	0	0	-21 300
Kolmasosa busseista biokaasulle (jättepohjainen)	0	+12*	-9 700
Kolmasosa busseista bioetanolille (jättepohjainen)	0	+2*	-9 800
Kolmasosa busseista biodieselille (palmuöljy)	0	0	-6 100
Skenaario 3:n toimien vaikutus vuonna 2030	0	-92	-74 500

**biokaasun ja bioetanolin energiankulutus poikkeavat dieselistä. Tämä sisältyy päästöihin.*

Skenaario 3:n energiansäästö on 92 GWh, joka syntyy kevytrakennehybridien ansiosta. Toisaalta ilmastopäästöt vähenevät hyvin merkittävästi, 74 500 CO₂e-tonnia.

Tämä skenaario on energiakustannuksiltaan kallein, sillä energiankulutusta ei optimoida. Toisaalta on huomattava, että osa skenaariosta toteutuu CO₂-pisteytyksen kautta markkinaehtoisesti, ja operaattorit käyttävät kustannustehokkaimpia biopolttoaineita.

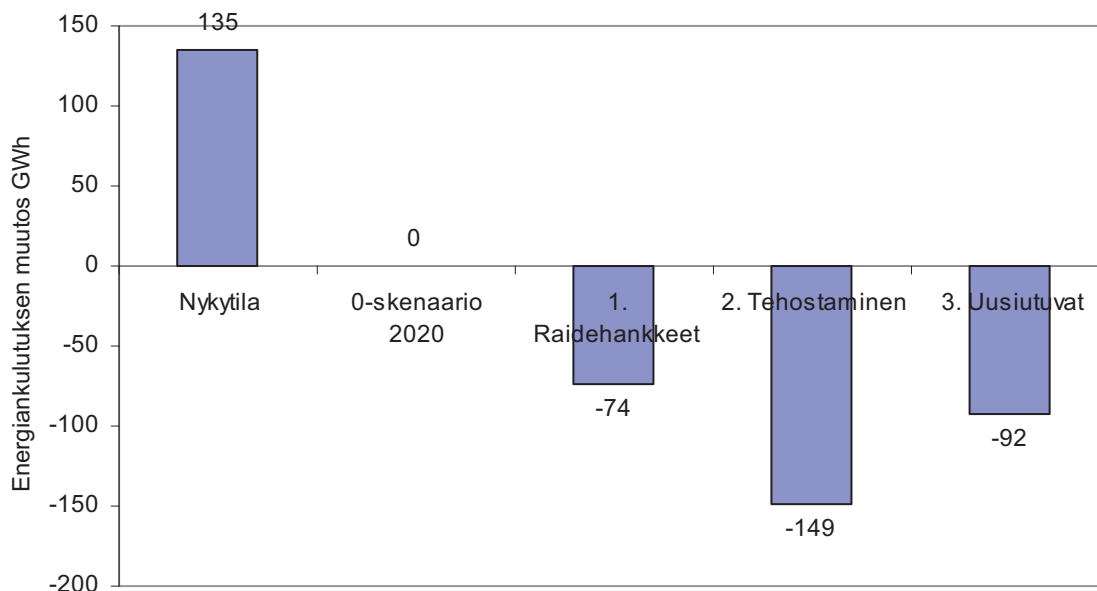
3. Uusiutuvat: energiamuotojen osuudet 2020-2030



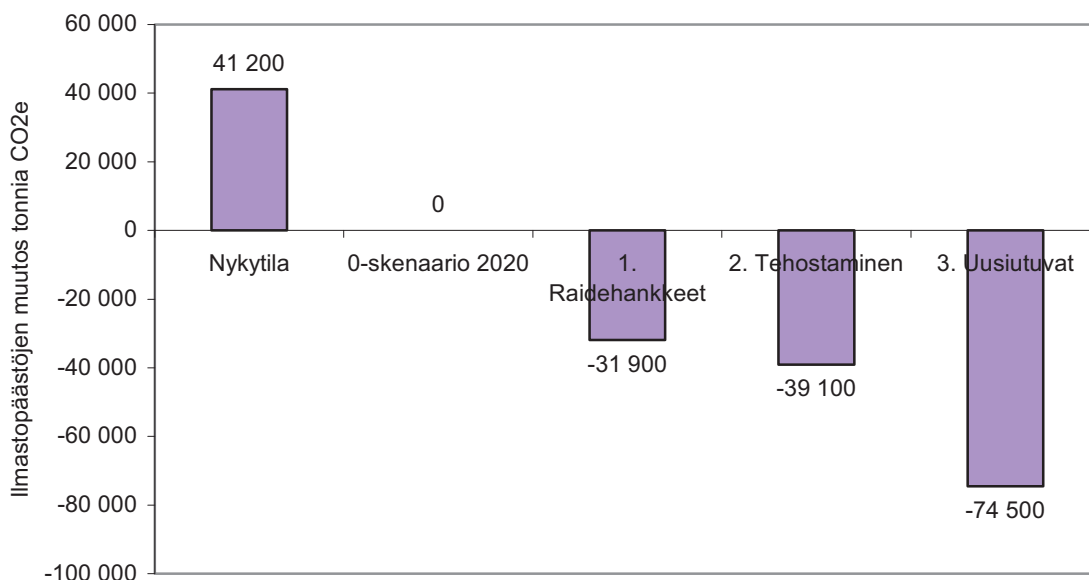
Kaavio: uusiutuvan energian hankinta-skenaarion tulokset

7.8 Skenaarioiden vaikutusten vertailua

Energiatehokkuus: suurin vaikutus näyttäisi olevan toiminnan tehostamisella ja jo tehdyillä päätöksillä. Osasy on, että uusien raidehankkeiden vaikutukset tunnetaan huonommin.



Ilmastotehokkuus: merkittäviä parantamismahdollisuuksia on yhä, mm. uusiutuvan energian käytöllä, mutta myös energian säästötoimilla ja sähköisyyden lisäämisellä.



Skenaariot esitetään ainoastaan muutosvaikutuksena, koska muunlainen esitystapa ei ota huomioon, että joukkoliikenne mukaan lukien suhteellisen korkeapäästöinen bussiliikenne kasvavat 2010-2030 ajanjaksolla merkittävästi. Näin prosenttiosuutena nykytilasta esitetty säästö olisi tulevaan liikennesuoritteeseen suhteutettuun säästöön nähden ylimitoitettu.

Skenaarioiden laadullisessa vertailussa puolestaan nousevat esille seuraavat seikat:

	1 – sähköistäminen	2 – tehostaminen	3 – uusiutuvat
Vahvuudet	Parantaa järjestelmän toimivuutta ja nopeuttaa matkoja. Siirtää energian painoa sähkölle, jotta päästöjä voidaan hallita.	Taloudellisesti perusteltu skenaario. Tehostaa toiminnan perusedellytyksiä. Ei vaadi suurinvestointeja.	Vähentää CO ₂ -päästöjä nopeasti. Tuottaa imagohyötyjä.
Heikkoudet	Vaatii merkittävästi pääomaa. Ei kustannustehokas.	Ei kehitä järjestelmää (paitsi ruuhkamaksu ja liityntäpysäköinti).	Ei tehosta eikä paranna toimintaa. Kallis ratkaisu.

Tämän vertailun nojalla onkin luontevaa toteuttaa valikoiden toimenpiteitä kustakin skenaariosta. Luonnollisesti on huomioitava, että suurhankkeita ei toteuteta energiatehokkuuden vuoksi, vaan yhteiskunnan palveluiden tarjonnan vuoksi.

7.9 Energiatehokkuuden kehittäminen vuoteen 2050 saakka

Vuoteen 2050 mennessä pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmä on ehtinyt muuttua hyvin toisenlaiseksi nykyiseen verraten, ja yksityiskohtaisia askelmerkkejä tälle aikajänteelle ei ryhdytä rakentamaan. HSL:n kannalta tärkeää onkin, että yhteiskunnan hahmottelema 80 % kasvihuonekaasupäästöjen vähenemä on HSL:n toiminnassa täysin realistinen, ja siirryttäessä entistä enemmän sähköiseen liikenteeseen päästövähennemien saavuttaminen on myös suhteellisen kustannustehokasta.

Pitkäjänteisten tavoitteiden saavuttamiseksi HSL:lle olisi tärkeää kehittää prosessit ja toimintatavat, joilla energiatehokkuuden kehittämisestä saadaan jatkuvaa toimintaa myös liikennettä kilpailutettaessa, samoin kuin sopimusliikenteessä VR:n ja HKL:n kanssa.

Hankkeen skenaariotyöpajassa vuoden 2050 kannalta tärkeänä pidettiin seuraavia:

- Elinkaariperusteinen kilpailutus ja toiminnan elinkaariperusteinen tehostaminen,
- Pyritään ja reagoidaan kysyntäpiikkien tasaamiseen eri keinoin,
- Hyödynnetään akkuteknologian ja muiden uusien teknologioiden kehittymisen tuomat mahdollisuudet täysimääräisesti edelläkävijänä, ja
- Kehitetään liikennettä ilmastoneutraaliin suuntaan.

Muita skenaariotyöpajassa esille nousseita seikkoja löytyy liitteestä 12.

8 Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi

8.1 Ehdotuksia toimintaperiaatteiksi

- Elinkaariperusteinen tarkastelu hankinnoissa ja hankkeita suunniteltaessa. Elinkaaren kustannusten osalta esim. raidekaluston ostohinnan merkitys vähenee. Kymmeniä vuosia käytössä olevan kaluston huolto- ja energiakulut ovat tärkeimmät kustannustekijät. Hyvän esimerkin tästä antaa HKL:n käynnissä oleva raitiovaunujen hankintaprosessi, jossa elinkaariarvio on keskeisessä asemassa.
- Elinkaariajattelua tukisi pyrkimys käyttää ajoneuvoja niiden luontaisen elinkaaren loppuun, jolloin ajoneuvojen valmistuksen ympäristökuorma olisi mahdollisimman vähäinen. Keinoja voisivat olla mm. bussien uudelleen koritus, jolloin matkustajille ajoneuvo olisi uutta vastaava, vaikka runko olisikin jo vanhempi. Vastaavasti puhtaamman moottori- ja voimansiirtotekniikan jälkiasennusmahdollisuuksia vanhaan kalustoon voitaisiin tukea entistä voimakkaammin.
- Tärkeä käytännön kohde elinkaariperusteiseen tarkasteluun on koko joukkoliikennejärjestelmän energiankulutuksen seuranta, joka huomioi liikennöinnin, lämmityksen, ilmastoinnin ja oheistoiminnot, varikko- ja muut siirtymät, sekä kaiken liikennöintiä tukevan infrastruktuurin kuten asemat osaksi liikennepäästöjä. Nämä oheispäästöt tulee ottaa seurantaan ja osaksi HSL:n vuotuista ympäristöraportointia.
- Verrattaessa joukkoliikennettä elinkaariperusteisesti yksityisautoiluun tulee myös huomioida yksityisautoilusta syntyvät vastaavat elinkaaripäästöt. Toisaalta joukkoliikenteen päästöjä on tietyissä tapauksissa perusteltua tarkastella marginaalisuoritteen tai ruuhkasuoritteen perusteella koko vuoden keskiarvon sijaan, samaan tapaan kuin sähkömarkkinoilla tarkastellaan usein marginaalisähkön päästöä. HSL:n tuottama tehokkuus on suurimmillaan ruuhka-aikana. Tätä mittatikkua ei voida soveltaa kaikkeen käyttöön, mutta esim. työmatkojen osalta ruuhka-ajan kuormitus- ja tehokkuusarvot ovat perusteltuja.
- Kestävyyden laajempi huomiointi hankinnoissa. HSL:n edun mukaista on tarkentaa, mitä kestävyyskriteerejä HSL:n tilaamassa toiminnassa tulee noudattaa. Kestävyys voi tarkoittaa esim. polttoaineen jäteperäisyyttä, non-food-alkuperää tai sitä, että polttoaine tuotetaan energiatehokkaasti tai paikallisesti. Tätä samaa kestävyyttä HSL voi vaatia myös sähkökäyttöistä liikennettä ostaessaan.
- Energiatehokkuuden sitominen kompensaatioon. Energiatehokkuus voitaisiin sitoa maksettaviin laskuihin liikennettä ostettaessa, ja parhaimmassa tapauksessa saada osaksi johdon ja työntekijöiden palkitsemisjärjestelmiä liikennöitsijöillä. Energiansäästö vain kilpailutuksessa ei optimoi jatkuvaa kehitystä.

8.2 Ehdotuksia käynnistettäviksi energiatehokkuuden kehittämistä helpottaviksi jatkotoimenpiteiksi

- Oikean kokoisen kaluston käyttö linjoilla oikeaan aikaan. Bussien koko vuoden keskimääräinen täyttöaste on noin 20 %. Suurin osa tästä syntyy ruuhka-aikaan, ja muun ajan vuorokaudesta bussissa on hyvin vähän matkustajia. Todennäköisesti olisi edullisempaa sekä HSL:n, ympäristön että käyttäjien kannalta ajaa myöhäiset vuorot pienemmällä kalustolla tai esimerkiksi minibusseilla. Koska kaluston hankinta on vain pieni osa (HSL:n arvion mukaan suuruusluokkaa 10%) bussin elinkaarikustannuksesta, voitaisiin bussit hyvin jättää varikolle silloin, kun suurta kapasiteettia ei tarvita. Hiljaisen kysynnän aikana liikenne hoidettaisiin pienemmällä kalustolla, esim. minibusseilla. Tästä syntyisi tosin ylimääräisiä siirtoajoja, kun kalustoa vaihdettaisiin kesken päivän. HSL:n tulisi laatia asiaa käsittelevä selvitys, jonka pohjalta arvioidaan tarkoituksenmukaiset jatkotoimenpiteet.
- HKL:n raitio- ja metroinfrastruktuurin sekä varikkojen energiankäytön tarkempi seuranta ja energiakatselmointi. Infran energiankulutus on merkittävä ja sitä voidaan todennäköisesti parantaa jatkuvalla seurannalla ja kohtuullisilla rahallisilla panostuksilla, jotka maksavat itsensä takaisin nopeasti.
- Infrastruktuurihankkeiden energiatehokkuuden vertailussa tulisi huomioida kilpailevien liikennemuotojen (yksityisautot, bussit, jne.) kehitys sillä aikajänteellä, jolla infrastuktuurihanke valmistuu ja olisi tosiasiallisesti käytössä. Lisäksi hankkeiden vaikutukset mm. yksityisautoiluun tulisi huomioida yhdenmukaisesti. Tällä hetkellä tuloksia vertailtaessa vaarana on, että eri infrahankkeiden arvioinnissa on käytetty eri perusteita. HSL:n olisi järkevää laatia mittapuu ja ohjeet, jota edellytettäisiin käytettäväksi, kun infrahankkeiden vaikutuksia arvioidaan. Tällä hetkellä vaarana on, että eri infrahankkeiden arvioinnissa on käytetty erilaisia arvotusperusteita.
- Päivittää suunnitteluohjeiden mukaiset lähijunien ja muun kaluston kapasiteetit vastaamaan tarkemmin todellista kapasiteettia, jotta suunnittelun tulokset ovat oikeat ja paikkakohtaiset energiatehokkuusmittarit eivät vääristy tarkastelussa.

9 Yhteenveto ja päätelmät

9.1 Yhteenveto

Ympäristöystävällisyys, energiatehokkuus ja kasvihuonekaasutase ovat olennaisesti liisänneet merkitystään yhteiskunnallisissa ratkaisuisa ja näiden merkitys kasvaa edelleen. Yksi HSL:n strategisista tavoitteista on vähäpäästöisen liikenteen edistäminen.

Joukkoliikenteen energiatehokkuus tällä hetkellä henkilöautoon verrattuna on hyvä. Henkilöautojen energia- ja ilmastotehokkuus parantuu kuitenkin olennaisesti, mikä asettaa kasvavia vaatimuksia myös joukkoliikenteen energia- ja ilmastotehokkuudelle. Joukkoliikenteessä tehtävät ratkaisut vaikuttavat kilpailukykyyn vuosikymmeniä, infran ja raidekaluston osalta pääsääntöisesti 40 vuoden ajan, bussikaluston osalta 15 vuoden ajan. Henkilöautoon verrattuna joukkoliikenteen energiatehokkuuden kilpailukykyyn osalta on ratkaisevaa, millaisia päätöksiä HSL ja HSL-alueen kunnat tekevät lähivuosina.

HSL:n tilaaman joukkoliikenteen energian kulutus vuodessa on 628 GWh, jolla tuotetaan noin 314 miljoonaa matkaa. Bussien polttoaineiden osuus energian kokonaiskulutuksesta on kaksi kolmasosaa ja raidekaluston liikennöinnin kulutus noin seitsemäsosa. Vajaan viidenneksen energiasta käyttää infrastruktuuri, kuten asemat ja varikot.

Energiatehokkuuden osalta metro ja lähijuna ovat selkeästi parhaita. Yhdellä kilowattitunnilla energiaa matkustaja pääsee metrolla 10 km matkan ja lähijunalla 29,9 km matkan. Vastaavasti raitiovaunulla matkustaja pääsee n. 4,4 km, dieselbussilla 2,7 km, maakaasubussilla 2,1 km sekä yhtä henkilöä kuljettavalla henkilöautolla 1,3 km matkan. Kasvihuonekaasupäästöjen osalta sähkökäyttöinen kalusto on erittäin tehokasta.

Energia- ja ilmastotehokkuudelle on asetettu EU:ssa sitova 20 % päästövähennystavoite vuodelle 2020, joka sitoo myös Suomea. Vuodelle 2050 on ehdotettu 80 % vähennystavoitetta kasvihuonekaasupäästöille, tosin tämä tavoite ei ole sitova. HSL:llä on edellytykset saavuttaa molemmat päästövähennystavoitteet omassa toiminnassaan.

Joukkoliikenteellä on suuri energia- ja ilmastotehokkuuden kehittämispotentiaali. Liikennejärjestelmän tasolla joukkoliikenne vähentää merkittävästi energiankulutusta sekä ilmastopäästöjä, tehokkaimmin silloin kun matkustusta ohjataan raidepainotteiseksi esim. liittytävyyksillä ja uusilla raideyhteyksillä. Joukkoliikenteen sisäistä energia- ja ilmastotehokkuutta voidaan parantaa mm. hybridibussien käyttöönotolla ja biopolttoaineiden käytöllä, jarrutusenergian hyödyntämisellä ja ajotapojen kehittämällä.

9.2 Päätelmät

Tärkeimmät selvityksen tuloksena syntyneet päätelmät on esitetty alla:

- 1. Elinkaariperusteinen arviointi ja vertailu hankinnoissa ja hankkeissa.** Elinkaarikustannuksissa esim. raidekaluston ostohinnan merkitys vähenee, ja tärkeimmät kuluerät ovat kymmeniä vuosia käytössä olevan kaluston huolto- ja energiakulut. Hyvän esimerkin tästä antaa HKL:n käynnissä oleva raitiovaunujen hankintaprosessi, jossa elinkaariarvio on keskeisessä asemassa.
- 2. Elinkaariperusteinen vertailu ja infrastruktuurin kulutuksen seuranta.** Kun joukkoliikennemuotoja verrataan keskenään ja yksityisautoiluun, tulisi kaikille huomioida koko elinkaaren aikaiset päästöt, eikä vain ajosuoritetta. HSL:n tulisi sisällyttää ympäristöraportointiinsa joukkoliikenteen koko energiankulutus, joka huomioi liikennöinnin, lämmityksen, ilmastoinnin, varikko- ja muut siirtymät, sekä liikennöintiä tukevan infrastruktuurin, kuten asemien ja varikoiden kulutukset.
- 3. Infrahankkeiden arviointiraporttien vertailukelpoisuuden varmistaminen.** Infrastruktuurihankkeiden vaikutusten arvioinnissa tulisi huomioida eri liikennemuotojen kehitys sillä aikajänteellä, jolla hanke valmistuu ja olisi käytössä. Lisäksi hankkeiden vaikutukset mm. yksityisautoiluun tulisi huomioida yhdenmukaisesti. Tällä hetkellä tuloksia vertailtaessa vaarana on, että eri infrahankkeiden arvioinnissa on käytetty eri perusteita. HSL:n olisi järkevää laatia ohje arviointilaajuuden ja -tavan määrittämiseksi tulevia hankkeita ajatellen.
- 4. Kaluston koon ja kysynnän optimointi.** Bussien koko vuoden keskimääräinen täyttöaste on noin 20 %. Suurin osa tästä syntyy ruuhka-aikaan, ja muun ajan vuorokaudesta bussissa on hyvin vähän matkustajia. Todennäköisesti olisi edullisempaa ajaa myöhäiset vuorot pienemmällä kalustolla. HSL:n tulisi laatia aiheesta selvitys, jonka pohjalta arvioidaan tarkoituksenmukaiset toimenpiteet. Myös suunniteluohjeen kalustojen kapasiteetit olisi syytä päivittää ajan tasaisiksi.
- 5. Kestävyyden laajempi huomiointi hankinnoissa.** HSL:n edun mukaista on tarkentaa, mitä kestävyyskriteerejä HSL:n tilaamassa toiminnassa tulee noudattaa. Kestävyys voi tarkoittaa esim. polttoaineen jäteperäisyyttä tai non food-alkuperää tai sitä, että polttoaine tuotetaan energiatehokkaasti tai paikallisesti. Tätä samaa kestävyyttä HSL voi vaatia myös sähkökäyttöistä liikennettä ostaessaan.
- 6. Työmatka-autoilua voidaan verrata myös ruuhka-ajan tehokkuuteen.** Suurin osa työmatkoista tehdään ruuhka-aikaan, jolloin joukkoliikenteen täyttöaste ja energiatehokkuus ovat korkeimmillaan. Ruuhka-ajan energiatehokkuus voi olla vuorokauden keskiarvoa parempi vertailuperuste tarkkaan rajatuissa tapauksissa. Tällöin on varottava, ettei vertailu ole käyttäjien kannalta harhaanjohtava.

9.3 Tärkeimmät energia- ja ilmastotehokkuuden parantamiskeinot

Alle on koostettu toimia, joita voidaan pitää realistina ja kustannustehokkaina keinoina vähentää energiankulutusta sekä kasvihuonekaasupäästöjä.

Toimenpiteet, jotka olisi syytä käynnistää heti:

1. **Liikennevaloetuuksien lisääminen ja kehittäminen etenkin busseille.** Liikennevaloetuudella on merkittävää potentiaalia etenkin Espoossa ja Vantaalla. Myös Helsingin alueella on monia isoja risteyskohtia, joissa busseilla ei ole liikennevaloetuksia. Etuuksia laatimalla tehokkuutta on suhteellisen helppo parantaa. Raitiovaunujen etuuksia voidaan lähinnä optimoida.
2. **Liityntäpysäköinnin lisääminen etenkin kauempana sijaitsevilla kunnissa.** Liityntäpysäköinti raideyhteyksien varrella siirtää käyttäjiä tehokkaasti energiatehokkaan lähijunan käyttäjiksi kohtuullisella investoinnilla. Lisäksi kysyntää voidaan siirtää samalla tavalla raidepainotteiseksi kehittämällä yhteiskäyttöautoilun käyttöä etenkin kauempana Helsingin keskustasta.
3. **Infrastruktuurin energiatehokkuuden kehittäminen.** Metroasemien ja varikoiden energiakatselmointi ja raitiovaunuvarikon talvilämpötilan laskeminen maksavat itsensä takaisin todennäköisesti hyvin nopeasti.
4. **HKL:n sähköenergian vaihtaminen uusiutuvaan.** Vaikka kyseessä ensi tilassa onkin vanha vesivoima, tällä on merkitystä HSL:n käyttäjille, ja se antaa aikaa osallistua uusiutuvan energian investointihankkeisiin sopivan kumppanin kanssa (kuten Helsingin kaupungin tai HelEnin). Tämä on myös kustannustehokasta.

Investointiluonteiset tai pidemmän aikavälin suositeltavimmat toimenpiteet ovat:

5. **Kuljettajakohtaisen energiankulutuksen mittaus HSL:n tilaamaan bussiliikenteeseen.** Tällä saavutetaan pelkkää ajotapakoulutusta pidempään vaikuttavaa energiansäästöä, ja HSL saa selville tarkalleen, missä energiaa kuluu. Tietoa voidaan edelleen hyödyntää esim. liikennevaloetuuksien optimoinnissa.
6. **Raideinvestointihankkeista tehokkain on raidejokeri,** jos mittari on energiansäästö per investoitu euro. Tehokkaita ovat myös Espoon kaupunkirata ja todennäköisesti myös Laajasalon raideyhteys, vaikka sen kokonaisvaikutusta ei olekaan vielä arvioitu. Lisäksi johdinautot ovat investoinniltaan tehokas keino.
7. **Paikallisten biopolttoaineiden hyödyntäminen.** HSL:n toiminnan kestävyys ja energianhinnan nousulta suojaamisen kannalta olisi perusteltua hyödyntää HSL-alueelta saatavaa biokaasua polttoaineena. HSL-kuntien tulisi edesauttaa Blominmäen tulevan jätevedenpuhdistamon biokaasun saamista liikennekäyttöön. Myös muiden jäteperäisten biopolttoaineiden käyttöä on perusteltua kehittää.

10 Liite: Energiatohokkuuden mittarit ja niiden epävarmuudet

Energiatohokkuus perustuu kaluston kulutukseen sekä paikka- ja matkustajamäärään. Käytännössä vuositasolla tuloksia laskettaessa käytetään hyväksi vuositason matkustajakilometrimäärää, kalusto/linjakilometrimäärää, kaluston keskimääräistä paikkamäärää ja kaluston kulutusta. Näistä lähiaikoina muuttuva tekijä on ainakin paikkamäärä, sillä HSL:n suunnitteluohjeen paikkamäärämitoitusta ollaan nyt uusimassa. Vuosisuoritteiden mittaus-tapaa on syytä tarkentaa etenkin lähijunan osalta, sillä junayksikkö ei sovellu enää mittari-riksi, kun Sm5/FLIRT-junan käyttö lisääntyy.

Matkustajakilometrit saadaan lipputiedoista ja liikennetutkimuksista kertomalla linjakilo-metrit matkan keskipituudella. Tiedot on koostettu pääosin HSL:n lähteistä, joista tärkeim-pänä mainittakoon pian ilmestyvä yksikkökustannusraportti. Tietoja on tarkennettu liiken-nöitsijöiden kanssa keskustelemalla.

Lähijunan osalta tässä on tarkasteltu ainoastaan HSL:n tilaamaa liikennettä, joka kattaa linjat A, E, I, K, L, M, N, S ja U. Lähijunan täyttöaste on korkea (40,7 %) HSL:n tilaamassa liikenteessä, sillä junat kuormittuvat hyvin ja niiden mitoitus on tarkkaan optimoitu. VR:n koko lähijunaliikenteen keskimääräinen täyttöaste on noin 32 %. On todennäköistä, että myös HSL:n lähijunaliikenteen täyttöaste laskee, kun tarjontaa laajennetaan. Tähän vai-kuttaa myös Sm5-juna, jonka paikkamäärä on merkittävästi muuta kalustoa suurempi.

Matkustajasuoritteiden tunnusluvut

Tunnusluvut on laskettu vuoden 2009 keskimääräisellä täyttöasteella. On huomattava että jos täyttöaste (eli matkustajakilometriä ja kalustokilometriä suhde) muuttuu tulevina vuosina, muuttuvat myös matkustajakilometriä tunnusluvut.

Yhdellä kilowattitunnilla energiaa saatava matkustajasuorite eri liikennemuodoille on:

Matkustajasuorite	matkustajakm / kWh	mkm / kWh pri-määrienergiaa	matkustajakm vrt henkilöautoon
Metro	10,0	4,0	7,5
Raitiovaunut	4,4	1,8	3,3
Lähijunat	29,9	11,9	22,4
Bussit, diesel	2,7	1,9	2,0
Bussit, maakaasu	2,1	1,5	1,6
Henkilöauto, katuajo	1,3	1,0	1,0
Henkilöauto, keskusta-ajo	1,0	0,8	-

Taulukko: saatava matkustajasuorite liikennemuodoittain

Paikkasuoritteiden tunnusluvut

Suurimmat epävarmuudet liittyvät laskennallisesti saatavaan paikkakohtaiseen energiankulutukseen. Kaluston paikkamäärät määritellään HSL:n suunnitteluohjeessa. Tätä kirjoitettaessa suunnitteluohjetta päivitettiin huomioimaan uusi kalusto ja tietyt eroavuudet mitoituksissa. Paikkakohtainen energiankulutus muuttuu, kun kalusto laskennallisesti mitoitetaan erisuuruiselle matkustajamäärälle. Tästä voi aiheutua merkittäviäkin eroja.

Yhdellä kilowattitunnilla energiaa saatava paikkasuorite eri liikennemuodoille on:

Paikkasuorite	paikkakm / kWh	pkm / kWh primäärienergiaa	paikkakm vrt henkilöautoon
Metro	48,7	19,5	7,3
Raitiovaunut	20,4	8,2	3,1
Lähijunat	73,4	29,3	11,0
Bussit, diesel	13,3	10,2	2,0
Bussit, maakaasu	10,6	8,1	1,6
Henkilöauto, katuajo	6,7	5,1	1,0
Henkilöauto, keskusta-ajo	5,2	3,9	-

Taulukko: saatava paikkasuorite liikennemuodoittain

Energiankulutuksen tunnusluvut perinteisillä mittareilla

Perinteisillä (käänteisillä) mittareilla ilmaistuna energian kulutustiedot ovat:

Liikennemuodot	Polttoaineen / sähkön kulutus		Primäärienergian kulutus	
	kWh / paikkakm	kWh / matkustajakm	kWh / paikkakm	kWh / matkustajakm
Metro	0,021	0,100	0,051	0,251
Raitiovaunut	0,049	0,225	0,123	0,563
Lähijunat	0,014	0,033	0,034	0,084
Bussit, diesel	0,075	0,371	0,098	0,483
Bussit, maakaasu	0,094	0,467	0,123	0,607
Henkilöauto	0,150	0,750	0,195	0,975

Taulukko: kooste liikennemuotojen energiatehokkuusmittareista

11 Liite: Energian kulutuksen kalustokohtaiset erot

Kalustolla on merkittävä vaikutus energiatehokkuuteen etenkin junaliikenteessä. Junakaluston osalta tulokset riippuvat tarkastelutavasta. Tärkeää kuitenkin on, että paikkakilometriä kohden uusimmalla Sm5 / Flirt –kalustolla voidaan saavuttaa jopa yli 40 % säästöt suhteessa vanhaan Sm1 –kalustoon. Taulukossa mainitut energiankulutukset kilometriä kohden ovat suoritettujen mittausten keskiarvoja ja Flirtin osalta alustavia tuloksia perustuen aputoimintojen (mm. ilmastointi) optimoituun energiatehokkuuteen. Lisäksi uuden kaluston (Sm4 ja Sm5) osalta tulee huomioida korkea varustelutaso, joka vaikuttaa positiivisesti matkustusmukavuuteen ja joukkoliikenteen houkuttelevuuteen.

	Energiankulutus kWh/kalustokm	Paikkamäärä HSL:n suunniteluohjeen mukaan	Energiankulutus kWh/paikkakm	Energiankulutus verrattuna Sm1:n (kWh/paikkakm)
Sm1 + Eio	4,89	300	0,016	-
Sm2 + Eioc	3,93	300	0,013	-20 %
Sm4	5,21	300	0,017	+33 %
Sm5 (Flirt)	4,30	452	0,010	-45 %

Taulukko: Junakaluston energiatehokkuus

Bussien osalta huomattavin ero on maakaasubussien ja dieselbussien välillä. Maakaasubussi kuluttaa noin 20-40 % enemmän energiaa kilometriä kohden kuin dieselbussi. VTT:n mittaustulosten mukaan maakaasun ominaisuuksista johtuen maakaasubussien kasvihuonekaasupäästöt ovat kuitenkin vain muutamia prosentteja dieselbussien suuremmat.

Edelleen VTT:n tulosten mukaan dieselbussien välillä erot ovat melko vähäisiä. Tyypillisesti kuitenkin uudempi kalusto on jonkin verran vanhempaa energiatehokkaampi. Tällä hetkellä EEV-päästötason bussit ovat suuruusluokaltaan 10 % Euro 1 ja Euro 2 busseja energiatehokkaampia. Kasvihuonekaasupäästöjen osalta etu on sama. Eri sykleillä mitattuna (Braunschweig ja Helsinki 3) merkittäviä eroja ei ole.

Raitiovaunujen osalta kaluston mittaukset ovat käynnissä energiatehokkuuden selvittämiseksi. Alustavissa mittauksissa merkittäviä eroja ei ole havaittu. Tarkempia tuloksia saadaan vuoden 2010 aikana, mutta tätä kirjoitettaessa niitä ei ole käytettävissä.

Metron osalta M100 sarjan on arvioitu olevan hieman energiatehokkaampi kuin uudemman M200 sarjan. Tarkkoja mittaustietoja ei ole saatavilla, mutta M200 –sarjan kaluston arvioidaan kuluttavan n. 3 % enemmän suhteessa M100 -sarjaan johtuen kaluston hieman suuremmasta massasta.

12 Liite: Skenaariotyöpajan tulokset

Hankkeessa järjestettiin skenaariotyöpaja, jossa ideoitiin energiatehokkuuden tehostamiskeinoja ja äänestettiin parhaina pidetyt keinot, jotta ne saatiin nostettua esille kokonaisuudesta. Työpajaan osallistuivat HSL, HKL, Liikennevirasto, VTT ja Bionova Consulting. Tässä esitetään skenaariotyöpajan tulosten tiivistelmä.

Skenaariotyössä nousi esille 25 eri joukkoliikenteen ja liikennejärjestelmän kehitystrendiä sekä 53 eri tavoitetta ja toteuttamiskeinoa energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Skenaariotyöpajassa parhaimpana pidetyt ehdotukset tunnistettiin äänestysmenetelmällä, jossa jokaisella osallistujalla oli käytettävissään sama määrä ääniä vapaasti jaettavaksi kaikkien aiheiden kesken. Yhteensä ääniä annettiin 138 kappaletta, joista alla esitetyille parhaina pidetyille aiheille kohdistui 99 kappaletta, eli 71 % kaikista äänistä.

Keskeiset trendit joukkoliikenteessä ja liikennejärjestelmässä	Äänimäärä
Elinkaariperusteinen tarkastelu laajasti huomioiden infra, kalusto ja kierrätys	13
Ajankäytön optimointi ja ruuhkien vähentäminen	8
Asumisvalinnat, asukkaiden sijoittuminen tulevaisuuden pk-seudulla	5
Älykäs liikenne	4
Materiaalien kevennys kalustossa	4

Tavoitteet, suuntaviivat ja keinot 2020	Äänimäärä
Elinkaariperusteinen kilpailutus ja toiminnan elinkaariperusteinen tehostaminen	15
Liityntäliikenteen korostuminen ja integrointi esim. sähköautoiluun	6
Hinnoittelustrategioiden kehittäminen	5
Älykäs liikenne	4
Bussikaluston uudistuminen, hybridibussit	4
Biokaasu liikennepolttoaineena	4
Ilmastoystävällinen sähkönhankinta	4

Tavoitteet, suuntaviivat ja keinot 2050	Äänimäärä
Kysyntäpiikkien tasaus tai tasaantuminen	9
Akkujen kehittyminen, pikalataus ja esim. raiteet ilman johtimia	7
Kokeilumyönteisyys	4
CO ₂ -neutraalius	3

Periaatetason asiat (poliitikat)

- Ilmaston huomiointi kalustokilpailutuksissa ja energianhankinnassa, tulevaisuudessa elinkaariperusteisesti. Pyritään hyödyntämään yhä enemmän vähäpäästöistä sähköä ja biopolttoaineita kalustossa.
- Kokeilumyönteisyys ja edelläkävijyys. Kehitetään sähköistä liikennettä ja edistetään uusia energiatehokkuutta lisääviä teknologioita kaikessa kalustossa.
- Pyritään edistämään keinoja ja kannustimia, joilla linja-auton valmistuksen ympäristökuorma olisi mahdollisimman vähäinen. Tällaisia keinoja voisivat olla mm. bussin uudelleen koritus, jolloin matkustajille ajoneuvo olisi uutta vastaava, vaikka runko olisikin jo vanhempi. Vastaavasti puhtaamman moottori- ja voimansiirtotekniikan jälkiasennusmahdollisuuksia vanhaan kalustoon tuetaan.
- Joukkoliikenteen asemaa liikennejärjestelmässä kehitetään huomioiden mm. liikenteen kysynnän ajalliset muutokset, kaista- ja valoetuedet sekä asumiseen liittyvä maankäyttö

Tavoitteet, suuntaviivat ja keinot v. 2020

- Kehitetään hiilidioksidipäästöperusteista kilpailutusta kalustolle, ensin suorien päästöjen ja myöhemmin elinkaaren aikaisten päästöjen perusteella
- Biopolttoaineiden ja vähäpäästöisen sähkön hyödyntäminen kalustossa
- Jarrutusenergian hyödyntäminen (Hybridibussit, sähkön takaisinsyöttö, varastointi ja hyödyntäminen lämmityksessä sähkökalustossa)
- Ajotapojen optimointi huomioiden ohjauksen automatisointi, pysähtymisten määrät ja ajotapakoulutukset
- Kehitetään älykästä liikennettä huomioiden liityntäliikenne yms.

Tavoitteet, suuntaviivat ja keinot v. 2050

- Pyritään ja reagoidaan kysyntäpiikkien tasaamiseen eri keinoin
- Hyödynnetään akkuteknologian ja muiden uusien teknologioiden kehittymisen tuomat mahdollisuudet täysimääräisesti edelläkävijänä
- Kehitetään liikennettä ilmastoneutraaliin suuntaan

13 Liite: Sähkön ja polttoaineiden hankinnan ilmastovaikutukset

13.1 Joukkoliikenteen energian kulutus energiatyypeittäin

Joukkoliikenne kuluttaa energiaa eri muodoissaan. Teoriassa kaikki käytetty energia voidaan korvata uusiutuvalla energialla. Saavutettu päästöhyöty riippuu siitä, mistä raaka-aineista, millä energiapanoksella ja miten hankittava energia ja polttoaineet on tuotettu.

Energiamuoto	Kulutus GWh	Vähäpäästoiset vaihtoehdot
Sähkö (VR + muut)	30 + 131	Päästötön / uusiutuva sähkö
Kaukolämpö	42	Uusiutuvista energialähteistä tuotettu lämpö
Diesel + maakaasu	389 + 37	Biopolttoaineet (biodiesel, bioetanoli, biokaasu)

Taulukko: joukkoliikenteen kuluttamat eri energiamuodot

13.2 Sähkön hankinta ja sähkön tuotannon todellinen ilmastovaikutus

Vähäpäästöisen sähkön hankinnalla ei ole välttämättä minkäänlaista positiivista ilmastovaikutusta. Positiivisia vaikutuksia syntyy ainoastaan, jos vähäpäästöisen sähkön hankinta aiheuttaa sen, että uutta lisätuotantokapasiteettia rakennetaan tai vähäpäästöisen sähkön tuotantoa nostetaan muilla keinoilla.

Esimerkiksi olemassa olevan Pohjoismaisen vesisähkön koko tuotantokapasiteetti voidaan myydä asiakkaille, jotka haluavat vähäpäästöistä sähköä, mutta jos vähäpäästöisen sähkön kokonaiskysyntä ei aiheuta uuden kapasiteetin rakentamista, tällä ei ole suoraa ilmastovaikutusta. Olemassa olevan uusiutuvan sähkön kapasiteetin markkinahinta on HelEnin arvion mukaan noin 0,50 € / MWh tavallista teollisuussähköä kalliimpaa, joten koko HKL:n sähkö voitaisiin vaihtaa uusiutuvilla (ns. vanhalla vesivoimalla) tuotetuksi noin 70 000 euron vuosikustannuksella. Uudelle uusiutuvan sähkön kapasiteetille sen sijaan ei ole olemassa suoraviivaista markkinahintaa. Vaihtoehtoinen hankintatapa uusiutuvalla sähkölle olisivat uusiutuvan sähkön sertifikaatit.

Vastuullista ja vähäpäästöistä sähkönhankintaa suunniteltaessa onkin perusteltua toimia aktiivisena osapuolena, ja pyrkiä osallistumaan tavalla tai toisella osapuolena uusiin uusiutuvaan energialähteisiin kohdistuviin sähköninvestointeihin. Tämä mahdollistaa sen, että sähkön hankinnalla on suora vaikutus uusiutuvan sähkön kapasiteetin kasvuun. Esimerkiksi tuulivoimapuistot tai bioenergiavoimalat voisivat olla tällaisia hankkeita. Näihin osallistuminen on perusteltua tehdä esim. HelEnin tai HSL-alueen kuntien kautta.

13.3 Biopolttoaineiden käytöstä syntyvät päästövähennykset

Varmistamalla, että bussikalusto liikennöi biopolttoaineilla, voidaan vaikuttaa suoraan liikennesuorituksen ilmastovaikutuksiin. Myös biopolttoaineiden tuotannolla on ilmastovaikutuksia. Osa syntyy maanviljelyksen tai raaka-aineen keräämisen päästöistä, osa polttoaineen tuotannosta ja loput polttoaineen jakelusta tai toimittamisesta käyttäjälle.

Helsingin seudun liikenteen kannalta merkittäviä biopolttoainevaihtoehtoja ovat:

1. biodiesel (esim. Nesteen valmistama synteettinen biodiesel)
2. biokaasu (esim. Gasumin tai HSY:n maakaasuverkkoon toimittama)
3. bioetanoli (esim. ST1:n tuotteistama sokerijäte-etanoli). Myöhemmin myös puupohjainen etanoli tulee näyttelemään merkittävää roolia markkinoilla.

Tärkeimpien biopolttoainetoimittajien omille polttoaineilleen takaamat päästövähennykset on taulukoitu alla. Vähennykset perustuvat toimittajien antamiin tietoihin. Tässä on huomioitu ne polttoaineet, joita voidaan toimittaa HSL:lle merkityksellisissä volyyymeissä.

Biopolttoaine	Toimittaja	Taattu CO ₂ -päästövähennys
Hydrokäsittely biodiesel palmuöljystä	Neste Oil	50 %
Biokaasu maakaasuverkon kautta	Ei oteta kantaa	oletus 79 %, tyypillinen 83 %
Etanoli sokerijätteestä	ST1 Biofuels	80 %

Päästövähennyksiä ilmenee, mitkä biopolttoaineet ovat ilmaston kannalta tehokkaita. Polttonesteet ja -kaasut vastaavat tällä hetkellä 84,5 % HSL:n koko ilmastopäästöistä, joten esim. 80 % vähennys näiden päästöissä leikkaa HSL:n päästöt kolmannekseen. Biokaasun päästövähennyksien osalta on käytetty RES-direktiivin keskiarvoa. Koska muuta arvoa ei tähän mennessä ole voitu osoittaa, laskelmissa käytetään oletusarvoa 79 %.

Biokaasua on saatavilla riittävästi HSL:n tarpeisiin, jos ohjaukset kannustavat sen käyttöön. Biokaasua tuotetaan nyt Viikinmäellä ja Ämmässuon kaatopaikalla, ja tullaan tuottamaan Blominmäelle rakennettavassa uudessa jätevedenpuhdistamossa. Lisäksi Gasum kykenee toimittamaan biokaasua maakaasuverkon kautta syksystä 2011 alkaen.

Bioetanolin osalta ST1 Biofuels arvioi, että Suomen sokerijätteestä saataisiin noin 15 miljoonaa litraa bioetanolia vuodessa 2015 mennessä. Selluloosapohjaiseen materiaaliin perustuvaa etanolita voitaisiin Suomesta saada 200 – 300 miljoonaa litraa, olettaen että selluraaka-ainetta olisi tähän käyttöön kannattavasti saatavilla noin 1,5 milj. tonnia. NExBTL:ää oletetaan olevan saatavilla riittävästi HSL:n tarpeisiin, markkinoista riippuen.

14 Liite: johdinautojen vaikutus energiatehokkuuteen

14.1 Vertailukohtat muihin kaupunkeihin

Mittaustietoa johdinautojen energiankulutuksesta pohjoisissa olosuhteissa busseihin tai raitiovaunuihin verrattuna on olemassa rajoitetusti. Pohjois-Euroopassa johdinautoja on käytössä joukkoliikenteessä Landskronassa Ruotsissa, Bergenissä Norjassa sekä Baltian maissa ja Venäjällä. Muualla Euroopassa johdinautoja käytetään lisäksi Ranskassa, Italiassa, Espanjassa, Saksassa, Sveitsissä ja Alankomaissa. Osa Baltian ja Venäjän johdinautoliikenteestä perustuu ikääntyneeseen infrastruktuurin ja kalustoon, joka on huomioidava suhteutettaessa tietoja muihin maihin. Lisäksi Landskronan ja Bergenin johdinautoverkostot ovat hyvin suppeita ja koostuvat vain muutamista autoista. Suomessa ei toistaiseksi ole mitattu johdinautojen energiankulutusta. Johdinautojen roolia energiatehokkuuden parantamisessa Euroopassa selvitetään lähivuosina mm. vuoteen 2013 asti kestävässä kansainvälisessä TROLLEY-projektissa.

Landskronassa selvitettiin johdinautojen energiankulutusta linjaston käyttöönoton yhteydessä vuonna 2004. Landskronassa johdinautojen energiankulutukseksi on määritetty 1,8 kWh/km sisältäen sähkön takaisinsyötöstä saatava 16 % hyöty. Näillä tuloksilla energiankulutus on noin 60 % HSL-alueen bussien polttoaineenkulutusta alempi. Landskronassa dieselbussien energiankulutus on samaa luokkaa kuin HSL-alueella.

Liettuaassa on puolestaan valmisteltu selvitys koskien johdinautojen energia- ja ilmastotehokkuutta maan muuttuva sähköntuotantorakenne huomioiden (Ignalinan ydinvoimalan sulkeminen). Selvityksessä kävi ilmi, että johdinautoilla on Kaunasin olosuhteissa merkittävä potentiaali säästää kasvihuonekaasupäästöjä myös enemmän kasvihuonekaasupäästöjä tuottavalla sähköntuotantorakenteella. Tarkemmin säästöksi arvioitiin noin 390 g CO₂/km vuonna 2009 ja ydinvoimalan sulkemisen jälkeen vuonna 2010 noin 287 g CO₂/km. Säästöjä voidaan karkeasti suhteuttaa HSL-alueen bussiliikenteen keskimääräisiin päästöihin, jotka ovat noin 1200 g/km. Huomioitavaa Kaunasin osalta on, että laskelmien pohjana hyödynnettiin hyvin alhaista johdinautojen energiankulutusarvoa 0,9 kWh/km, joka oli saatu tiedonantona Kaunasin johdinautoja operoivalta Autrolis –yhtiöltä koskien koskien Solaris Trollino 12 AC –johdinautoa. Tarkempaa tietoa mittausten suorittamistavasta ei ole käytettävissä.

Trolley buses in Sweden –selvityksen mukaan Arnhemissä johdinautojen on todettu olevan primäärienergiankulutuksen osalta 22 % dieselbusseja tehokkaampia sekä tuottavan 27 % vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä lauhdevoimasähköllä.

14.2 Johdinautojen käyttöönoton Helsingissä vaikutus vuoden 2020 tilanteeseen

Johdinautoja, eli niin sanottuja trollikoita, suunnitellaan otettavaksi käyttöön osalla bussija raitiovaunulinjastoja Helsingin keskusta-alueella. HSL-alueella ensivaiheessa käyttöön otettavien johdinautojen määrä olisi todennäköisesti noin 70 kappaletta.

Tarkasteltu skenaario on A1 (ei Hernesaari). Vertailukalustona on pidetty vuoden 2020 tason busseja ja raitiovaunukalustoa, joiden energiatehokkuus on kehittynyt nykytasoa pienemmäksi. Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvityksessä (2009) johdinautojen energiankulutukseksi arvioitiin 2,5 kWh/km perustuen Euroopassa SORT-syklillä tehtyihin mittauksiin.

	Vertailutilanne milj. km	Muutos milj. km	Kulutus kWh/km (tasolla 2020)	Vaikutus GWh
Raitiovaunu	2,2	-0,1	4,2	-0,3
Bussi	6,5	-5,0	3,3	-16
Johdinauto	0	+4,4	2,5	+11

Nettovaikutus on –16 GWh polttonesteitä/–kaasuja ja sähkön kulutus kasvaa 10,7 GWh. Liikennöinnin energiatehokkuus kasvaa noin 34 %. Primäärienergialla tarkasteltuna energiankulutus sen sijaan kasvaa.

Johdinautojen olennainen energiatehokkuushyöty syntyy siitä, että nykyiset dieselbussit ovat niihin verrattuna varsin tehottomia. Etu kapenee vuoteen 2020 mennessä, kun hybridibussit liikennöivät kaikilla linjoilla.

Pitkällä aikajänteellä esim. 2030 johdinautoilla ei nähtävästi kuitenkaan saavuteta merkittävää energiankäytön tehostusta busseihin verrattuna, toisin kuin muilla sähköisen liikenteen muodoilla. Kevytrakenteista kalustoa voidaan käyttää yhtä hyvin sekä busseissa että johdinautoissa, joten energiatehokkuus kehittyy molempien liikennemuotojen osalta edelleen, mutta absoluuttisen energiankulutuksen ero kapenee.

Lyhyellä aikavälillä johdinautot ovat houkutteleva vaihtoehto, koska niiden avulla voidaan vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä suhteellisen nopeasti, etenkin jos käytetään uusiutuvaa sähköä. Tämän lisäksi erilaiset liikenteen terveystvaikutukset vähenevät keskusta-alueilla.

14.3 Johdinautojen energia- ja ilmastotehokkuus dieselbussiin verrattuna – vaikuttavat tekijät

Johdinautojen energia- ja ilmastotehokkuus suhteessa dieselbussikalustoon riippuu muutamasta merkittävästä tekijästä. Näitä ovat:

- *Hyötysuhde.* Sähkömoottorin hyötysuhde on polttomoottoria parempi, vastaavasti sähkön tuotannon hyötysuhde on yleensä polttoaineiden jalostusta heikompi. Primäärienergiatarkastelussa johdinautojen energiatehokkuus riippuu tuotetun sähkön hyötysuhteesta. Mikäli oletetaan johdinautoissa käytettävän sähkön tuotannon hyötysuhteeksi yhteistuotannossa 90 %, voi johdinauton kokonaishyötysuhde sähkön- ja voimansiirto huomioiden olla noin noin kaksinkertainen dieselbussiin verrattuna. Ero primäärienergiatehokkuudessa kaventuu kuitenkin hyvin pieneksi, jos sähkön tuotannon hyötysuhteeksi oletetaan 40 %, eli lähteenä on lauhdetuotanto, ja jos vertailukohtana on hybridibussi.
- *Jarrutusenergian uudelleenhyödyntäminen.* Teoreettisen potentiaalin on arvioitu olevan jopa 50 % kulutetusta energiasta. Todelliset mitatut arvot tämän päivän hybridibusseilla ovat välillä 20 – 30 %. Jarrutusenergiaa voidaan hyödyntää sekä dieselbussien että johdinautojen osalta, johdinautoissa vaihtoehtona on myös syöttää sähköä takaisin sähköverkkoon.
- *Energianhankinta.* Kasvihuonekaasupäästöjen osalta merkittävimpiä tekijöitä ovat sähköntuotannon rakenne sekä biopolttoaineiden kehitys. Näkymät sähkökäyttöisen liikenteen (johdinautot) osalta vähentää merkittävästi päästöjään hankintapäätöksillä ovat dieselkalustoa paremmat.
- *Houkuttelevuus liikennemuotona.* Johdinautojen dieselkalustoa vähäisempi melu ja värinä sekä pienemmät paikalliset päästöt voivat merkittävästikin lisätä viihtyvyyttä joukkoliikennevälineissä ja siten kasvattaa matkustajamääriä. Muut mukavuusominaisuudet (esim. ilmastointi) voidaan tuottaa johdinautoihin kuten dieselkalustoon. Joukkoliikenteen täyttöasteen mahdollinen kasvu johdinautojen ansiosta voi lisätä johdinautojen energiatehokkuutta dieselbusseihin verrattuna.
- *Kaluston massa.* Bussikalustoon verrattuna ei ole havaittavissa merkittäviä eroja. Polttomoottoribussikaluston massan kehitys kulkee suurelta osin yhteneväisesti. Toisaalta verrattuna raitiovaunuihin massahyöty paikkaa kohden on merkittävä, tähän kuitenkin vaikuttaa vertailuun valittava kalusto.

15 Liite: verrokkikaupungit Tukholma, Göteborg, Graz, Lyon ja Madrid

Viidestä eurooppalaisesta kaupungista esitetään energiakäytön ja joukkoliikenteen kehittämislinjaukset, ja tarkasteluun on valittu Ruotsin Tukholma ja Göteborg, Itävallan Graz, Ranskan Lyon sekä Espanjan Madrid.

15.1 Tukholma, Ruotsi –panoksia biokaasuun, etanoliin ja uusiutuvaan sähkөөn

Tukholma on Ruotsin pääkaupunki ja suurin kaupunki. Kaupungin rajojen sisäpuolella asuu 830 000 ihmistä ja kaupungin urbaanilla alueella asuu noin 1,25 miljoonaa henkeä.

Storstockholms Lokaltrafik (SL) vastaa joukkoliikennepalveluiden tuottamisesta, luotettavuudesta ja käytettävyydestä Tukholman alueella. SL tuottaa vuodessa noin 417 miljoonaa matkaa, joka vastaa noin puolta Ruotsin julkisen liikenteen matkoista. Päivittäin käyttäjiä on noin 700 000. Viimeisen 15 vuoden aikana Tukholman alueen väestö on kasvanut noin 20 000 hengellä vuodessa. Samana ajanjaksona SL:n matkustajamäärä on kasvanut noin 22 prosentilla.

SL:n tavoite on olla yksi maailman ympäristöystävällisimpiä julkisen liikenteen palveluntuottajista. Tämä tavoite pyritään saavuttamaan seuraavilla alatavoitteilla:

- Lopettaa kaikkien fossiilisten polttoaineiden käyttö kokonaan SL:n kalustossa viimeistään 2025, ja käyttää vähintään 50 % uusiutuvia moottoripolttoaineita 2011
- Käyttää vuoteen 2015 mennessä bussikantaa, josta vähintään puolet ovat ympäristöystävällisiä
- Uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiasta tulee olla vähintään 74 % vuoden 2011 loppuun mennessä
- SL:n kiinteistöjen lämmitysenergiasta vähintään 95 % tulee olla uusiutuvaa vuoden 2011 loppuun mennessä
- Vuoden 2011 loppuun mennessä energian kulutusta on vähennetty vähintään 5 % vuoden 2006 liikennemäärään suhteutetusta tasosta
- 100 % SL:n raideliikenteestä jatkaa uusiutuvan sähkön (tuuli ja vesi) käyttämistä
- Uutta kalustoa ostettaessa vähintään 95 % kaluston materiaaleista tulee olla kierrätettäviä, kun kalusto on purettu
- SL jatkaa edelleen ponnistelujaan julkisen liikenteen käytön kehittämiseksi. Julkisen liikenteen käytön lisääminen yksityisautoilun kustannuksella vähentää liikennesektorin hiilijalanjälkeä.
- SL:n matkustusmäärät tulevat nousemaan vähintään 1,5 % vuodessa aikavälillä 2010-2014

Biokaasu on SL:n ykkösvalinta polttoaineena. Biokaasu SL:n bussikalustoon hankitaan Tukholman alueen jätevesilaitoksilta, joissa se tuotetaan yhdyskunnan jätevesilietteestä. Biokaasu hankitaan pitkän aikavälin sopimuksilla Stockholm Vattenilta ja Käppala-yhdistykseltä. Biokaasubussit operoivat kaupungin keskustassa, jossa ilmanlaatu on huonoin. Kun määrää kasvatetaan, niillä ajetaan myös keskustan ulkopuolella. Biokaasubussit otettiin käyttöön 2003, ja niiden määrä on vahvassa kasvussa

- Vuoden 2009 lopussa biokaasubusseja oli 103
- Vuoden 2010 lopussa biokaasubusseja on 163
- Vuoden 2011 lopussa biokaasubusseja on 273
- Vuoden 2014 lopussa biokaasubusseja on 385

Tukholmassa on käytössä tietävästi Euroopan suurin etanolibussikalusto. Etanoli on uusiutuvaa energiaa, mutta sen ympäristöystävällisyys riippuu siitä, missä ja miten se on tuotettu. SL:n käyttämästä etanolista tällä hetkellä osa tulee puuntuotannon sivutuotteista ja loput brasilialaisesta sokeriruokoetanolista. Etanolibusseja otettiin käyttöön 1990-luvulla, ja nyt niitä on käytössä noin 390. SL on kiinnostunut etanolibussien markkinoiden kehittämistä.

SL on ollut vahvasti mukana kehittämässä ympäristöystävällistä liikennettä, ja otti ensimmäiset sähkö- ja kaasubussit käyttöön jo 25 vuotta sitten. Nyt lähes 30 % busseista käyttää uusiutuvia polttoaineita, ja lähes 75 % kaikesta liikenteestä käyttää uusiutuvia polttoaineita. Kuljettajat koulutetaan taloudelliseen ajoon ja osaaminen testataan. Lisäksi sähkö- ja sähköhybridibusseja tutkitaan nyt mahdollisina vaihtoehtoina.

SL:n tarkoitus on käyttää uusiutuvista lähteistä tuotettua sähköä ja uusiutuvia polttoaineita – tällä hetkellä biokaasua ja etanolia. Kaikki SL:n ostama sähkö tulee Eonilta, ja sillä on ”Hyvä ympäristövalinta”-merkintä. Merkin myöntää Ruotsin luonnonsuojeluliitto ja se takaa että sähkö on tuotettu uusiutuvista lähteistä ympäristöä kunnioittavissa laitoksissa.

15.1.1 Göteborg, Ruotsi – painopiste uusiutuvien osuuden lisäämisessä

Göteborg on Ruotsin toiseksi suurin kaupunki. Kaupungin rajojen sisäpuolella väestöä on noin 510 000, ja alueella kaikkiaan asuu noin 920 000 henkeä.

Västtrafik on Länsi-Ruotsin julkisen liikenteen organisaatio ja vastaa julkisesta liikenteestä (sisältäen bussit, raitiovaunut, lautat ja junat Västrä Götalandissa, pois lukien pitkän matkan bussit ja X-2000 juna). Västtrafik on Ruotsin toiseksi suurin julkisen liikenteen yritys, ja sen kalustoon kuuluu noin 1 600 ajoneuvoa. Päivittäin matkoja on yli 500 000.

Västtrafikin tavoitteet ovat:

- Julkisen bussiliikenteen energiasta vähintään 30 % on oltava uusiutuvia vuoteen 2012 mennessä ja vähintään 90 % vuoteen 2020 mennessä
- Tällä hetkellä uusiutuvien osuus polttoaineista on noin 13 % ja osuus kokonaisenergiasta on noin 30 %
- 100 % Västrafikin raideliikenteestä tulee käyttämään uusiutuvaa sähköä
- Västrafikin matkustusmäärä kasvaa 100 % vuodesta 2006 vuoteen 2025

Västtrafik määrittelee uusiutuvaksi polttoaineeksi polttoaineen, joka on tehty 100 % uusiutuvista raaka-aineista, ja jonka elinkaaren aikaiset päästöt ovat vähintään 50 % pienemmät kuin fossiilista dieseliä käytettäessä.

Biokaasu on Västtrafikin ykkösvalinta uusiutuvien polttoaineiden osalta sen alhaisen ilmastokuormituksen johdosta. Käytännössä käytetään sekä biokaasua että maakaasua. Osa busseista käyttää myös etanolia, mutta nämä tullaan korvaamaan biokaasubusseilla.

Junat ja raitiovaunut käyttävät sähköä, joka tuotetaan uusiutuvista energianlähteistä. Vain yksi junista käyttää dieselveturia. Laivoissa ja veneissä käytetään dieseliä, johon on sekoitettu 5 % uusiutuvaa RME:tä.

Västtrafikin liiketoimintasuunnitelmassa uusiutuvien energianlähteiden käytöllä turvataan mm. polttoaineen hintojen vakaus, ja Västtrafik työskentelee voidakseen hankkia käyttöönsä riittävän määrän uusiutuvia polttoaineita. Lisäksi Västtrafik tekee paljon töitä ympäristö- ja ilmastotoimien eteen, ja mm. kouluttaa henkilöstönsä aiheesta.

Lisäksi Västtrafik osallistuu kaikkien suurten uusien rakennusten ja infrastruktuurihankkeiden suunnittelun, jotta julkinen liikenne on osa kokonaisuutta jo alusta alkaen.

15.2 Graz, Itävalta – painopiste uusiutuvan energian käytön lisäämisessä

Graz on Itävallan toiseksi suurin kaupunki, ja sen asukasluku on noin 290 000, joista yli 44 000 opiskelijointa. Kaupungissa on käytössä sekä bussi- että raitiovaunuverkosto.

Grazin julkisen liikenteen toimittaa pääasiassa Graz Ag Verkehrsbetriebe, jolla on yli kahden kolmasosan osuus markkinoista, ja jolla matkustaa päivittäin 271 000 henkeä.

Grazin kaupunki on käynnistänyt uuden energiatehokkuus- ja ilmansuojeluohjelman, jonka tavoitetaso toimenpiteille on 2020. Tässä ohjelmassa kaupunki tavallaan sitoutuu laskemaan energiankulutusta kolmannekseen ja käyttämään 75 % uusiutuvaa energiaa, mutta koska tavoitetaso on 2050 ei tätä voida pitää poliittisesti sitovana. Yksi ohjelman neljästä teemasta on energiatehokas liikkuvuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet.

Tässä vaiheessa julkaistut tavoitteet ovat:

- Lisätä bio- ja maakaasun käyttöä
- Taata ympäristöystävällisten ajoneuvojen osuus 10 % (päästöt alle 120 g CO₂/km)
- Julkisen liikenteen uuden teknologian kaluston kokeilut Grazissa
- Sähkökäyttöisten ajoneuvojen hankinta, tarpeellisen infrastruktuurin rakentaminen

Historiallisesti Graz AG Verkehrsbetriebe on käyttänyt paljon uusiutuvia polttoaineita ja ensimmäinen biodieselbussi otettiin käyttöön jo vuonna 1994. Ensimmäinen maakaasubussi hankittiin 1997. Nyt kalustossa on 132 biodieselbussia sekä 4 maakaasubussia. Tällä hetkellä julkisen liikenteen toimija testaa hybridibusseja.

15.3 Lyon, Ranska – painopiste yhdistelmäliikenteellä ja vaihtoyhteyksillä

Lyonin väestö on 472 000, ja yhdessä lähialueensa sekä satelliittikaupunkiensä kanssa ”Greater Lyon” alueen yhteisväestö on noin 1,7 miljoonaa. Alueen verkostossa tehdään päivittäin 1,2 miljoonaa matkaa, josta raideliikenteen osuus on noin puolet, bussien ja trolleybussien osuus noin 35 % ja raitiovaunun osuus jäljellä oleva noin 14 %.

Alueella hyväksyttiin jo vuonna 1997 Urban Mobility Master Plan, jonka tarkoitus oli tasa-painottaa matkustusmuotojen markkinaosuudet, luoda hyvät edellytykset viihtyisälle kaupunkiympäristölle ja edistää kestävästä liikkuvuudesta (kevyt liikenne ja julkinen liikenne).

Vuonna 2007 päättyneen ohjelman tuloksena saavutettiin mm. seuraavaa:

- mahdollisuus vuokrata polkupyöriä,
- mahdollisuus käyttää taksia bussin hinnalla, kun matkustetaan kohteeseen jonne ei mene metroa, bussia tai raitiovaunua,
- julkisen liikenteen pysäkkien varrelle lisätty 5 700 pysäköintipaikkaa,
- vuonna 2006 yksityisautoilu keskustassa oli laskenut 5 % vuoden 1995 tasosta.

Julkisen liikenteen energiankulutuksesta 70 % on sähkökäyttöistä, ja julkisen liikenteen osuus alueen ilmansaasteista on vain 3 %. Sähköistä kalustoa on käytössä kaikkiaan 250 kappaletta (metroja, raitiovaunuja, trolleybusseja ja minibusseja). Alueen ilmastotavoitteet vastaavat Kyoton tavoitteita, eli 20 % vähennys vuoteen 2020 mennessä ja 75 % vähennys vuoteen 2050 mennessä vuoteen 1990 verrattuna. Energian käyttöä pyritään vähentämään 20 % ja uusiutuvien osuudeksi tavoitellaan 20 % vuoteen 2020 mennessä.

Vuonna 2005 käynnistettiin uusi hanke: REAL Réseau Express de l’Aire Métropolitaine Lyonnaise – Lyonin alueen julkisen liikenteen nopea verkko. Hankkeen tarkoitus on helpottaa kulkuvälineen vaihtoa, jotta julkinen liikenne on kilpailukykyisempi yksityisautoa vastaan etenkin työmatkoilla. Hankkeessa parannettiin noin 80 aseman käytettävyyttä.

Hankkeiden tuloksena saavutettiin seuraavaa:

- 88 300 junamatkustajan lisäys vuonna 2008, joka vastaa 30 % lisäystä vuoden 2005 tasoon verrattuna (kun kapasiteettia lisättiin 22 %),
- 76 % alueen junamatkustajista vaihtavat nyt kulkuneuvoa matkallaan (2006 tieto),
- 25 % kaikista alueen matkoista tehdään nyt julkisella liikenteellä,
- keskimääräinen asukas tekee 15 % vähemmän automatkoja vuonna 2006 verrattuna vuoden 1995 tasoon
- alueen julkisen liikenteen käyttö on kasvanut 9 % ja keskustassa 15 %

15.4 Madrid, Espanja – painopiste raideliikenteessä ja kaasubusseilla

Madrid on Espanjan pääkaupunki ja suurin kaupunki. Kaupungin väestö on noin 3,3 miljoonaa, ja lähialueen väestöksi arvioidaan 6,4 miljoonaa. Alue on Euroopan Unionin kolmanneksi suurin kaupunkikeskittymä. Vuonna 2008 matkoja tuotettiin 1 598 miljoonaa. Consorcio Regional de Transportes de Madrid (CRTM) on vuonna 1986 perustettu julkisen liikenteen konsortio, joka koordinoi palvelua, verkostoa ja taksoja kuluttajapalvelun parantamiseksi. Konsortioon kuuluu kaikkiaan 176 alueen kuntaa.

Liikennesektori on yksi alueen merkittävimmistä energian kuluttajista, ja täten yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasupäästöjen tuottajista. Tieliikenteen on laskettu tuottavan 39 % Madridin kasvihuonekaasupäästöistä, ja Madridin metroverkon vain 0,7 % päästöistä. Tämän vuoksi raideliikenteen kehittämiseen on panostettu.

Madridin metrojärjestelmä kattaa 12 linjaa, joiden pituus on 260 kilometriä ja joilla on 285 asemaa. Verkoston laajuus on maailman kuudenneksi pisin. Metroa operoi yritys, jonka omistaa Madridin kaupunki. Metron syöttöliikennettä hoitamaan avattiin vuonna 2007 kevytrautatie, jonka nimi on Metro Ligero ("kevyt metro"). Kalustona käytetään matalalattiaisia nivelraitiovaunuja, joiden huippunopeus on 100 kilometriä tunnissa.

Madridin bussiliikenteessä on yhteensä 2092 bussia, joiden käyttövoimana on

- 411 maakaasubussia, 5 bioetanolibussia ja 20 sähköbussia, sekä
- 1656 dieselbussia. Vuonna 2007 noin 20 % dieselbusseista käytti B10-polttoainetta. Kaikkien uusien bussien toimittajat takaavat B40-seossuhteen käytövarmuuden.
- Tavoite on, että 2011 puolelta bussikalustosta käyttää joko B10 tai B20-polttoainetta.

Tästä huolimatta 1.3.2010 Madridin pormestari tiedotti, että kaupunginvaltuusto valmistelee säädöstä, joka kieltäisi uusien dieselkäyttöisten taksien ja kaupunkibussien hankinnan. Tämä johtuu dieselin korkeista NO₂-päästöistä. Madrid on Euroopan ensimmäinen kaupunki, joka toimii dieseliä vastaan ympäristösyistä. Kaupunki aikoo asettaa kaikille hankinnoille pakolliset rajat sekä CO₂- että NO₂-päästöjen suhteen. Madrid on jo aiemmin tiedottanut että tilattavista busseista 80 % on maakaasukäyttöisiä.

Myös metroverkon huollolla on ympäristövaikutuksia. Seuraavia toimia onkin jo tehty: liukuportaita hidastetaan silloin kun ne eivät ole käytössä, valaistusjärjestelmät asemilla ovat moderneja ja energiatehokkaita, valaistus kytketään pois päältä automaattisesti kun sitä ei tarvita, ja junissa on nopeudenhallintajärjestelmä ja jarrutusenergian takaisinsyöttö.

HSL:n julkaisuja 27/2010

ISSN 1798-6176 (nid.)

ISBN 978-952-253-050-9 (nid.)

ISSN 1798-6184 (pdf)

ISBN 978-952-253-051-6 (pdf)

HSL Helsingin seudun liikenne

Opastinsilta 6A, Helsinki

PL 100, 00077 HSL

puh. (09) 4766 4444

etunimi.sukunimi@hsl.fi

HRT Helsingforsregionens trafik

Semaförbron 6 A, Helsingfors

PB 100, 00077 HRT

tfn (09) 4766 4444

fornamn.efternamn@hsl.fi

www.hsl.fi