

Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvitys



Tekijä(t) Pipsa Eklund, Raimo Mättö, Tero Anttila ja Artturi Lähdetie WSP Finland Oy, ZAP Perspective Oy			
Julkaisun nimi Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvitys			
Tiivistelmä <p>Johdinautoliikenne Helsingissä päättyi noin 30 vuotta sitten. Sen todettiin tuolloin olevan dieselbussiliikennettä kalliimpaa ja johtimien johdosta joustamattomampaa. Johdinautot ovat noista ajoista kehittyneet huomattavasti. Lisäksi ympäristöarvojen korostuminen on lisännyt kiinnostusta johdinautoihin. Euroopassa tällä hetkellä käytössä olevista noin 250 johdinautojärjestelmästä suurin osa on Itä-Euroopassa. Länsi-Euroopassa vanhojen järjestelmien modernisoinnin lisäksi kokonaan uusia johdinautojärjestelmiä on viime vuosina perustettu esimerkiksi Italiaan, Ranskaan ja Espanjaan.</p> <p>Bussiin verrattuna johdinauton etuja ovat lähipäästöttömyys (ei pakokaasuja) ja vähäinen melu. Haittapuolena on johdinautojärjestelmän edellyttämä infrastruktuuri (yläpuoliset ajojohtimet). Viimeaikainen kehitys sähkön varastointitekniikoissa on tosin johtanut siihen, että johdinauto voi liikkua jopa kilometrejä ilman johtimia, jolloin esimerkiksi kaupunkikuvallisesti herkillä alueilla ei välttämättä tarvita ajojohtorakenteita.</p> <p>Raitiovaunuun verrattuna johdinauton etuja ovat pienempi häiriöherkkyys, vähäisempi melu (ei kiskomelua ja runkoääniä) ja alhaisemmat liikennöinti- ja infrastruktuurikustannukset. Raitiovaunun etuna puolestaan on tasaisempi kulku, koska kiskot ehkäisevät matkustusmukavuutta häiritsevää sivuttaisliikettä. Lisäksi suurta matkustajakapasiteettia edellyttävillä yhteyksillä raitiovaunun suuremmasta koosta on etua.</p> <p>Tämän selvityksen tavoitteena oli selvittää johdinautojärjestelmien tämän hetkinen tila, niiden kehityssuunnat maailmalla sekä johdinautojen soveltuvuus Helsinkiin sekä teknisessä että taloudellisessa mielessä. Selvityksen perusteella voidaan todeta mm., että liikenteen järjestämiskustannukset johdinautolla ovat keskimäärin 1,2-kertaiset dieselbussiin verrattuna ja vastaavasti 0,45-kertaiset raitiovaunuun verrattuna. Mikäli päästöt ja melu arvotetaan, johdinauton ero dieselbussiin supistuu tai häviää kokonaan. Johdinautoliikenteen uudelleen aloittamisen perusteina voisivatkin olla myönteiset vaikutukset viihtyisyyteen ja kaupunkikuvaan sekä olennaisesti raitioliikennettä alhaisemmin kustannuksin.</p> <p>Kansainvälisesti johdinautoliikenteen operointi on hoidettu kaupunkien omana toimintana. Helsingissä vartenotettava operaattori voisi olla HKL-Raitioliikenne, jolloin saataisiin synergiaetuja samantyyppisten sähköjärjestelmien hoitamisessa.</p> <p>Selvityksen tulokset osoittavat, että on syytä jatkaa tarkempaa suunnittelua johdinautoliikenteen palauttamiseksi Helsinkiin. Hankesuunnitelmatasoiseen suunnitteluun tulisi varata puolitoista vuotta. Tämän jälkeen, mikäli toteutukseen päätetään ryhtyä, vie valmistelu noin kolme vuotta. Aikaisimmillaan johdinautoliikennettä Helsingissä voisi olla vuonna 2014.</p>			
Avainsanat joukkoliikenne, johdinauto, trollika, ympäristöystävällinen joukkoliikenne			
Muut tiedot taitto: Pipsa Eklund ja Mirva Ilmoniemi, kannen kuva Bombardier ja WSP Finland Oy			
Sarjanumero HKL:n julkaisusarja D: 2/2009		ISSN-numero	ISBN-numero
Painopaikka ja -vuosi Helsinki 2009	Kieli Suomi	Sivuja 50	Liitteitä 5

DESCRIPTION

Publisher

HELSINKI CITY TRANSPORT
Planning Unit

Date of publication

16.4.2009

Authors Pipsa Eklund, Raimo Mättö, Tero Anttila, Artturi Lähdetie WSP Finland Oy, ZAP Perspective Oy			
Name of publication Feasibility study on Trolleybus system in Helsinki			
Abstract <p>Trolleybus operation ended about 30 years ago in Helsinki. At the time, it was found to be more expensive than diesel bus system and because of the overhead contact lines, also less flexible. Since then, trolleybuses have developed considerably. In addition, the growing emphasis on environmental issues has increased the interest in trolleybuses. At the moment, most of European 250 trolleybus systems are operating in Eastern Europe. In Western Europe old systems are modernized and brand new trolleybus systems have recently been introduced, for example, in Italy, France and Spain.</p> <p>Compared to bus, the benefits of trolleybus include zero emissions at the street level (no exhaust fumes) and much lower noise levels. The downside of trolleybus system is the required infrastructure (overhead contact lines). However, the recent development of electricity storage systems has lead to trolleybuses being able to move even some kilometers without overhead contact lines. Hence, nowadays it is possible to operate a trolleybus line without contact lines, for example, in area of sensitive cityscape.</p> <p>Compared to trams, trolleybuses are less sensitive to street disturbances and less noisy (no rolling noise and vibration). The operating and infrastructure costs are also lower. As for trams, they offer a smoother ride than trolleybuses because the rails prevent the sideways movement which makes travelling for passenger less comfortable. The trams have larger unit size which also is beneficial on high capacity lines.</p> <p>The aim of this study was to clarify the current status of trolleybus systems, worldwide trends and the suitability of trolleybus system in Helsinki, in both technical and economical sense. One conclusion of the study is that the overall costs of trolleybus system are on average 1,2 times the costs of bus system, and 0,45 times those of tram system. If all emissions and noise are assigned monetary values, the difference between trolleybus and bus system decreases or disappears. Therefore, restarting trolleybus system could be argued by the positive impacts on pleasant city environment and whole cityscape as well as the essentially lower costs compared to tram system.</p> <p>Internationally the trolleybus systems have been operated by the cities themselves. In Helsinki a noteworthy operator could be Helsinki City Tram Transport, because of the synergy benefits from managing the similar electricity systems.</p> <p>The results of the study show that there are grounds to continue to more detail planning process for restoring trolleybus system in Helsinki. A year and a half should be reserved for project planning. After that, if it is decided the plan will be implemented. All preparations will take approximately three years. At the earliest, trolleybus system could again be operational in 2014.</p>			
Key words Public transport, trolleybus, tbus, environmentally-friendly public transport;			
Other information layout: Pipsa Eklund and Mirva Ilmoniemi, cover picture: Bombardier and WSP Finland Oy			
Serie number HKL series D: 2/2009		ISSN number	ISBN number
Printing place and year Helsinki 2009	Language Finnish	Pages 50	Appendices 5



Esipuhe

Helsingin joukkoliikenne on kansainvälisten arvioiden mukaan Euroopan parhaimmistoa. Joukkoliikenteen kilpailukyvyn edelleen kehittämiseksi on tekeillä ja suunnitteilla useita hankkeita. Ympäristöarvojen korostuessa sähkökäyttöisen liikenteen merkittävä lisääminen on varteenotettava vaihtoehto tulevaisuudessa. Johdinauto voisi liikennemuotona tarjota kustannustehokkaan mahdollisuuden ympäristöystävällisen liikenteen kehittämiseksi. Vuonna 2007 tehdyssä ”Ympäristöystävällisen kaupunkiliikenteen kehittäminen Helsingissä” –selvityksessä esitettiin esiselvityksen laatimista johdinautojärjestelmän toteutettavuudesta, hyödyistä ja kustannuksista Helsingissä.

Selvityksen teko aloitettiin kesällä 2008 ja se valmistui maaliskuussa 2009. Työtä ovat valvoneet ja ohjanneet HKL:n Suunnitteluyksiköstä Ville Lehmuskoski, Petri Saari ja HKL:n Rakennusyksiköstä Juha Jussila. Konsultteina työssä ovat toimineet WSP Finland Oy ja ZAP Perspective Oy. WSP:ssä työstä ovat vastanneet DI Pipsa Eklund, TkL Tero Anttila ja DI Simo Airaksinen ja ZAP:ssa DI Raimo Mättö ja tekniikan ylioppilas Artturi Lähdetie. Työn puitteissa on oltu tiiviissä yhteydessä läntisen Euroopan sellaisiin liikenneyhtiöihin, joissa johdinautolla on merkittävä rooli liikennejärjestelmässä. Työhön ovat osallistuneet myös useat Euroopan johtavat johdinautoasiantuntijat (mm. Arnulf Schuchmann, Horst Schaffer ja Mattis Schindler).

Sisällysluettelo

1. Johdatus johdinautoihin.....	5
2. Kansainvälinen selvitys.....	8
2.1. Yleistä.....	8
2.2. Euroopan johdinautojärjestelmät.....	8
2.3. Viisi nykyaikaista johdinautojärjestelmää Euroopassa.....	10
3. Johdinauton ominaisuuksia.....	13
3.1. Yleisiä johdinauton ominaisuuksia.....	13
3.2. Päästöt ja energian kulutus.....	15
4. Kalusto.....	17
4.1. Kaluston valmistajia.....	17
4.2. Kaluston investointi- ja ylläpitokustannukset.....	18
4.3. Kaluston soveltuvuus Helsingin olosuhteisiin.....	19
5. Johdinautojen vaatima infrastruktuuri.....	20
6. Varikko.....	22
6.1. Johdinautovarikko.....	22
6.2. Helsingissä olevien varikoiden soveltuvuus johdinautoille.....	22
7. Järjestelmänäkökulma ja toteutettavuus Helsingissä.....	25
7.1. Järjestelmänäkökulma Helsingissä.....	25
7.2. Tutkitut linjavaihtoehdot.....	25
7.3. Havaintoja linjatarkastelussa.....	28
8. Kustannuslaskelmat.....	30
8.1. Laskelmien lähtötiedot.....	30
8.2. Liikennöintikustannukset.....	31
8.3. Infrastruktuurikustannukset.....	33
8.4. Liikenteen järjestämisen kokonaiskustannukset.....	36
8.5. Laskelmien luotettavuudesta ja laskelmien perusteista.....	36
8.6. Yhteiskuntataloudelliset kustannukset.....	38
8.7. Yhteiskuntataloudelliset kokonaiskustannukset.....	41
8.8. Kokonaiskustannukset.....	43
9. Johdinautojärjestelmän tulevaisuus Helsingissä.....	45
9.1. Johdinauton hankinnassa huomioitavia asioita Helsingissä.....	45
10. Johtopäätökset.....	47
11. Lähteet.....	49
LIITTEET.....	51
Liite 1. Johdinautot Euroopassa kaupungeittain ja maittain.....	53
Liite 2. Johdinautokaupunkien tarkempi esittely.....	57
Liite 3. Johdinauton vaatima infrastruktuuri ja sen kustannukset.....	61
Liite 4. Johdinauton kulkunopeus ja virroitinaisatekniikka.....	67
Liite 5. Energian tuotanto ja sähkökäyttöisen joukkoliikenteen hiilidioksiditase.....	69

1. Johdatus johdinautoihin

Taustaa

Kaupunkiliikenteessä on aina pyritty asukkaiden kannalta hyväksyttäviin ja kapasiteetiltaan sopiviin ratkaisuihin. Palvelutasovaatimukset, tekniset mahdollisuudet ja hyväksyttävissä olevat kustannukset ovat aikojen saatossa johtaneet erilaisiin teknisiin järjestelmiin ja niiden vaihteleviin suhteellisiin osuuksiin koko kuljetustarpeen tyydyttämiseksi.

Niinpä Suomessakin – erittäin monen muun maan ja kaupungin tapaan - sovellettiin sähköä käyttövoimanaan hyödyntävää johdinautotekniikkaa. Johdinautoliikenne alkoi Helsingissä ja Tampereella 1948. Helsingissä oli enimmillään käytössä 26 johdinautoa linjalla 14. Johdinautoilla oli tuoloin dieselautoja parempi kiihtyvyys, suurempi matkanopeus, pidempi käyttöikä ja parempi taloudellisuus. Ympäristötekijät eivät vielä tuolloin olleet merkittävässä asemassa.

1960-luvulla dieselauton suosio joustavampana liikennemuotona kasvoi ja ne ohittivat käyttöomaisuuksiltaan johdinautot. Johdinautoliikenteen kehittäminen ja laajentaminen jäi näin muun kehityksen jalkoihin Helsingissä, kuten myös monissa muissa markkinatalousmaissa. Poikkeuksen muodosti kuitenkin Sveitsi. Siellä on yllin kyllin edullista, kotimaista vesivoimalla tuotettua sähköä saatavilla, kaupungit ja niiden kadut ovat mäkisiä ja siellä on aina arvostettu siistiä ja rauhallista kaupunkiympäristöä. Tällaisilla edellytyksillä toimittaessa on johdinauto parhaimmillaan. Niinpä dieselbussi jäi Sveitsissä useimmissa kaupungeissa vain haastajaksi.

Muut poikkeukset markkinatalousmaissa selittyvät osin samantapaisilla topografisilla perusteilla kuin Sveitsissäkin – esimerkkeinä yksittäisiä kaupunkeja Italiassa, Ranskassa, Saksassa ja Norjassa - ja osin kaupunginpäättäjien ja kaupunkien asukkaiden kaupunkiasumisen laatuun liittyvien arvokriteerien kautta. Euroopan itäisten osien suunnitelmatalouden maissa johdinautot säilyttivät asemansa läpi vuosien, koska päätöksenteon pohjana ei ollut taloudellinen tarkastelu vaan muut tekijät (mm. omavaraisuus energian suhteen). Niinpä näissä – mm. nykyisiin EU:n uusimpiin jäseniin kuuluvissa maissa – johdinauto siirtyikin uuteen tulemiseensa valmiilta pohjalta.

Helsingissä ei luovuttu johdinautoista vielä 1960-luvulla, vaan vielä vuonna 1973 kokeiltiin kolmea neuvostoliittolaista johdinautoa kuuden kuukauden ajan, mutta epätydyttävien tuloksin. Niinpä vuonna 1974 tehtiin päätös johdinautoliikenteen lopettamisesta. Tampereella päätös lopettamisesta tehtiin kahta vuotta myöhemmin, vuonna 1976.

Johdinautoliikenteen lopettaminen ei kuitenkaan saanut kaupunkilaisten jakamatonta kannatusta, vaan päätöksen seurauksena syntyi johdinautoliikenteen puolesta puhuvien ryhmä. Tämän seurauksena käynnistettiin vuonna 1979 koejohdinautoprojekti. HKL:lle valmistui kotimainen koejohdinauto (taajuusohjattu vaihtovirtakäyttö, 50 kW diesel-sähköinen apukäyttö ja energian takaisinsyöttömahdollisuus), joka oli mukana yhteiseurooppalaisessa COST-projektissa. Projekti tutki kaksisäikäyttöisen (duo) johdinauton teknisiä ja taloudellisia mahdollisuuksia kaupunkiliikenteessä.

Tämän jälkeen HKL teki useita selvityksiä johdinautoliikenteestä Helsingissä (ainakin 25.4.1979 ja 4.6.1985). Selvityksissä todettiin mm., että johdinautovaihtoehto edellytti 2 - 2,5-kertaiset investoinnit dieselvaihtoehtoon verrattuna ja että vuotuisten käyttökustannusten etu oli johdinautolla kaavailunut 10 %:iin. Pääomakustannukset mukaan lukien johdinautovaihtoehto oli 15 - 25 % dieselbussiliikennettä kalliimpaa. Todettiin myös, että ympäristöseikkojen osalta johdinautoilla on paikallinen vaikutus, mutta kokonaisuutena päästöjä vähentävä vaikutus jää pieneksi. Liikenteellisesti johdinauto oli dieselautoa joustamattomampi ja sen matkanopeus oli pienempi, koska huonolaatuiset ajojohtorakenteet hidastivat ajoa. Esikaupunkialueilla ei myöskään todettu olevan johdinautoliikenteelle sopivaa linjakokonaisuutta.

Lopulta 9.12.1985 (3307§) Helsingin kaupunkihallitus päätti vahvistaa liikennelaitoksen lautakunnan 30.10.1985 tekemän päätöksen johdinautoliikenteestä Helsingissä ja päätti että johdinautoliikennettä ei jatketa, johdinautokokeilu lopetetaan sekä johdinautolinja loppuun kuluneena ja teknisesti vanhentuneen puretaan.

Samalla kaupunginhallitus kuitenkin päätti, että koejohdinauto säilytetään mahdollisia tulevia tarpeita varten ja päätökseen liittyvissä perusteluissa veloitettiin *"liikennelaitos seuraamaan kansainvälistä kehitystä sekä laatimaan uusi selvitys, jos johdinautojen tai muiden ympäristöystävällisten autojen käyttöön vaikuttavat tekijät oleellisesti muuttuvat."* Asetettuun veloitteeseen pohjautuvan ensimmäisen selvityksen liikennelaitos teki jo vuonna 1989 (eräiden kaupunginvaltuutettujen aloitteesta). Silloin jouduttiin vain toteamaan, etteivät edellytykset olleet vielä oleellisesti muuttuneet, joten tehdyn päätöksen pyörtämiseen ei ollut perusteita.

Tämäkin selvitys pohjautuu perimmiltään samaan vuonna 1985 jätettyyn veloitteeseen. Helsingin joukkoliikennelautakunta käsittelee kokouksessaan 13.12.2007 selvitystä "Ympäristöystävällisen kaupunkiliikenteen kehittäminen Helsingissä". Aiheen valmistelun taustalla olivat erityisesti ilmastomuutos sekä terveyteen vaikuttavat lähipäästöt kaupunkiympäristössä. Selvityksen yhtenä jatkotoimenpiteenä esitettiin, että *"HKL laatii esiselvityksen nykyaikaisen johdinautojärjestelmän toteutettavuudesta, hyödyistä ja kustannuksista Helsingissä. Selvityksen perusteella päätetään mahdollisista jatkotoimenpiteistä."* Joukkoliikennelautakunta kehotti HKL:ää jatkamaan selvityksessä esitettyjen toimenpiteiden valmistelua.

Johdinauto

Johdinauto eli kansanomaisesti trollikka on linja-auto, joka ottaa käyttövoimansa yläpuolisista ajojohdoista raitiovaunun tapaan, mutta kulkee kumipyörillä kuten linja-auto. Se tarvitsee siis kulkeakseen vain yläpuoliset johtimet. Uusimmat johdinautot on tosin varustettu myös autonomisen liikkumisen mahdollistavalla tekniikalla, joten ne ovat nykyisin olennaisesti joustavampia liikennekäytössä kuin mitä perinteinen johdinauto oli. Johdinautojen vaatima tekniikka ja erityisesti eri autonomisen liikkumisen mahdollistavat tekniikat kehittyvät juuri nyt nopeasti.

Miten toimintaympäristö on muuttunut 25 vuodessa


Tänä päivänä maailma nähdään yhteisenä äärellisten materiaalistien resurssien lähteenä. Ihmiskunta on havahtunut huomaamaan, että maa ja ilma ovat jo muuttuneet merkittävästi ihmisen toiminnan seurauksena. Hiljattain on myös alkanut syntyä käsitys siitä miten mikäkin ihmisen toimenpide vaikuttaa maapallonlaajuisesti. Erityisesti liikenteen aiheuttamat päästöt on otettu kriittiseen tarkasteluun, koska liikenne kaikissa muodoissaan on kasvanut voimakkaasti ja jatkaa kasvuaan niin pitkälle kuin ennusteita on tehtävissä.

Kaupunki ihmisten olohuoneena on tullut leimalliseksi näkemykseksi kaupunkimiljööstä. Ja kuka olohuoneessaan melua tai savua sietäisi. Niinpä liikenteen teknisten ratkaisujen tuleekin saada taakseen kaupunkilaisten tuki. Erityisesti suosiota ovat saaneet raideliikenne ja johdinauto.

Öljy on ollut monet vuosikymmenet todella edullista. Niinpä sen markkinahinnan rajut heilahtelut ovat synnyttäneet laajaa keskustelua poliittisissa piireissä. Kun ilmastomuutoskeskustelu käy samalla kiivaana, ovat niin asiantuntijat kuin poliittiset päättäjätkin ryhtyneet miettimään ympäristöystävällisempien ja öljyriippumattomampien vaihtoehtojen suosimista kaupunkiliikenteessä. Näin myös johdinautot ovat nousseet uudestaan esille poliittisessa keskustelussa niiden vähäisten lähipäästöjen ja öljyriippumattomuuden takia.

Johdinauton uusi tuleminen

Johdinautoliikenteen yleistyminen on havaittavissa myös kansainvälisesti. Esimerkiksi seuraaviin Länsi-Euroopan kaupunkeihin on viime vuosina perustettu kokonaan uusia johdinautojärjestelmiä:

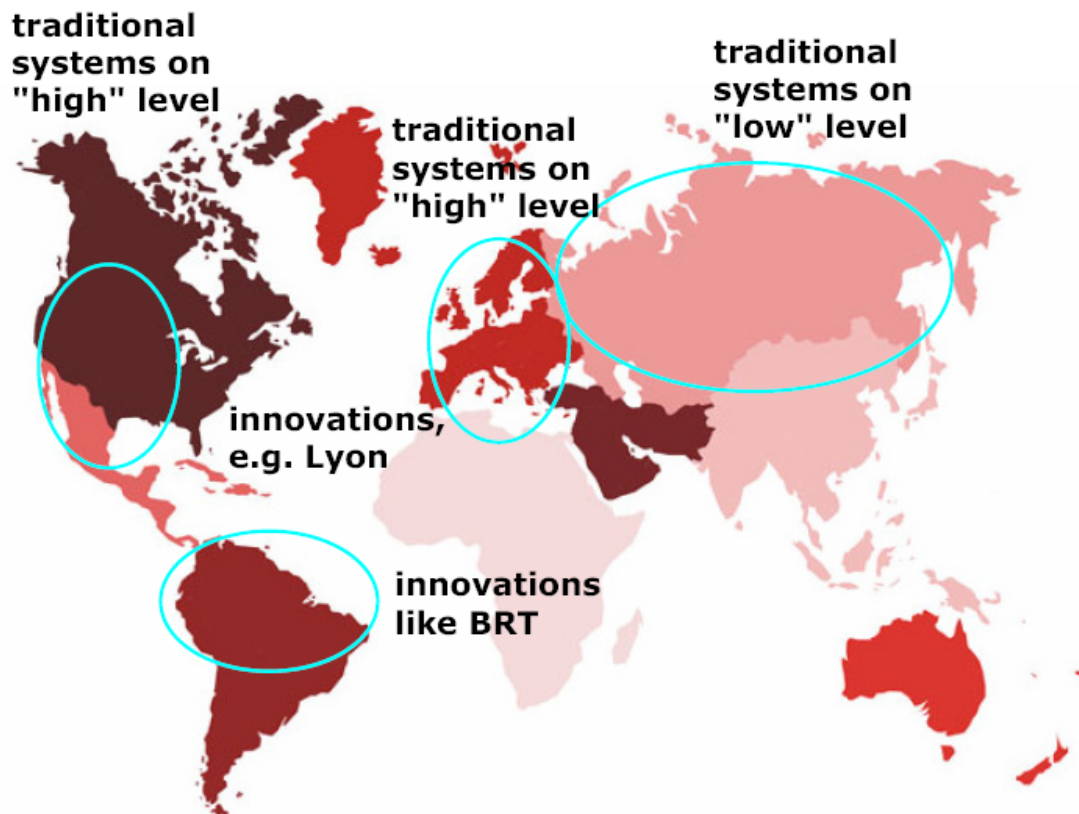


Lecce (Italia), Caen (Ranska), Clermont-Ferrand (Ranska), Rooma (Italia) ja Landskrona (Ruotsi). Lisäksi monien kaupunkien johdinautojärjestelmiä on uusittu ja nykyaikaistettu. Esimerkiksi Salzburgissa (Itävalta), Zürichissä (Sveitsi), Pescaraassa (Italia), Riiassa ja Tallinnassa on uudistettu kalustoa. Lisäksi on kaupunkeja, joissa on päätetty kaluston uudistamisesta ja verkoston merkittävää laajentamisesta, kuten Arnhemissä Hollannissa.

2. Kansainvälinen selvitys

2.1. Yleistä

Johdinautoja on käytössä kaikissa maanosissa lukuun ottamatta Afrikkaa. Järjestelmiä on käytössä noin 350 eri kaupungeissa, joista suurin osa sijaitsee maantieteellisesti Euroopassa. Seuraavasta kuvasta näkee pääpiirteittäin teknologisen tason maailmanlaajuisesti (BRT = Bus Rapid Transit).



Kuva 1. Johdinautot ja niiden tekniset tasot maailmanlaajuisesti /13/.

Useissa Euroopan kaupungeissa on viime vuosina kehitetty järjestelmiä hankkimalla uutta kalustoa ja laajentamalla verkostoa. Tässä tutkimuksessa perehdytään tarkemmin vain Euroopan johdinautojärjestelmiin, koska niiden on todettu antavat tarpeeksi tietoa erilaisista järjestelmistä ja ne sijaitsevat maantieteellisesti ja kulttuurisesti lähellä Suomea. /1/

2.2. Euroopan johdinautojärjestelmät

Euroopassa on tällä hetkellä noin 250 toimivaa johdinautojärjestelmää, joista Venäjällä toimii vajaat sata. Johdinautot ovatkin huomattavasti yleisemmin käytössä Euroopan itäisissä kuin läntisissä osissa. Läntisen Euroopan järjestelmät ovat kuitenkin tekniseltä tasoltaan yleensä huomattavasti uudempia. Taulukkoon 1 on koottu Euroopan johdinautojärjestelmät maittain. Liitteessä 1 on esitetty Euroopan järjestelmät maittain ja kaupungeittain. /1/

Taulukko 1. Euroopassa toiminnassa olevat johdinautojärjestelmät maittain /1/.

Euroopan maa	Kaupungit joissa toimiva järjestelmä	Linjojen lkm.	Ajoneuvoja/ linja	Verkon km pituus/ linja	Liikenne aloitettu
Espanja	1	3	-	-	2008
Ruotsi	1	1	3	3	2003
Belgia	1	1	18	-	1989
Bosnia Hertsegovina	1	4	-	-	1984
Viro	1	8	16	-	1965
Liettua	2	18	11	9	1956
Kreikka	1	22	17	-	1954
Valkovenäjä	7	17	15	8	1952
Norja	1	1	8	7	1950
Unkari	3	7	11	-	1949
Moldova	4	10	9	-	1949
Latvia	1	20	7	14	1947
Serbia	1	8	16	8	1947
Portugali	1	3	6	-	1947
Puola	3	8	5	-	1943
Romania	13	5	9	6	1942
Tsekki	13	8	7	-	1941
Slovakia	5	8	8	3	1941
Bulgaria	15	5	7	12	1941
Hollanti	1	4	11	-	1941
Saksa	3	3	7	12	1940
Itävalta	2	6	7	5	1940
Venäjä	89	-	-	-	1936
Ranska	4	4	15	-	1935
Ukraina	47	10	10	7	1935
Italia	16	2	15	9	1933
Sveitsi	14	4	10	7	1932
Yhteensä / keskimäärin	Yhteensä 251	keskim. 7	keskim. 10	keskim. 8	keskim. 1952

Taulukosta 1 käy ilmi, että suurimmassa osassa maita johdinautoliikenne on käynnistetty 1940 - 50 -luvulla. Monissa, varsinkin läntisen Euroopan maissa, on viime vuosina laajennettu johdinautojärjestelmiä uusille linjoille tai uusiin kaupunkeihin, vaikka itse liikenne on käynnistetty jo paljon aikaisemmin. Esimerkiksi Italiassa, Sveitsissä, Itävallassa ja Ranskassa on käytössä hyvin uutta johdinautotekniikkaa. /1/

Länsi-Euroopan maista Sveitsissä ja Italiassa johdinautot ovat käytössä useissa kaupungeissa. Niitä voidaankin pitää johdinautojen kärkimaina Euroopassa. Pohjois-Euroopassa johdinautoja on käytössä vain Ruotsin Landskronassa ja Norjan Bergenissä. Molemmissa kaupungeissa on vain yksi johdinautolinja. Bergenissä suunnitellaan linjan laajentamista. Landskronan linjaa (kuva 2) voidaan pitää eräänlaisena johdinautokokeiluna Ruotsissa.



Kuva 2. Landskronan johdinauto (P.G. Andersson).

2.3. Viisi nykyaikaista johdinautojärjestelmää Euroopassa

Euroopassa johdinautojen uusi tuleminen alkoi jo 1990-luvulla. Siitä lähtien eri kaupungeissa on uusittu aktiivisesti toiminnassa olevia järjestelmiä, laajennettu niitä tai perustettu kokonaan uusia järjestelmiä. Tässä tutkimuksessa on perehdytty tarkemmin viiteen eri eurooppalaiseen järjestelmään. Valitut järjestelmät ovat pääosin läntisestä Euroopasta, sillä itäisen Euroopan maat eivät ole vielä merkittävästi ehtineet uusia järjestelmiään. Riika on ainoa Itä-Euroopasta mukana oleva kaupunki. Se on kooltaan Helsingin suuruusluokkaa ja siellä on käytössä sekä johdinautot, että raitiovaunut. Lisäksi kaupunki on tehnyt päätöksen uuden kaluston hankinnasta.

Zürich ja Lyon edustavat järjestelminä modernia tekniikkaa. Niissä kummassakin on myös raitiotiejärjestelmä ja laaja bussiverkosto keskusta-alueiden ulkopuolella. Bergen edustaa ilmastollisesti vertailukelpoista kohdetta. Solingen taas on perinteinen ja pienehkö kaupunki Saksassa, jossa johdinauto säilytti asemansa vaikeinakin vuosina kaupunkilaisten aktiivisen toiminnan seurauksena. Toisaalta johdinauto on sen kumpuilevassa kaupunkikuvassa juuri parhaimmillaan, mistä kertoo myös energian talteenoton erittäin korkea hyötysuhde. Alla on esitetty kaupungit lyhyesti sekä lopussa on vertailutaulukko eri järjestelmistä. Liitteessä 2 on kerrottu kaupungeista ja niiden liikenteestä tarkemmin.

Zürich

Zürichin vaikutusalueella asuu hieman yli miljoona ihmistä, joten se on hyvin Helsingin kanssa vertailukelpoinen. Julkinen liikenne perustuu keskusta-alueella raitiovaunuihin ja johdinautoihin ja muualla linja-autoihin ja lähijunaverkostoon. Metron kaupunkilaiset äänestivät 1970-luvulla kumoon. Zürichin johdinautokalustoa on uudistettu 2000-luvulla. Vuodesta 2006 on siirrytty laajamittaisesti matalalattiaisiiin 24 metrin pituisiin kaksinivelbusseihin (LighTram3), joita hankitaan lisää vuonna 2009. /4/.

Riika

Riian kaupungin vaikutusalueella asuu reilut miljoona ihmistä. Kaupungissa on johdinautojen lisäksi raitiovaunu- ja bussiverkosto sekä paikallisjunat. Kaupungin johdinautoverkosto sai alkunsa toisen maailmansodan jälkeen raitiovaunuverkoston vaurioituttua sodassa pahoin. Riiaassa on juuri meneillään kaluston uudistaminen. Vuonna 2008 tilattiin Skodalta 150 uutta Tr24-sarjan johdinautoa. /5/

Lyon

Lyonin vaikutusalueella asuu noin 1,8 miljoonaa ihmistä, itse kaupungissa noin 500 000 ja liikennelaitoksen toiminta-alueella noin 1,2 miljoonaa. Lyonissa on johdinauton lisäksi bussi-, raitiovaunu- ja metroverkosto.

Johdinautoliikenne alkoi 1935. Syynä tähän oli tarve karsia kustannuksia, jolloin kaksi raitiovaunulinjaa muutettiin johdinautolinjoiksi. Linjastoa laajennettiin sodan jälkeen. Tällä hetkellä kaupungissa on kahdeksan johdinautolinjaa. Verkostoa aiotaan laajentaa edelleen muuttamalla keskustan dieselbussilinjoja johdinautolinjoiksi. Kalusto on uutta, 2000-luvulla hankittua. Uusin kalusto (Cristalis) on rakenteeltaan matalalattiainen nivelbusi ja pituudeltaan 18 metriä. /6/

Bergen

Norjassa Bergen on ainoa johdinautoilla liikennöivä kaupunki. Kaupungin väkiluku on noin 250 000 ja sen vaikutusalueella asuu noin 350 000 ihmistä. Erityisenä johdinautoa suosivana tekijänä on kaupungin mäkinen maasto. Bergenin johdinautojärjestelmän tekee mielenkiintoiseksi alueen ilmast, joka on hyvin lähellä Helsingin olosuhteita. Johdinautojen lisäksi Bergenissä liikennöivät bussit ja paikallisjunat. Johdinautoliikenne käynnistyi Bergenissä kunnolla toisen maailmansodan jälkeen. Nykyään käytössä on yksi linja, jonka kalusto on uusittu vuonna 2003. /2/, /3/.

Solingen

Solingen on 170 000 asukkaan kaupunki. Kaupungissa on ollut käytössä johdinautoja vuodesta 1952 ja ne sopivat erinomaisesti alueen mäkiseen maastoon. Päätös johdinautoista tehtiin, koska ne todettiin saatavan edullisemmin ja nopeammin kuin mitä sodassa tuhoutuneen raitiovaunuverkoston korjaaminen olisi vaatinut. Johdinautot liikennöivät keskusta-alueella ja dieselbussit liikennöivät esikaupunkialueella. Solingenissa kalustoa on uusittu, mutta pitkän historian takia kaluston ikäjakauma on suuri. Kaikki uusimmat ajoneuvot (käytössä vuoden 2008 loppupuolelta asti) ovat matalalattiaisia 150-paikkaisia duo-nivelbusseja, joissa on diesel-apumoottori. /7/, /8/

Taulukkoon 2 on koottu viiden kaupungin ja Helsingin tiedot eri joukkoliikennemuodoista. Tiedot on pyritty muokkaamaan niin vertailukelpoisiksi kuin mahdollista, mutta erilaisista tilastointitavoista johtuen voi kaupunkien välillä esiintyä joitakin epäjohdonmukaisuuksia.

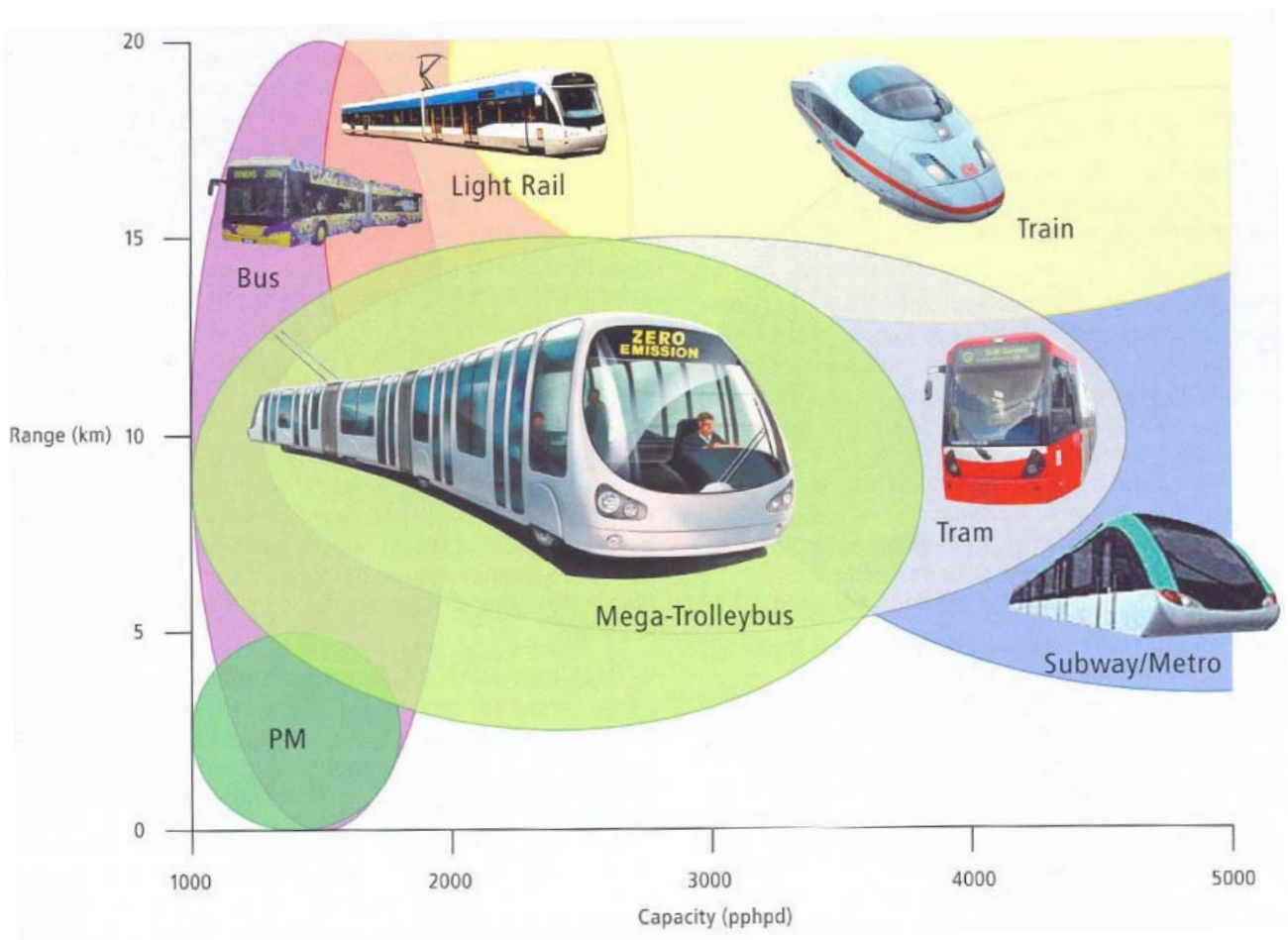
Taulukko 2. Joukkoliikennemuotojen osuudet kaupungeittain /2-9/.

TARKASTELTAVA TEKIJÄ \ KOHDEVÄESTÖ		ZÜRICH 1 M	LYON 2 M	RIIKA 1 M	SOLINGEN 0,2 M	BERGEN 0,35 M	HELSINKI 1 M
JOHDINAUTO	Linjojen lukumäärää (kpl)	6	8	20	6	1	-
	Reitistön pituus (km)	54	40	140	48	4	-
	Kaluston lukumäärä (kpl)	85	120	318	49	8	-
	Kaluston painotettu keski-ikä (a)	uudistuu ripeästi	uutta	uudistuu ripeästi	8	6	-
	Matkoja vuositasolla (milj.)	53	90		17	1.5	-
	Liikenne alkanut	1939	1935	1947	1952	1939 (1952)	-
	Viimeisin kalustohankinta / merkittävä investointi	2008	2008	2008	2008	2003	-
BUSSI	Linjojen lukumäärää (kpl)	18	98	58	18	8	107
	Reitistön pituus (km)	90	1120	1000	125	laaja	
	Kaluston lukumäärä (kpl)	245	939	460	41		525
	Kaluston painotettu keski-ikä (a)					uutta	uudistuu
	Matkoja vuositasolla (milj.)	37	90		7		79
	Liikenne alkanut	1927		1924	1897		1930
	Viimeisin kalustohankinta / merkittävä investointi	2008		2008	2000		-
RAITIOVAUNU	Linjojen lukumäärää (kpl)	13	3	11	-	1	11
	Reitistön pituus (km)	113	39	180	-	10	85
	Kaluston lukumäärä (kpl)	325	57	252	-	12	122
	Kaluston painotettu keski-ikä (a)		hyvin uutta	uusiutuu	-		
	Matkoja vuositasolla (milj.)	197	37		-	5	52
	Sähköinen liikenne alkanut	1899	1893	1901	-	1897	1900
	Viimeisin kalustohankinta / merkittävä investointi	2005 / 2010	2008	2008	-	2009	2005
METRO	Linjojen lukumäärää (kpl)	-	4	-	-	-	2
	Reitistön pituus (km)	-	30	-	-	-	21
	Kaluston lukumäärä (kpl)	-	178	-	-	-	54
	Kaluston painotettu keski-ikä (a)	-	8	-	-	-	23
	Matkoja vuositasolla (milj.)	-	225	-	-	-	56
	Liikenne alkanut	-	1991	-	-	-	1982
	Viimeisin kalustohankinta / merkittävä investointi	-	2007	-	-	-	2000

3. Johdinauton ominaisuuksia

3.1. Yleisiä johdinauton ominaisuuksia

Johdinauto sijoittuu käyttöominaisuuksiltaan linja-auton ja raitiovaunun väliin. Monissa kaupungeissa, kuten Zürichissä ja Lyonissa on johdinautojen lisäksi raitiovaunuja ja linja-autoja. Johdinautolle on muodostunut ainakin näissä kaupungeissa oma luontainen paikkansa liikennejärjestelmässä. Johdinauto on parhaimmillaan melko tiheän vuorovälin reitillä, tiiviin asutuksen keskellä, mäkisessä maastossa, mutta sitä käytetään myös muun tyyppisessä kaupunkiympäristössä. Kaupunkiliikenteessä johdinauton ehdottomina etuina ovat lähipäästöttömyys ja hiljainen kulku. Suurimpana haittana puolestaan johtimien vaatima infrastruktuuri. Alla olevassa kuvassa on hahmoteltu 24-metrinen johdinauton sijoittuminen liikennejärjestelmään.



Kuva 3. 24-metrinen johdinauton sijoittuminen liikennejärjestelmään (Vossloh Kiepe GmbH).

Johdinautot on rakennettu pääosin suoraan linja-auton runkoon. Viime aikoina on alkanut esiintyä myös eriytyneitä rakenneratkaisuja, kuten yllä olevassa kuvassa. Suurin ero linja-auton ja johdinauton välillä on johtimet. Ne sitovat johdinauton kiinteämmin reitilleen, jolloin linjan reittimuutokset eivät ole yhtä helposti ja vähäisin kustannuksin toteutettavissa kuin linja-autolla. NykYTEKNIKALLA johdinauton on mahdollista kuitenkin kulkea osa matkasta ilman johtimia. Se pienentää liikenteen häiriötilanteiden vaikutusta linjan kulkuun, luo lisämahdollisuuksia reitin suunnitteluun ja helpottaa varikkoliikennettä. Raitioliikenteeseen verrattuna johdinauton on siten mahdollista poiketa helpommin reitiltään, tai väistää edessä olevaa estettä. Se tekee siitä vähemmän häiriöherkän kuin

raitiovaunun ja sen kulku on hiljaisempaa puuttuvan kiskoston takia. Johdinauton kuljetuskapasiteetti on kuitenkin alhaisempi kuin raitiovaunulla, koska 24-metriset kaksiniveljohdinautot ovat pienempiä kuin suurimmat raitiovaunut.

Raitiovaunun ja johdinauton suurin yhteinen tekijä on sähkön käyttö ajoenergiana ja tästä johtuva ajojohdinjärjestelmä. Johdinautolle ei kuitenkaan voi käyttää samoja johtimia raitiovaunujen kanssa. Asiasta on kerrottu tarkemmin luvussa 5 Infrastruktuuri.

Taulukko 3. Bussin, johdinauton ja raitiovaunun ominaisuuksia.

OMINAISUUS	DIESELBUSSI	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
INFRASTRUKTUURI	ei vaadi erillistä	yläpuoliset johtimet ja sähkönsyöttöasemat	yläpuoliset johtimet, sähkönsyöttöasemat, kiskot ja maarakenne
KÄYTTÖVOIMA	diesel	sähkö	sähkö
REITISTÖN MUUNNELTAVUUS		heikohko	huono
KÄYTTÖALUE	kaikkialla	keskusta ja sen ympäristö	keskusta
MELU KADULLE	äänekäs	hiljainen	mahdollista kiskomelua
MELU AJONEUVOSSA	äänekäs	hiljainen	mahdollista kiskomelua
RUNKOÄÄNET	ei	ei	kyllä
PAIKALLISPÄÄSTÖT	kyllä	ei	ei
KULKU	nykivätkö	tasainen	tasainen, ei sivuttaisliikettä
KULJETUSKAPASITEETTI	pienempi kuin johdinautolla	korkeahko	korkea
SOVELTUVUUS MÄKISEEN MAASTOON	hyvä	erinomainen	heikohko
KIIHTYVYYS	hyvä	hyvä	heikompi kuin johdinautolla
KALUSTON KÄYTTÖIKÄ (a)	14 - 15	16 - 20	30 - 40
KALUSTON HINTA (€)	250 000 - 350 000	450 000 - 750 000	2 000 000 - 3 000 000

Apumootorit ja apuvoimanlähteet

Vaikka johdinauton pääasiallisena energialähteenä toimii johtimista saatava sähkö, on kaikissa nykyaikaisissa ajoneuvoissa lisänä jonkinlainen apuvoimanlähde. Sen tarkoituksena on taata ajoneuvon kulku häiriötapauksissa sekä mahdollistaa sen liikkuminen esim. varikkoalueilla. Edullisin ja toimiva apuvoimalähde on pieni dieselmoottori, jonka avulla ajoneuvo saavuttaa tyypillisesti 20 - 30 km/h nopeuden. Esimerkiksi Zürichin johdinautoissa on käytössä pieni dieselmoottori. Apumootoria ei ole tarkoitettu käytettäväksi normaalissa liikennöinnissä.

Kehittyneemmät apuvoimanlähteet ovat ladattavia akkuja. Niillä voidaan myös toteuttaa osa reitistä johtimettomana, kuten Roomassa, jossa johdinauto kulkee osan reitistä nikkeli-metalli-hydridi akkujen voimin. Akusto mahdollistaa johdinauton reitin kulkemisen Rooman historiallinen keskustan läpi, johon ei ollut mahdollista rakentaa pylväitä ja ajojohtoja. Akuston kapasiteetti on mitoitettu niin, että se kestää kolmen kilometrin keskustaosuuden kulkemisen akustolla myös ruuhka-aikana. Shanghaissa on käytössä Roomaa teknisesti edistyneempi johdinautolinja. Siellä ajoneuvon voimanlähteenä toimivat superkondensaattorit. Johdinauto ajaa pysäkkien välit ilman ajojohtoa ja nostaa virroittimen ylös pysäkeillä superkondensaattoreiden latausta varten. Pekingissä on käytössä kokonaan ilman johtimia toimiva sähköbussi, joka rakennettiin olympialaisia varten. Nykyakutekniikka tosin vaatii, että koko auton akusto vaihdetaan valmiiksi ladattuihin akkuihin linjan päätepysäkeillä. Yleisesti voidaan todeta, että mitä kehittyneempää apuvoimatekniikkaa käytetään, sitä korkeammaksi muodostuu kaluston hinta.

3.2. Päästöt ja energian kulutus

Johdinauto on ympäristöystävällinen kulkumuoto varsinkin kaupunkiliikenteessä, sillä se ei tuota ol-
lenkaan lähipäästöjä pyöristä irtoavaa pölyä lukuun ottamatta. Se; kuinka paljon johdinauton käyt-
tämän sähkön tuottaminen tuottaa päästöjä, riippuu sekä sähkön tuotanto- että päästöjenlaskenta-
tavasta, josta on kerrottu tarkemmin liitteessä 3. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että voimalai-
toksissa saadaan sähköä tuotettua paremmalla hyötysuhteella kuin minkään ajoneuvon poltto-
moottorissa. Diesel-bussin, johdinauton ja raitiovaunun päästöjä on vertailtu taulukossa 4. Taulu-
kossa on esitetty kaksi päästöarvoa sähkölle: Helsingin Energian (Helen) ja Suomen markkinasäh-
kön keskiarvon, jossa biomassan osuus sähkötuotannossa on laskettu 12 prosentin mukaan.

Johdinautojen energian kulutuksesta Helsingissä ei ole mahdollista antaa täsmällistä lukua, sillä se
riippuu käytetystä tekniikasta, ajoneuvotiheydestä, verkoston rakenteesta ja muista paikallisista
olosuhteista. Euroopasta saatujen mittaustulosten mukaan yksinivelisen johdinauton energiankulu-
tus on 2,2 - 2,4 kWh/km. Voidaan katsoa perusteltuna käyttää vertailulaskelmissa johdinautolle ar-
voa 2,5 kWh/km, johon ei sisälly mahdollista jarrutusenergian talteenotosta saatavaa hyötyä. Mat-
kustajakohtaiseksi energiankulutukseksi voidaan arvioida noin 0,2 kWh/km. Johdinauton energian-
kulutus on siis hyvin samansuuruinen Helsingin raitiovaunuihin verrattuna.

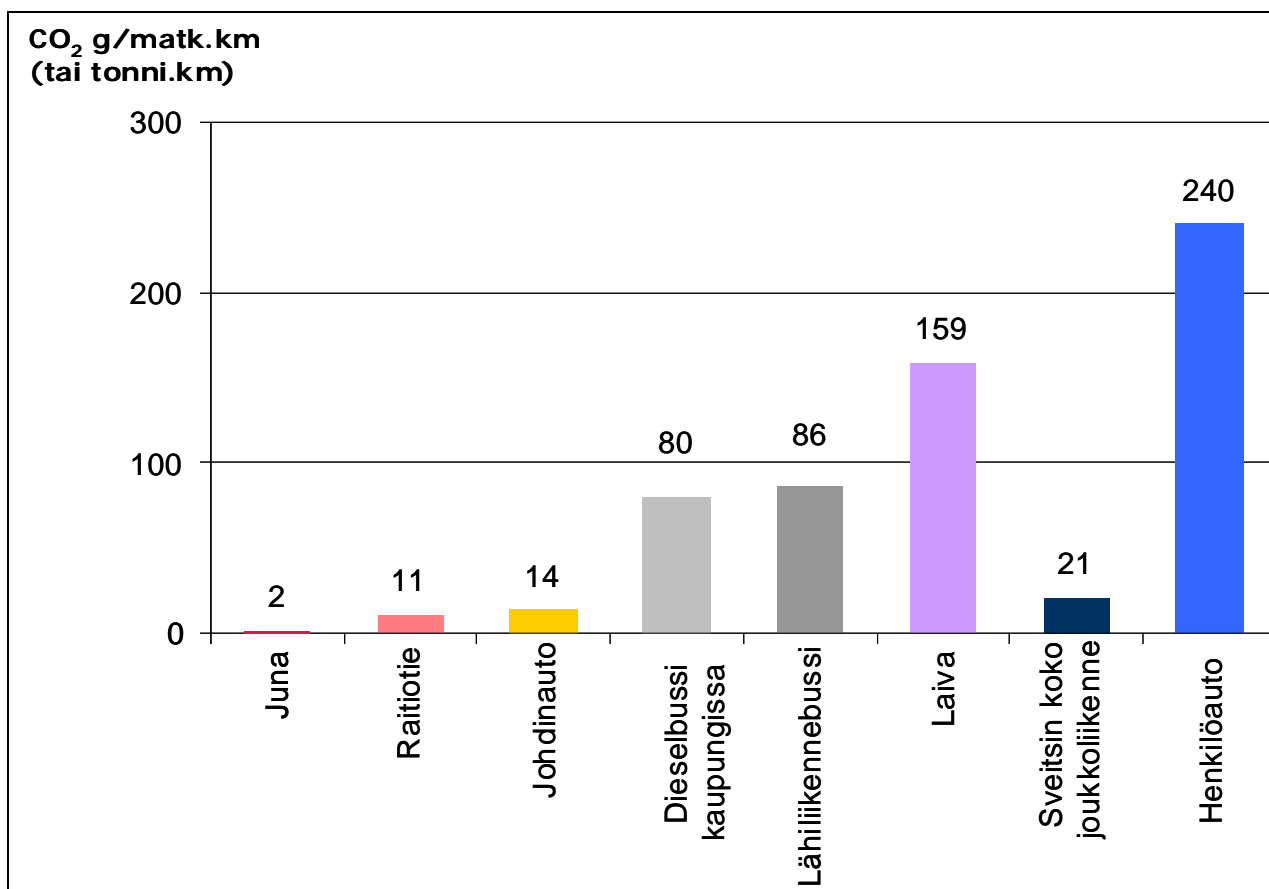
Dieselbussin päästöarvoina on käytetty Helsingissä liikennöivien Euro IV ja EEV-luokan bussien
mitattuja arvoja. Päästöarvot on mitattu VTT:ssä Braunschweig-syklillä, joka kuvaa bussien todelli-
sia päästöjä liikenteessä. Erityisesti typenoksidi- ja partikkelipäästöjen osalta tulee ottaa huomioon,
että dieselbussien päästöille altistuvat kaupunkiympäristössä liikkuvat ihmiset kun taas raitiovaunu-
ja johdinautoliikenteen päästöt kohdentuvat voimalaitoksen ympäristöön. Käytännössä tämä tar-
koittaa, että dieselbussiliikenteen päästöillä on merkittävästi haitallisempi vaikutus.

Taulukko 4. Eri joukkoliikennemuotojen päästöt ja energiankulutukset /18/.

	Bussi	Johdinauto		Raitiovaunu	
	Diesel	Suomen markkina- sähkö 2008	Helsingin energian sähkö 2008	Suomen markkina- sähkö 2008	Helsingin energian sähkö 2008
CO ₂ -tase (g/kWh)	257	131	260	131	260
CO ₂ -tase g/l	2660				
NO _x (g/kWh)	2,5	0,4	0,4	0,4	0,4
PM (g/kWh)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Energiankulutus (kWh/km)	4,5	2,5	2,5	3,0	3,0
Energiankulutus (l/100km)	45				
Energiankulutus (kWh/matk.km)	0,39	0,2	0,2	0,2	0,2
CO ₂ -päästöt (g/matk.km)	101	26	52	26	52

Taulukossa 5 on esitetty Sveitsissä tehty eri liikennemuotojen hiilidioksidivertailu. Laskelmissa ju-
nien energianlähteenä on käytetty 90 prosenttisesti vesivoimalla tuotettua sähköä. Loput 10 pro-
senttia on Sveitsin markkinasähköä, jolloin junien käyttämän sähkön hiilidioksiditase on 12 g/kWh.
Raitiovaunuille ja johdinautoille hiilidioksidipäästöt on laskettu Sveitsin keskimääräisen sähköntuo-
tannon hiilidioksiditaseen 120 g/kWh mukaan. Dieselille on käytetty laskelmissa arvoa 2,6 kg hiili-
dioksidia/polttoainelitra. Laskelmissa on käytetty vuoden 2004 arvoja, jolloin dieselbussin ero joh-
dinautoon on noin viisinkertainen. Mikäli Helsinkiin tulisi johdinauto, jäisivät erot pienemmiksi die-
selbussien parantuneen hyötysuhteen ja vähemmän vesivoimaa hyödyntävän sähköntuotannon
takia. Taulukko antaa silti hyvän kuvan hiilidioksidipäästöjen eroista eri liikennemuodoilla.

Taulukko 5. Sveitsin eri liikennemuotojen CO₂-päästöjen vertailu vuodelta 2004 /14/.



4. Kalusto

4.1. Kaluston valmistajia

Johdinauton kori on varsin samankaltainen bussin korin kanssa, joten runko tilataan yleensä perinteisiltä linja-auton valmistajilta. Viime aikoina on havaittavissa johdinauton korin eriytymistä linja-auton korista. Sähköjärjestelmän toimittaja valitaan yleensä tapauskohtaisesti. Alla on esitetty viimeaikaisia kalustontoimittajia, mistä on nähtävissä, että toimittajia on useita. Tällä hetkellä on havaittavissa vakiintuvia kalustontoimittajia ja sähköjärjestelmien toimittajaliittoumia sekä johdinauto-tekniikan eriytymistä perinteisestä bussitekniikasta.

Solaris Bus&Coach + Cegelec (Salzburg 2009)
Ganz Solaris + Trollino 12 (Landskrona 2004)
Neoplan + Vossloh Kiepe (Bergen)
Škoda & Ganz + Irisbus Iveco (Riika 2009)
Hess + Vossloh Kiepe (Zürichin ja Solingenin uusimmat)
Volvo + Sunwin (Shanghai superkondensaattorijohdinautot)
MAN + Kiepe
Irisbus + Alstom (malli Cristalis, Lyonin uusimmat, kts. kuva 4)
Van Hool + Kiepe (Salzburgin edellinen sarja)
Mercedes + Kiepe (Bergen, 2 kpl)
VDL Berkhof + Alstom
Karosa + Škoda

Merkittävimmät valmistajat Euroopassa ovat tällä hetkellä:

Solaris + Cegelec
Hess + Vossloh-Kiepe
Škoda (+Ganz)
Iveco + Alstom

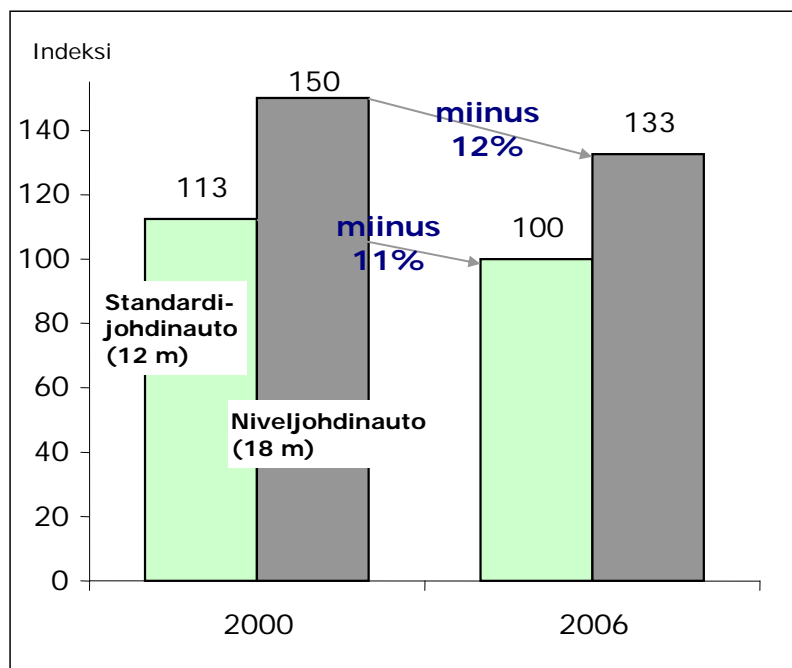
Kiinasta ja Venäjältä löytyy myös kiinnostavia uusia kaluston valmistajia, joiden markkinavaltuudesta kannattaa seurata. Kiinalaiset mm. toimittavat Teheraniin useamman sadan auton sarjan.



Kuva 4 Lyonin johdinauto /15/.

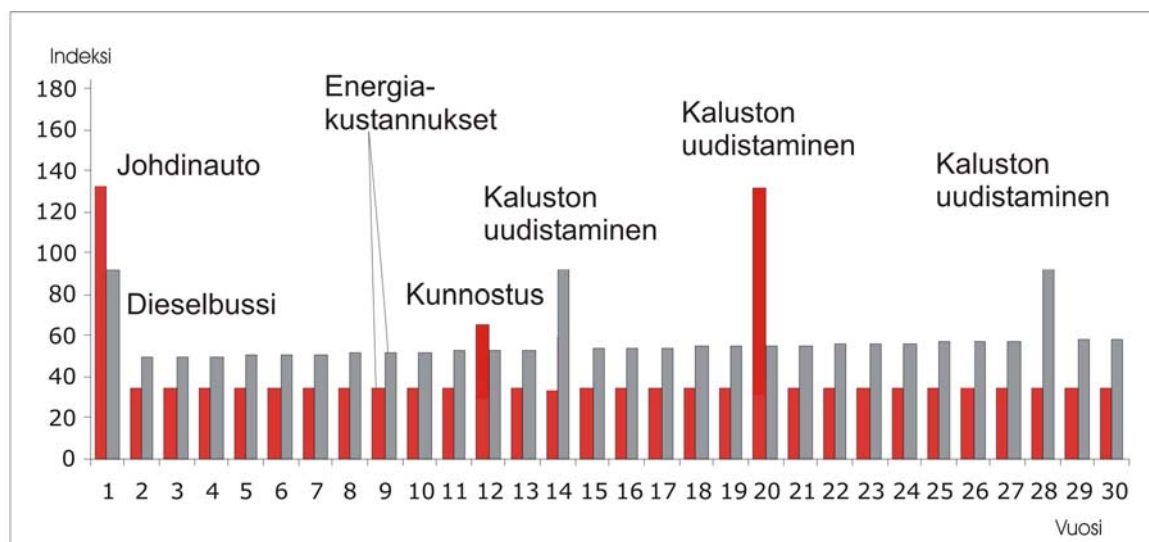
4.2. Kaluston investointi- ja ylläpitokustannukset

Johdinautojen hankintakustannukset ovat laskeneet 2000-luvulla yli kymmenen prosenttia. Syitä tähän kehitykseen ovat lisääntynyt kysyntä ja sitä myötä parantunut tuotantotehokkuus sekä kilpailutuksen parantuminen. Hintahaitari on silti vielä varsin suuri, hinta vaihtelee 450 000 – 750 000 euron välillä (alv 0%) (Dieselnivelbussi 300 000 – 350 000€). 750 000 eurolla saa 24-metrinen kaksiniveljohdinauton. Edellytys todelliselle sarjatuotannolle vaatisi yleistä standardisointia sekä yhdenmukaisempia varustelutasovaatimuksia /17/. Alla oleva kuva esittää hintatason muutosta.



Kuva 5. Johdinautojen hankintahintakehitys /17/.

Alla olevasta kuvasta on nähtävissä, että johdinauton kaluston investointikustannukset ovat bussia korkeammat. Tämä johtuu pääosin johdinautojen dieselbusseja pienemmistä valmistussarjoista. Kustannusero kuitenkin tasoittuu käyttövuosien aikana, sillä johdinauton liikennöintikustannukset ovat dieselbussia edullisemmat ja kalusto pitkäikäisempää. Moottorin tärinä aiheuttaa rasitusta ajoneuvon runkoon ja lyhentää näin dieselbussin rungon käyttöikää verrattuna johdinauton runkoon.



Kuva 6 Johdinauton ja dieselbussin vuosikustannusindeksivertailu /13/ muokattu.

Markkinoiden vilkastumisen seurauksena ja kaluston voimakkaan uudistamisen myötä on syntynyt myös jälkimarkkinat, joilla erinomaisessa kunnossa olevaa kalustoa liikkuu alle puolella uushinnasta.

4.3. Kaluston soveltuvuus Helsingin olosuhteisiin

Kalustosta saatujen kokemusten perusteella ei ole nähtävissä esteitä tarjolla olevan kaluston käyttökelpoisuudelle Helsingin olosuhteisiin. Talvi tuo mukanaan tiettyjä haasteita, kuten liikkeelle lähdön pysäkeiltä (busseilla sama ongelma), mutta tämäkin ongelma on ratkaistavissa eikä näin ollen estä johdinautojen soveltumista Helsingin ilmastoon. Niillä johdinautoilla, joilla on useampi vetävä akseli, ei ole ongelmia liikkeelle lähdössä talvella.



Kuva 7. Zürichin 24-metrinen kaksinivelinen johdinauto (R. Mättö, 2008).

5. Johdinautojen vaatima infrastruktuuri

Johdinautojen vaatima infrastruktuuri on pääasiassa sama kuin bussien vaatima infrastruktuuri lisättyinä siihen yläpuoliset ajojohdot. Vaikka johdinautolla ajettaisiin osin yhteisiä reittejä raitiovaunun kanssa, tulee johdinautolle kuitenkin rakentaa oma ajojohdosto. Osin tämä johtuu rakenneteknisistä syistä, koska johdinautolla on kaksi ajolankaa ja raitiovaunulla vain yksi. Raitiovaunulla kiskot toimivat paluujohtimena. Suurimmat syyt ovat kuitenkin sähköturvallisuuden vaatimassa paluuvirran valvonnassa ja eri ajoneuvojen kulkulogiikan toteuttamisen vaikeudessa. Ajolankojen kulkeminen rinnakkain tai niiden risteäminen ei kuitenkaan ole ongelma. Harvemmin liikennöidyillä alueilla voidaan johdinauton ajojohto rakentaa yksiraiteisen rautatien periaatteella, mikä luonnollisesti pienentää kustannuksia hieman.



Kuva 8. Johdinauto ja raitiovaunu Zürichissä (A. Schuchmann 2008).

Johdinautoille ja raitiovaunulle on mahdollista suurimmalta osin hyödyntää yhteisiä sähkönsyöttöasemia (tasavirta), alussa mahdollisesti jopa vain vähäisillä laajennusinvestoinneilla. Linjalähdöt tulee johdinautolle ja raitiotielle kuitenkin tehdä erillisiksi (yllä mainitusta paluuvirran valvontaan liittyvästä syystä). Johdinautoliikenne ei tarvitse kiskoliikenteelle välttämätöntä turvalaitejärjestelmää. Ainoastaan vaihdekujat saattavat vaatia joitakin turvalaiterakennelmia.

Tasavirtasyöttöasemat ovat perusrakenteeltaan yhdenmukaiset raitiotien kanssa. Tehovaatimukset ovat kuitenkin lähes puolta pienemmät. Alkuvaiheessa saattaa olla mahdollista tulla toimeen ilman uusia erillisiä syöttöasemia. Erityisesti jos hyödynnetään kiinteitä superkondensaattoripuskureita jännitteen stabilointiin ja ajoneuvoissakin on superkondensaattoritekniikka jarrutusenergian paikallista talteenottoa ja jälleenkäyttöä varten.

Johdinautojen sähkönsyöttöjärjestelmäksi lienee muodostumassa 750 V tasavirta (järjestelmiä on käytössä 600 VDC – 1 000 VDC). Niiden rakenne on pääosin samantyyppinen kuin raitiotiellä. HKL on parhaillaan siirtymässä raitiotieliikenteessä 600 V jännitetasosta 750 V jännitetasoon.

Syöttökaapeleiden määrä ja pituus riippuu täysin järjestelmätopografiasta. Parhaimmillaan ne ovat vain muutamia kymmeniä metrejä ja rajoittuvat pituudeltaan joka tapauksessa (matalan jännitetasen ja siitä seuraavien suurten virtojen takia) muutamiin satoihin metreihin. Niiden sijoittelussa on erityisesti otettava huomioon tasavirran aiheuttamat magneettikentät. Keski-Euroopassa ajolankojen tyypillinen korkeus (kadun pinnasta) on 5 500 mm. Mitä korkeammalle ajolangat voidaan sijoittaa, sitä parempi se on erityisesti korkeiden kuljetusten kannalta. Toisaalta ajolangan korkeus vähentää johdinauton liikkumisvaraa sivulle, joka on noin 4 metriä.

Kaksisuuntainen ajojohto koostuu neljästä kuparisesta ajolangasta, joiden tukirakenteet ovat suurelta osin yhteisiä. Kun käytössä on useita johdinautolinjoja, jotka osin käyttävät yhteisiä reittiosia eli samoja ajojohtoja, tarvitaan vaihteita. Näitä on sekä mekaanisia, joita siis ei voi vapaasti ohjata ja sähköisiä, jotka voidaan ohjata kyseisen reitin mukaisiksi. Johdinautovaihteet poikkeavat teknikkaltaan muiden ajojohtimia käyttävien liikennevälineiden tekniikasta, mutta ohjaustekniikat ovat samantapaisia raitioteillä käytetyn tekniikan kanssa.



Kuva 9. Ajojohtoja (R. Mättö 2008)

6. Varikko

6.1. Johdinautovarikko

Johdinautot tarvitsevat huoltoa ja säilytystä varten varikon, kuten muutkin liikennevälineet. Tähän raporttiin tietous johdinautovarikoista on peräisin vierailusta Zürichin keskusvarikolla Luggwegstrassella ja keskustelusta sähköosaston johtajan Roger Fischin kanssa, vierailusta Zürichin johdinautovarikolla Hardaussa ja keskustelusta siellä varikkoinsinööri Ulrich Rothin kanssa, sekä vierailusta Salzburgin päävarikolla ja keskustelusta siellä sähköosaston johtajan Mattis Schindlerin kanssa. Tässä kohdassa on keskitytty johdinautojen vaatimiin erikoisvaatimuksiin, jotka poikkeavat bussi- ja raitiovaunuvarikoista.

Johdinautovarikoiden näkyvin ero bussivarikkoon ovat ajojohdot. Ajovalmistelualueella on oltava ajojohdot, vaikka ajoneuvoissa olisi apumoottori. Tämä johtuu siitä, että johdinautojen on saatava energiaa mm. jarrujärjestelmän paineita varten ennen ajoon lähtöä. Näitä latauspaikkoja on oltava useita. Hyvin suunnitellussa varikossa seisontatila on niin laaja, että johdinautot pystyvät ajamaan sen ympäri, jolloin erillistä vaiheistusta ei tarvita. Yöllä varikolla sähköt ovat katkaistuna turvallisuussyistä. Kunnossapitoon, huoltoon, ajovalmisteluun ja säilytykseen liittyvät tilat, rakenteet ja varusteet ovat:

- o Kunnossapitovarikko ja pienhuoltovarusteet,
- o Sähköjärjestelmän huolto ja tarkistus
- o Seisontatila
- o Alustan pesutila.

Kunnossapitovarikko ja pienet huoltotilat ovat luonteeltaan raitiotievarikon kaltainen sähkö- ja mekaaninen varikko. Uudemmassa johdinautokalustossa sähköjärjestelmät on suurimmalta osin sijoitettu katolle, jolloin tarvitaan myös huoltoa varten taso (voi olla liikuteltava), jotta katolle pääsy on mahdollista (kuten raitiovaunukalustolle). Se pitää sähköturvallisuuden vuoksi varustaa erityisellä lukitusjärjestelmällä. Johdinautojen kunnossapito on sitä helpompaa mitä vähemmän erilaisia malleja on käytössä.

Sähköjärjestelmän huolto ja tarkistus tehdään 7 000 ajoneuvokilometrin välein kuivassa tilassa ja 15 000 ajoneuvokilometrin välein pesun yhteydessä (tarkoituksena varmistaa järjestelmän toimivuus myös märissä olosuhteissa).

Seisontatila

Johdinautot tarvitsevat vähintään katon seisontasuojaansa (mieluiten myös seinät), suojaamaan ajoneuvon katolla olevaa sähkölaitteistoa. Seisontatilassa on oltava ajojohdot, jotta johdinauto voidaan valmistella ajoon. Zürichissä tähän on varattu keskimäärin 15 min./ajoneuvo.

Alustan pesu

Jokapäiväinen pesu hoidetaan automaattisella pesulinjalla. Kerran vuodessa tehtävälle alustan pesulle tarvitaan erityispaikka. Se tapahtuu joko montusta tai nostamalla ajoneuvo riittävän korkealle, jolloin ajojohdot täytyy hoitaa pois tieltä sopivalla tavalla.

6.2. Helsingissä olevien varikoiden soveltuvuus johdinautoille

Helsingissä on valmiita varikoita busseille, raitiovaunuille ja metroille. Yksikään olemassa oleva varikko ei sovellu nykyvarustukseltaan täysin johdinautoille, vaan ne vaatisivat muutoksia sitä varten. Tämän projektin yhteydessä käytiin tutkimassa tarkemmin kahden varikon soveltuvuus johdinautovarikoksi. Kohdevarikoiksi valittiin Töölön raitiovaunuvarikko ja Ruskeasuon bussivarikko, joiden li-

säksi selvitettiin karkeammalla tasolla myös Koskelan varikkoa. Tarvittavan huoltotilan määräksi arvioitiin yksi huoltopaikka kymmentä johdinautoa kohden.

Kustannuksia varikon muuttamisesta johdinautovarikoksi on vaikea arvioida. Zürichin ja Salzburgin arvioiden mukaan bussivarikon muuttaminen 20 johdinautoille sopivaksi maksaa noin 300 000 euroa. Tähän ei ole laskettu mukaan isompia rakenteellisia muutoksia, vain johtimet ja tarvittava huoltokalusto. Todellisuudessa rakenteellisten kustannusten johdosta kokonaiskustannukset muodostuisivat oletettavasti selvästi suuremmiksi. Varikon osalta kustannusarviota tulee tarkentaa jatkosuunnittelun yhteydessä.

Töölön varikko

Töölön varikko toimii tällä hetkellä raitiovaunujen huoltovarikkona ja yösäilytystilana. Aikaisemmin se on toiminut myös johdinautojen varikkona. Varikolla on tällä hetkellä valmiudet tehdä ajovalmistelut, tarvittavat sisätilojen siivoukset, vaunun ulkoseinien pesu sekä pienempiä korjaus- ja huolto-toimia, niin katolle kuin alustaan. Varikolla alkaa remontti pohjamonttujen pidentämiseksi, jotta myös 30 metristen raitiovaunujen huoltaminen on mahdollista. Varikolle mahtuu samanaikaisesti yön yli säilytykseen 32 raitiovaunua.

Töölön varikko on historiallisesti suojeltu rakennus ja sen ympäristö on rakennettu täyteen. Nämä tekijät rajoittavat sen muuttamista johdinautovarikoksi. Kolmesta hallista koostuvan varikon ovista vain yhden hallin ovet ovat tarpeeksi leveät johdinautolle. Kyseisessä hallissa on ovet molemmissa päissä, mikä mahdollistaisi johdinautojen ajamisen ulos varikolta ilman peruuttamista. Hallissa on lisäksi huoltomonttu, joka mahdollistaisi alustan huollon, mutta katolla olevien sähkölaitteiden huoltoa varten olisi hankittava siihen soveltuva taso. Myös ajolangat olisi muutettava johdinautoille sopiviksi.

Töölön varikko voisi siis toimia vain hyvin pieneltä osin johdinautojen varikkona, yli kuuden ajoneuvon säilytystä ja isompia huoltotöitä varten olisi oltava toinen johdinautoille soveltuva varikko.

Ruskeasuon varikko

Ruskeasuon varikko toimii diesel- ja maakaasubussien varikkona. Varikko on remontoitu täydellisesti vuonna 2007. Ruskeasuon varikolla on mahdollista tehdä kaikki tarvittavat huolto- ja korjaus-toimet. Varikkorakennus on tarpeeksi korkea johdinten vetämistä varten ja varikolla on liikuteltavia tasoja, joilla pääsee kaluston katolle.

Varikko on suunniteltu 14,5-metrisele kalustolle, mikä asettaa haasteita johdinautojen suhteen. Helsingissä mahdollisesti kyseeseen tulevat johdinautot olisivat todennäköisesti vähintään 18-metrisiä, mikä vaatisi varikolla seinien ja hyllyjen siirtämistä, jotta johdinautoja olisi mahdollista huoltaa siellä. Toisena vaihtoehtona olisi muuttaa maakaasukalustolle tarkoitettu varikon osa johdinautoille, olettaen että maakaasubusseista luovuttaisiin. Se vaatisi muutaman metrin lisärakentamisen varikon pohjoispuolelle, jotta johdinautot mahtuisivat kunnolla sisään halliin. Maakaasubussien tilaa hyödyntämällä olisi johtimet helposti erotettavissa dieselbussien huoltotiloista, mikä olisi eduksi yleisen sähköturvallisuuden kannalta.

Ruskeasuon varikolla autot säilytetään ulkona. Johdinautot vaativat kuitenkin säilytystä varten katon. Osa säilytyskentästä olisi siis katettava ja johdotettava johdinautoja varten.

Mikäli johdinautot sijoitettaisiin Ruskeasuon varikolle, tulisi ainakin seuraavat asiat huomioida:

- Johtimet ja sähköjärjestelmän rakentaminen (mahdollisesti myös ts-syöttöasema)
- Ulkosäilytystilan kattaminen
- Varikkotilan pidennys/uudelleen järjestely
- Henkilöstön koulutus.

Ruskeasuon varikko olisi muutettavissa tarvittavilta osin johdinautovarikoksi, jos edellä mainitut muutokset tehdään. Se on tosin tällä hetkellä erittäin toimiva ja 14,5 metrisille busseille suunniteltu varikko.

Koskelan varikko

Koskelan varikolta liikennöidään tällä hetkellä noin 80 Helsingin Bussiliikenne Oy:n bussia. Henkilökuntaa HelB:llä on Koskelassa noin 200. Bussivarikon muita vuokralaisia ovat Karting-centerin mikroautorata, Terveystieteiden sairaankuljetusyksikkö noin 20 pikkubussilla, sekä yksityinen auto-korjaamo.

Varikkotontin omistaa Kiinteistövirasto ja sitä hallinnoi HKL, joka vuokraa tilat toimijoille. Vuonna 1952 valmistunut varikkorakennus on suojeltu rakennusteknisten ratkaisujensa takia. Karting-centerin vuokrasopimus on voimassa vuoteen 2016, mikäli kumpikaan osapuoli ei sen jälkeen irtisano sopimusta, jatkuu se aina vuoden lisäsopimuksella. Sopimuksessa on kuitenkin todettu, että HKL:llä on oikeus irtisanoa sopimus 1.1.2012 vuoden irtisanomisaikalla, mikäli ”alueen maankäyttö laadittavassa uudessa asemakaavassa muuttuu sillä tavoin, ettei kaupunki pidä sopimuksessa tarjottua nykyistä käyttöä alueella enää jatkossa perusteltuna”.

HelB:n bussien säilytys ja henkilöautojen pysäköinti ovat pihalla. Sairaankuljetusautojen säilytys, bussien pesu, huolto ja korjaus, HelB:n henkilökunnan ja työnjohdon tilat, henkilöautojen korjaus-toiminta, sairaankuljetusyksikön toimistotilat sekä Karting-toiminta ovat sisätiloissa.

Varikon välittömässä läheisyydessä Valtimotien toisella puolella sijaitsee asuintaloja. Bussien käynnistäminen talvella aiheuttaa joskus pakokaasupäästöjen muodostumista, josta lähitalojen asukkaat ovat valittaneet. Myös bussien melu koetaan häiritseväksi.

Jos bussivarikko otetaan kokonaan joukkoliikennekäyttöön, sen kapasiteetti nousee 100 - 120 bussiin, joista useita kymmeniä voidaan säilyttää nykyisissä sisätiloissa.

Koskelan varikon muuttamista johdinautovarikoksi puoltavat seuraavat näkökohdat:

- Diesel-bussien ympäristöhaittojen poistuminen tai vähentyminen
- Mahdollisuus johdinautojen säilyttämiseen osittain jo rakennetuissa sisätiloissa
- Varikon sijainti liikennöinnin kannalta suotuisasti kantakaupungin pohjoisosassa
- Samalla tontilla sijaitseva raitiotievarikko, joka mahdollistaa yhteistyön sähkölaitteiden huolto- ja korjaustoiminnassa
- Korjaamopaikkojen pituus mahdollistaa nivelautojen korjaamisen.

Selvitettäviä tai johdinautokäytön kannalta kielteisiä tai lisäkustannuksia aiheuttavia seikkoja ovat:

- Tarvitaan korvaavat tilat bussivarikolle, sairaankuljetusvarikolle, autokorjaamolle ja Karting-centerille
- Varikko voi olla liian suuri, jos johdinautoliikenteen laajuus jää pieneksi
- Osalle johdinautoista pitää rakentaa katollinen suoja varikkopihalle
- Suojelun aiheuttamat rajoitukset muutostöille (epätodennäköisiä)
- Huono ajoyhteys raitiotievarikolle maaston korkeuserojen takia.

7. Järjestelmänäkökulma ja toteutettavuus Helsingissä

7.1. Järjestelmänäkökulma Helsingissä

Helsingin joukkoliikenne perustuu tällä hetkellä bussi-, raitiotie- ja metroverkostoon. Järjestelmä toimii nykyisellään varsin hyvin, mutta johdinauto on sijoitettavissa Helsingin järjestelmään luontevasti näin haluttaessa, kuten eurooppalaiset johdinautokaupungit osoittavat. Raitiovaunukaluston koko on kasvamassa Helsingissä. Tällä hetkellä valtaosa vaunuista on 20-metrisiä, joiden lisäksi on käytössä 40 kappaletta uudempia 24-metrisiä matalalattiaraitiovaunuja. Vuosina 2009 - 2010 asennetaan 42 20-metriseen raitiovaunuun 6,5 metriä pitkä matalalattainen välipala, jolloin vaunut pitenevät 26,5 metrisiksi. Vanhoista 20-metrisistä vaunuista suurin osa poistuu 2010-luvun alku-puolella, jolloin käyttöön tulee uusia 27,5 - 30-metrisiä vaunuja. Raitiovaunujen kokoluokka on siis kasvamassa olennaisesti bussia suuremmaksi. Pienikysyntäisillä raitiolinjoilla vaunujen kasvava koko heikentää liikenteen taloudellisuutta (tai palvelutasoa, mikäli vuoroväliä vastaavasti harvennetaan). Johdinautolle voisi Helsingin joukkoliikennejärjestelmässä luontevasti löytyä oma osansa, jossa se korvaisi joitakin bussilinjoja ja pienempiä raitiolinjoja toimien samalla ympäristöystävällisesti ja taloudellisesti tehokkaasti.

Helsingin kantakaupungin alueen sisällä liikennöidään nykyisin bussilinjoja 14, 15, 18, 23, 24, 53 ja 55, joiden yhteinen kalustotarve on noin 40 ajoneuvoa. Jos johdinautojen tarvitsemien ajojohtimien verkko rajoittuisi tälle kaupunkimaisimmalle alueelle, voitaisiin näiden linjojen liikenne hoitaa johdinautoilla, joissa apumootoriksi riittäisi pieni dieselmoottori. Tällöin siirtymämatkat (päätepysäkiltä varikolle) jäisivät sen verran lyhyiksi, ettei tehokkaampaa apuvoiman lähdettä tarvita.

Jotta johdinautoliikenne muodostaisi kustannustehokkaan joukkoliikennemuodon, voidaan sen tavoitteellisena kokona pitää yhden keskikokoisen bussivarikon noin 80 - 120 vaunun liikennettä. Tätä pienempään vaunumäärään mentäessä kiinteät kustannukset alkavat kasvaa suhteellisesti melko suuriksi. Eurooppalaisista vertailukaupungeista Solingenissa johdinautojen kokonaismäärä on 49, Zurichissa 85 ja Lyonissa 120 ajoneuvoa.

Näin ollen tarkoituksenmukaisen johdinautojärjestelmän perustaminen edellyttäisi yllä mainittujen kuuden bussilinjan muuttamista johdinautolinjoiksi. Tämän lisäksi tulisi toteuttaa yksi tai useampia seuraavista toimenpiteistä, jotta järjestelmästä tulisi riittävän laaja:

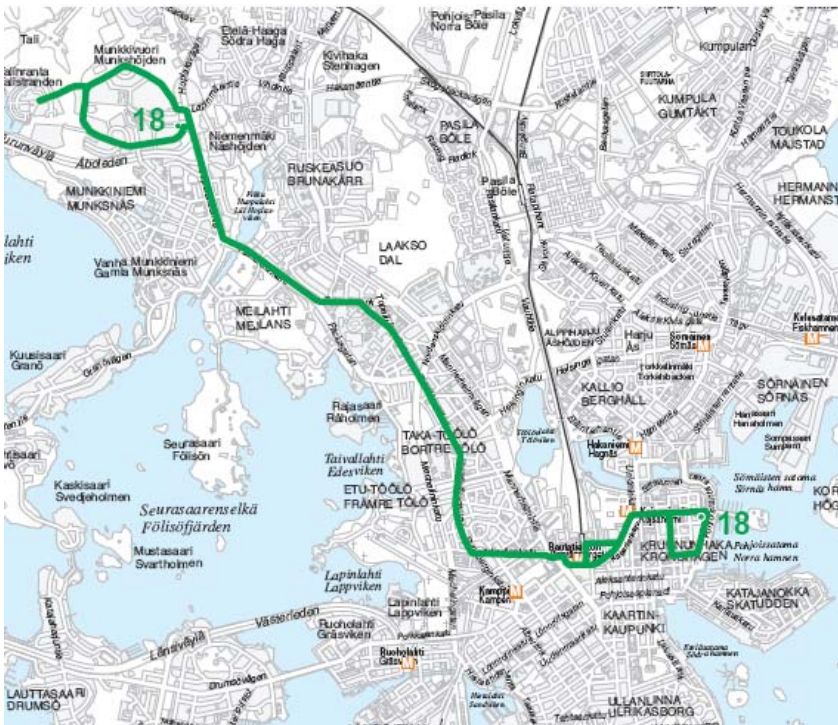
- Johdinautolinjojen jatkaminen esikaupunkeihin tehokkaan apuvoimalähteen omaavilla johdinautoilla, jolloin ajojohtimien rakennustarve pienenee
- Johdinautolinjojen jatkaminen esikaupunkeihin laajentamalla ajojohdinverkostoa
- Pienikysyntäisten raitiolinjojen muuttaminen johdinautolinjoiksi.

Tässä työssä on tutkittu esimerkkeinä kolmen eri bussilinjan ja yhden raitiolinjan muuttamista johdinautolinjoiksi, niin järjestelmän, liiketaloudelliselta kuin yhteiskuntataloudelliseltakin kannalta. Yllä esitetyn laajan johdinautojärjestelmän perustamisen kannattavuuden tutkiminen edellyttää tätä toteutettavuusselvitystä selvästi tarkempaa ja laajempaa tutkimista

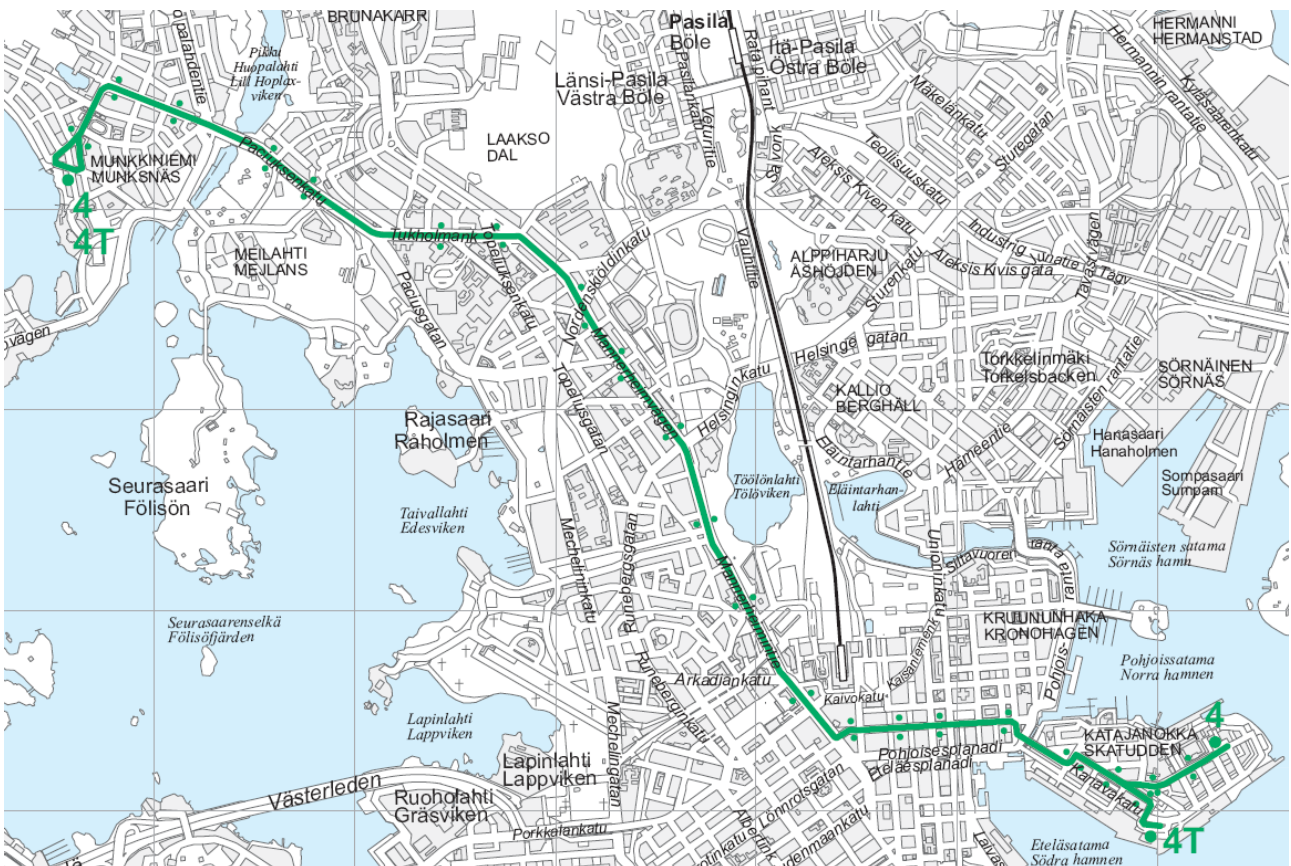
7.2. Tutkitut linjavaihtoehdot

Työssä selvitettiin neljän erityyppisen linjan liikennöimistä johdinautolla. Jokaisesta linjatyypistä valittiin nykyinen bussilinja/suunnitteilla oleva linja esimerkkitapaukseksi laskelmien pohjaksi. Työhön valittiin seuraavat linjat (reittikartat kuvissa 10 - 13):

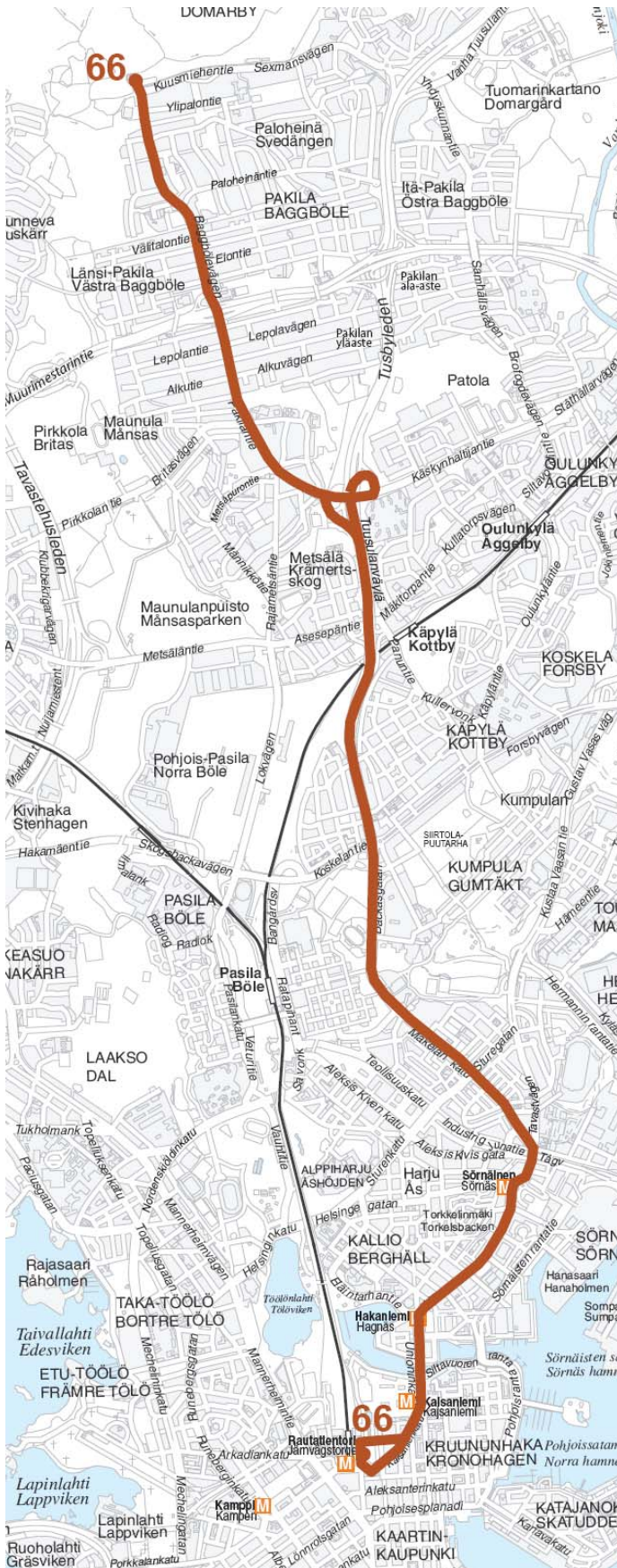
Keskustaan suuntautuva lyhyt linja, reitti 18 (Kruununuhaka – Munkkivuori)
Keskustaan suuntautuva pitkä säteittäislinja, reitti 66 (Rautatientori - Länsi-Pakila)
Poikittaisliikenteen runkolinja, reitti Jokeri 2 (Vuosaari – Myyrmäki)
Keskustaan suuntautuva raitiotielinja, reitti 4 (Munkkiniemi – Katajanokka)



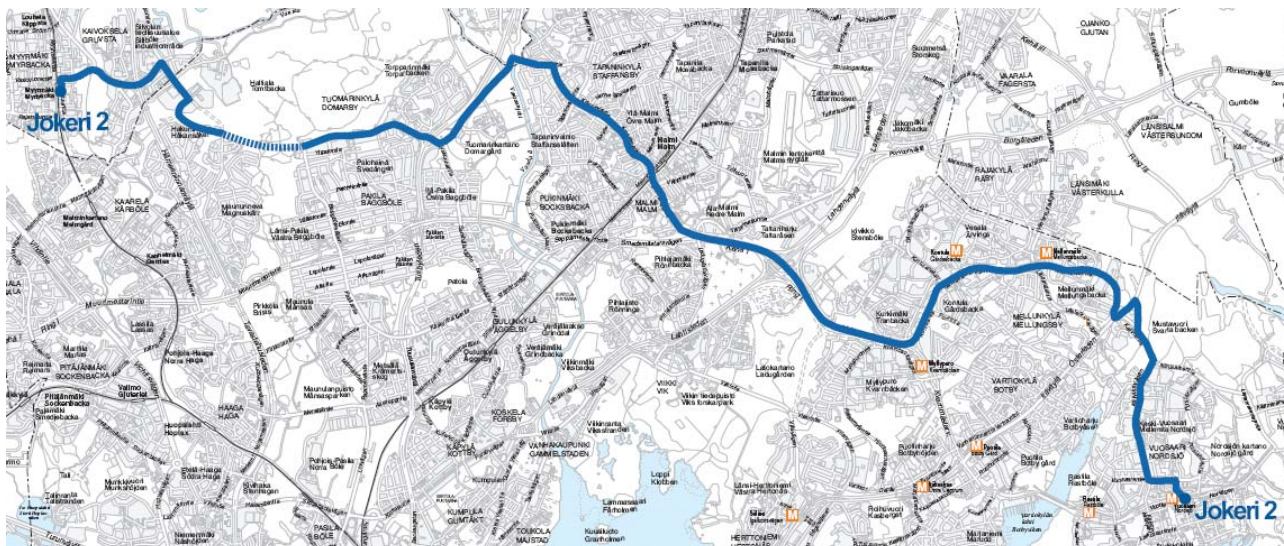
Kuva 10. Linja 18 reittikartta.



Kuva 11. Linja 4 reittikartta.



Kuva 12. Linja 66 reittikartta



Kuva 13 Jokeri 2:n suunniteltu reitti

7.3. Havaintoja linjatarkastelussa

Linjojen muuttamista johdinautoilla liikennöitäviksi pohdittiin tilaajan ja konsultin yhteisessä työpajassa. Työpajassa tuli esille seuraavia asioita:

Kalusto

Kalustossa on oltava niin hyvä vaihtoehtoinen energianlähde, että se pystyy kulkemaan ilman johdintista saatavaa virtaa muuta liikennettä hidastamatta muutamia kilometrejä varikolle. Tarvittaessa varakalustona voisi mahdollisesti toimia myös dieselbussi. Esimerkiksi 200 kW dieselmootorilla varustetulla johdinautolla (bimode bus) ajonopeus on 60 - 80 km/h rakenteesta ja kuormauksesta riippuen. Ajoneuvoa voidaan siis käyttää sekä perinteisenä dieselbussina että johdinautona.

Vaihtoehtoinen virtalähde

Superkondensaattori (ks. HKL:n julkaisu D: 3/2009 Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvitys - Liitemuistio johdinauton ja sähköntuotannon tulevaisuuden näkymistä) apuvoimalähteenä mahdollistaisi johdinauton kulkemisen muun liikenteen mukana ilman yhteyttä ajojohtoihin. Superkondensaattorien kehitys on ollut todella nopeaa viime aikoina, joten hintojen voi olettaa laskevan. Superkondensaattori apuvoimalähteenä tarvitsee tuekseen pienen apumootorin varsinaiseen energian tuottamiseen. Superkondensaattorin käyttö saattaa vähentää tarvittavien syöttöasemien määrää.

Syöttöasemat

Syöttöasemia tarvitaan noin yksi kappale kolmea linjakilometriä kohden. Ydinkeskustassa nykyisillä raitiovaunujen syöttöasemilla riittää tehoa myös johdinautoja varten, mutta erilliset linjalähdöt vaativat joillakin syöttöasemilla huomattavia muutostöitä. Johdinautolinjat vaatisivat uusien syöttöasemien rakentamisen alueilla, jotka ovat yli 500 m nykyisen raitiovaunuverkoston ulkopuolella.

Infrastrukturi

Johdinautojen on mahdollista käyttää samoja ajojohtojen kiinnikkeitä raitiovaunujen kanssa, mutta johdinauto ei yleensä voi käyttää samoja väyliä raitiovaunujen kanssa (esim. Mannerheimintie) seuraavista syistä:

- Nykyiset raitioliikenneväylät ovat pääsääntöisesti liian kapeita johdinautolle
- Johdinauton renkaat kuljettavat hiekkaa kiskovaihteisiin
- Pysäkkien profiilissa olisi luultavasti ongelmia.

Linjastokohtaiset haasteet ja huomiot

Linjat 18 ja 66 kulkevat useiden vilkkaiden liittymien läpi Helsingin keskustassa. Toteutettavuuden kannalta olisi järkevää, jos linjat voisivat ajaa näiden kohtien yli ilman yhteyttä ajojohtoihin. Irtautuminen ajolankoihin ja uudelleenliittyminen olisi tehtävä liittymien läheisillä pysäkeillä automatiikan avulla. Linjalla 66 on lyhyt osuus Tuusulanväylällä. Tämä osuus ei koske linjaa 65, jonka reitti muuten myötäilee linjaa 66. Johdinautojen nykytekniikalla maksiminopeus on 65 - 70 km/h, mikä on liian hidas Tuusulanväylällä. Johdinauton maksiminopeuden nostaminen on mahdollista, mutta se nostaa huomattavasti kustannuksia. Jokeri 2 vaatisi kokonaan uuden johdinautovarikon, koska nykyiset varikot sijaitsevat hyvin kaukana sen reitiltä.

Linjalla 18 voisi halutessa jatkaa Kruunuvuoren rantaan asti. Mikäli kaikki Kruunuvuoren sillalle suunnitellut joukkoliikennetytydet toteutettaisiin johdinautoliikenteenä, suunniteltu joukkoliikennesilta olisi mahdollista toteuttaa ilman kiskoja ja mahdollisesti myös ilman johtimia (riippuen käytetyn apuvoimalähteen tehosta). Tämä alentaisi sillan rakentamiskustannuksia ja tekisi sen arkkitehtoonisesta toteutettavuudesta helpomman. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että Kruunuvuoren silta-tyhteydellä varaudutaan mahdolliseen myöhemmin toteutettavaan Santahaminan pikaraitiotiehen. Johdinauto ei kuljetuskapasiteetiltaan vastaa pikaraitiotietä.



Kuva 14. Johdinauto Zürichissä (Steiner 2008).

8. Kustannuslaskelmat

8.1. Laskelmien lähtötiedot

Dieselbussien, johdinautojen ja raitiovaunun liikenteenhoitokustannuksien eroja on havainnollistettu vertailemalla näitä jo edellä mainituilla neljällä linjalla, jotka ovat:

18 Kruununuhaka – Munkkivuori
66 Rautatientori – Länsi-Pakila
Jokeri 2, Vuosaari – Myyrmäki
4 Katajanokka – Munkkiniemi.

Dieselbussille on tehty kaksi vertailua, pienempikapasiteetiselle diesel-telibussille ja isompikapasiteetiselle, johdinautoa vastaavalle, diesel-nivelbussille. Telibussin kapasiteettina on pidetty 71, nivelbussin 84 ja raitiovaunun 91 ja pikaraitiovaunun 150 matkustajaa.

Nykyisin telibusseilla liikennöitävien linjojen 18 ja 66 palvelutasoa on muutettu nivelbussivaihtoehdoissa siten, että paikkatarjonta ruuhka- ja päiväliikenteessä on lähes sama, jotta vaunukokojen välisen eron vaikutusta saadaan pienennettyä ja vertailtavuutta parannettua. Enimmäisvuorovälinä päiväliikenteessä on kuitenkin pidetty ruuhkassa 15 min ja muutoin 20 minuuttia, jota ei ole ylitetty. Näin ollen raitioliikenteessä on linjoilla 18 ja 66 käytetty samoja vuorovälejä kuin nivelbusseilla, koska paikkatarjonnan perusteella harvennetuista vuoroväleistä tulisi muuton kaupunkiliikenteessä liian harvat (yli 20 min.).

Jokeri 2 -linjaa, jota ei vielä ole olemassa, on tutkittu kahdella vaihtoehtoisella maksimikysynnällä. Alhaisempi kysyntä (A) 550 matkustajaa/tunti/suunta vastaa hyvin bussilla hoidettavaa linjaa ja korkeampi (B) 900 matkustajaa/tunti/suunta edellyttää jo tavallista bussia suurempaa kuljetuskapasiteettia Viimeisimpien kysyntäennusteiden mukaan Jokeri 2:n matkustajamäärä ruuhkasuuntaan huipputuntina linjan kuormitetuimmalla kohdalla olisi noin 800 matkustajaa/tunti/suunta.

Linjoilla 18 ja 66 vertailtavana raideliikennemuotona on käytetty tavallista raitiotietä ja Jokeri 2:lla pikaraitiotietä. Jokeri 2 -linjalla (A) raitioliikenteen vuoroväli on nivelbussiliikennettä harvempaa ruuhkassa.

Koska mitoittavana tekijänä on pääosin pidetty tarjottavaa matkustajakapasiteettia, nivelbusseilla hoidettavassa liikenteessä tarvittavien autojen ja linjakilometrien määrä on nykyistä teliliikennettä pienempi. Tämä näkyy korostetusti linjalla 18, jonka arkiliikenteestä poistuu 2 ja lauantaista 1 auto. Toisaalta nivelbussiliikenteen vuorovälit ovat harvemmat kuin teliliikenteessä. Esimerkiksi arkena ruuhkaliikenteen vuoroväli harvenee 12 minuutista 15 minuuttiin ja päivällä 15 minuutista 20 minuuttiin.

Tarkasteluun myöhemmin mukaan otetun raitiolinja 4:n tarkastelut on tehty muuttamalla bussivaihtoehdoissa vain ruuhkan vuorotarjontaa vastamaan raitiolinjan paikkatarjontaa. Tähän ratkaisuun on päädytty, koska vuorovälit ruuhkan ulkopuolella ovat erittäin tiheät.

Seuraavassa taulukossa on esitetty laskelmissa käytettyjen linjojen tarjonnan tunnuslukuja.

Taulukko 6. Tarjonnan tunnuslukuja linjoittain.**Linja 18**

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Lähdöt arki/la/su	172/134/110	148/116/110	148/116/110	148/116/110
Linjakm/v	518 900	454 000	454 000	454 000
Vaunut (arki/la/su)	8/6/4	6/5/4	6/5/4	6/5/4

Linja 66

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Lähdöt arki/la/su	168/120/102	160/112/102	160/112/102	160/112/102
Linjakm/v	631 900	603 300	603 300	603 300
Vaunut (arki/la/su)	9/5/4	8/5/4	8/5/4	8/5/4

Jokeri 2 (A)

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Lähdöt arki/la/su	198/126/120	174/102/96	174/102/96	168/102/96
Linjakm/v	1 514 100	1 308 300	1 308 300	1 271 550
Vaunut (arki/la/su)	15/8/8	14/6/6	14/6/6	12/6/6

Jokeri 2 (B)

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Lähdöt arki/la/su	270/148/120	250/148/120	250/148/120	190/148/120
Linjakm/v	1 977 100	1 859 500	1 859 500	1 492 000
Vaunut (arki/la/su)	26/10/8	22/10/8	22/10/8	12/10/8

Linja 4

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Lähdöt arki/la/su	405/285/211	385/285/211	385/285/211	371/285/211
Linjakm/v	1 008 400	968 400	968 400	938 695
Vaunut (arki/la/su)	19/9/6	16/9/6	16/9/6	15/10/7

8.2. Liikennöintikustannukset

Liikennöintikustannusten laskennan perustana telibusseilla on käytetty linjojen 18 ja 66 nykyisien liikennöintisuoritteiden yksikköhintoja. Jokeri 2:n yksikköhintoja on käytetty nykyisen Jokeri-linjan 550 yksikköhintoja. Linjojen 18 ja 66 linjakilometri- ja autopäivähintoja on tarkistettu dieselvaihtoehdoissa, koska nykyiset yksikköhinnat perustuvat osittain maakaasuliikenteeseen. Raitiolinja 4 bussiversioiden yksikköhintoja on käytetty linjan 66 yksikköhintoja.

Raitioliikenteen kustannuksina on käytetty HKL:n raitioliikenteen vuoden 2008 suoritteiden yksikköhintoja hieman muokattuina. Yksinkertaisuuden vuoksi vuosikustannukset on laskettu kertomalla talviviikon kustannukset 50:llä. Diesel-nivelbussin ja niveljohdinauton osalta taloudellisten vertailujen perustana on käytetty seuraavia tietoja (taulukko 7):

Taulukko 7. Diesel-nivelbussin ja johdinauton taloudellisen vertailun lähtötietoja

	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO
Hankintahinta	323 000€	450 000 + 100 000 €
Pitoaika	14 vuotta	20 vuotta
Jäännösarvo	5 % hankintahinnasta	10 % hankintahinnasta
Laskentakorko	4 %	4 %
Sähkönkulutus		2,5 kWh/km
Sähkön hinta		8 snt/kWh

Johdinauto on pitkäikäinen ja se kannattaa raideliikennekaluston tapaan peruskorjata. Johdinauton pidempi käyttöikä johtuu moottorin ja voimansiirron paremmasta kestävydestä diesel-kalustoon verrattuna. Lisäksi dieselmoottorille tyypillinen värinä ei rasita rakenteita. Keski-Euroopassa johdinautoille käytetään 17 - 25 vuoden poistoajkoja. Johdinautojen koriin on oletettu tehtävän 100 000 € maksava laaja peruskorjaus/uudelleenkoritus, jonka johdosta bussin jäännösarvo on 20 vuoden pitoajan jälkeen diesel-bussia korkeampi. Johdinauton huolto- ja korjauskustannukset on oletettu diesel-bussia vastaaviksi. Huolto- ja korjauskustannuksista oli saatavilla vähän vertailukelpoista tietoa, saatujen tietojen mukaan suurta eroa kustannuksissa ei ole.

Taulukko 8. Liikennöintikustannukset.

Linja 18

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Liikennöintikust., €/v	2 118 000	1 816 000	1 670 000	2 885 000
€/linjakm	4,08	4,00	3,68	6,63
Km/bussi/v	64 800	75 700	75 700	75 700
€/paikkakm	0,058	0,048	0,044	0,070

Linja 66

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Liikennöintikust., €/v	2 202 000	2 153 000	1 999 000	3 527 000
€/linjakm	3,48	3,57	3,31	5,85
Km/bussi/v	70 200	75 400	75 400	75 400
€/paikkakm	0,049	0,042	0,039	0,064

Jokeri 2 (A)

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Liikennöintikust., €/v	3 995 000	3 653 000	3 408 700	4 943 000
€/linjakm	2,64	2,79	2,61	4,44
Km/vaunu/v	100 900	93 450	93 450	106 000
€/paikkakm	0,037	0,033	0,031	0,030

Jokeri 2 (B)

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Liikennöintikust., €/v	5 538 000	5 331 500	4 903 000	6 864 000
€/linjakm	2,80	2,87	2,64	4,60
Km/vaunu/v	76 000	85 000	85 000	124 000
€/paikkakm	0,040	0,034	0,031	0,031

Linja 4

TUNNUSLUKU	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
Liikennöintikust., €/v	3 894 000	3 772 000	3 528 000	5 940 000
€/linjakm	3,86	3,90	3,64	6,33
Km/vaunu/v	53 100	60 500	60 500	62 600
€/paikkakm	0,054	0,046	0,043	0,070

Kaikissa tutkituissa tapauksissa niveljohdinauto oli sekä kokonais- että km-kustannukseltaan diesel-nivelbussia edullisempi. Koska vuorotarjontaa ja vaunuja on nivelvaihtoehdoissa vähemmän kuin teliliikenteessä, teliliikenne oli kaikissa tapauksissa nivelbussiliikennettä kokonaiskustannuksiltaan kalliimpaa. Linjakilometrikustannuksiltaan johdinauto oli kaikissa tapauksissa edullisin. Diesel-liikenteessä nivelen ja telin järjestys vaihteli.

Raitioliikenne oli kaikissa tapauksissa linjakilometrikustannuksiltaan kalliimpaa kuin erilaiset bussiliikenteen muodot. Jokeri 2:lla suurikapasiteettisen pikaraitiotien paikkakilometrikustannus oli kuitenkin johdinauton kanssa samansuuruinen ja edullisin. Raitiolinja 4:n vertailuissa raitiotie osoittautui kalliimmaksi, koska ruuhkan ulkopuolella kaikkien vaihtoehtojen vuorotarjonta oli sama.

8.3. Infrastruktuurikustannukset

Sähkökäyttöisessä liikenteessä eli johdinautoissa ja raitioliikenteessä joudutaan rakentamaan virtajohtimet ja sähkön syötön edellyttämät laitteet. Raitioliikenteessä on rakennettava lisäksi kiskot ja niiden alusrakenteet. Jos 0-vaihtoehtona pidetään tie-, katu- ja pysäkki-infrastruktuurin olemassaoloa, saadaan sähkökäyttöisille vaihtoehdoille seuraavat lisäinfrastruktuurikustannukset bussiliikenteeseen nähden. Infrastruktuurin poistoajaksi on oletettu 40 vuotta radalle ja 20 vuotta sähköjärjestelmille, sekä koroksi 4 %. Kustannustietoutena raitiovaunun investointikustannuksille on käytetty raitiolinja 9:n investointikustannuksia ja johdinauton kustannustietous perustuu Keski-Euroopassa rakennettujen linjojen kustannuksiin. Raitiovaunun sähkönjakeluinfrastruktuurin kustannukset on laskettu hieman johdinautoa korkeammiksi, sillä raitiovaunut tarvitsevat hieman tiheämmän sähkönsyöttöasemavälin. Kunnossapitokustannukset kilometrillä johdinautolle ja raitiovaunulle on arvioitu HKL:n nykykustannustietouden perusteella. Pikaraitiotien (LRT) osalta kunnossapitokustannukset on arvioitu keskieuropalaisten kokemusten perusteella. Ne ovat HKL:n kustannuksia alhaisemmat, koska Jokeri 2:n reitti kulkee helpommin kunnossapidettävässä paikassa ja rata on mahdollista suunnitella helpommin kunnossapidettäväksi. Myös johdinauton ajojohtojen kunnossapitokustannuksia linjalla Jokeri 2 on laskettu samassa suhteessa raitiolinjan kustannusten kanssa.

Taulukko 9. Infrastruktuurikustannukset.

	JOHDINAUTO/(Jokeri 2)	RAITIOVAUNU/ (LRT)
<u>Investointi:</u>		
- Ajojohdot (€/km)	180 000	160 000
- Sähkönjakeluinfra (€/km)	100 000	150 000
- Uusi rata (€/km)	-	4 840 000
Yhteensä	280 000	5 150 000
<u>Investoinnin vuosikustannukset</u>		
- Ajojohdot (€/km)	18 400	13 200
- Sähkönjakeluinfra (€/km)	12 500	14 700
- Uusi rata (€/km)		243 500
<u>Kunnossapidon vuosikustannukset</u>		
- Rata (€/km)		32 000 / (20 000)
- Ajojohdot (€/km)	18 000 / (12 000)	15 000 / (10 000)
Vuosikustannukset yhteensä (€/km)	48 900 / (42 900)	318 400/ (301 400)

Johdinautolla ajojohtojen kunnossapitokustannukset on arvioitu raitiovaununlinjaa kalliimmaksi järjestelmän pienemmän koon (katso kohta 8.5) ja vaihdekustannusten takia. Johdinauton vaihteet sijaitsevat ajojohdoissa (raitiovaunulla kiskoissa), minkä voi olettaa nostavan kunnossapitokustannuksia hieman suhteessa raitiovaunuihin.

Seuraavissa taulukoissa on esitetty infrastruktuurikustannukset linjoittain. Laskelmissa on huomioitu olemassa oleva raitiotieinfrastruktuuri niillä osuuksilla linjaa, joilla sen hyödyntäminen on mahdollista. Tällöin olemassa olevan infrastruktuurin kunnossapitokustannukset on ositettu linjalle infrastruktuuria käyttävien linjojen arvioidussa suhteessa. Johdinautolle ajojohtoinfrastruktuuri on laskettu aina rakennettavan kokonaan uudestaan, vaikka joissakin paikoissa olemassa olevien raitioiteiden pylväiden yhteiskäyttö olisi mahdollista. Poikkeuksena on linja 4, jossa johdinautolinja korvaa olemassa olevan raitiotielinjan ja voi näin hyödyntää olemassa olevia ajojohtojen tukirakenteita, kuten pylväitä. Ajojohtokustannuksiksi on tällöin arvioitu viidesosa uusinvestoinnista. Sähkönjakeluinfrastruktuurin osalta on molempien kulkutapojen osalta oletettu, että olemassa olevien säh-

könsyöttöasemien kapasiteetti riittää myös uudelle linjalle. Uudella alueella sähkönsyöttöasemien tiheystarpeeksi on johdinautoille laskettu 1 per 3 linjakilometriä ja raitiovaunulle 1 per 2,5 linjakilometriä. Raitiotie vaatii tiiviimmän sähkönsyöttöasematiheyden suurempien tehovaatimusten takia.

Seuraavissa taulukoissa on esitetty linjojen infrastruktuurikustannukset. Taulukoissa ensin on kerrottu koko linjan pituus ja sen jälkeen eroteltu uusinvestointien tarve kilometreinä. Taulukkojen lopussa on kerrottu vuosikustannukset ajojohtojen, sähkönjakeluinfrastruktuurin ja radan osalta erikseen ja yhteenlaskettuna.

Taulukko 10. Linjan 18 infrastruktuurin vuosikustannukset.

<u>LINJA 18</u>	<u>JOHDINAUTO</u>	<u>RAITIOVAUNU</u>
<u>Reittisuunnanpituus (km)</u>	9,9	9,9
<u>Ajojohdot:</u>		
- Uusi (km)	9,9	2,9
- Nykyinen (km)	-	7,0
<u>Sähkönjakeluinfrastruktuuri</u>		
- Uusi (km)	2,9	2,9
- Nykyinen (km)	7,0	7,0
<u>Rata</u>		
- Uusi (km)	-	2,9
- Nykyinen (km)	-	7,0
<u>Vuosikustannukset</u>		
- Ajojohdot (€/a)	358 900	122 600
- Sähkönjakeluinfra (€/a)	70 700	83100
- Rata (€/a)	-	875 000
Vuosikustannukset yhteensä (€/a):	429 600	1 080 700

Taulukko 11. Linjan 66 infrastruktuurin vuosikustannukset.

<u>LINJA 66</u>	<u>JOHDINAUTO</u>	<u>RAITIOVAUNU</u>
<u>Reittisuunnanpituus (km)</u>	11,3	11,3
<u>Ajojohdot:</u>		
- Uusi (km)	11,3	6,0
- Nykyinen (km)	-	5,3
<u>Sähkönjakeluinfrastruktuuri</u>		
- Uusi (km)	6,0	6,0
- Nykyinen (km)	5,3	5,3
<u>Rata</u>		
- Uusi (km)	-	6,0
- Nykyinen (km)	-	5,3
<u>Vuosikustannukset</u>		
- Ajojohdot (€/a)	411 300	201 300
- Sähkönjakeluinfra (€/a)	101 600	119 500
- Rata (€/a)	-	1 721 000
Vuosikustannukset yhteensä (€/a):	512 900	2 041 800

Taulukko 12. Jokeri 2:n infrastruktuurin vuosikustannukset.

JOKERI 2	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
<u>Reittisuunnanpituus (km)</u>	24,7	24,7
<u>Ajojohdot:</u>		
- Uusi (km)	24,7	24,7
- Nykyinen (km)	-	-
<u>Sähkönjakeluinfrastruktuuri</u>		
- Uusi (km)	24,7	24,7
- Nykyinen (km)	-	-
<u>Rata</u>		
- Uusi (km)	-	24,7
- Nykyinen (km)	-	-
<u>Vuosikustannukset</u>		
- Ajojohdot (€/a)	411 300	201 300
- Sähkönjakeluinfra (€/a)	101 600	119 500
- Rata (€/a)	-	1 721 000
Vuosikustannukset yhteensä (€/a):	512 900	2 041 800

Taulukko 13. Linjan 4 infrastruktuurin vuosikustannukset.

LINJA 4	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
<u>Reittisuunnanpituus (km)</u>	8,0	8,0
<u>Ajojohdot:</u>		
- Uusi (km)	2	-
- Nykyinen (km)	6*	8,0
<u>Sähkönjakeluinfrastruktuuri</u>		
- Uusi (km)	-	-
- Nykyinen (km)	8,0	8,0
<u>Rata</u>		
- Uusi (km)	-	8,0
- Nykyinen (km)	-	-
<u>Vuosikustannukset</u>		
- Ajojohdot (€/a)	180 800	120 000
- Sähkönjakeluinfra (€/a)	40 000	47 100
- Rata (€/a)	-	192 000
Vuosikustannukset yhteensä (€/a):	220 800	359 100

* Oletettu, että olemassa olevan raitiolinjan ajojohtoinfrastruktuuria voidaan hyödyntää.

8.4. Liikenteen järjestämisen kokonaiskustannukset

Alla olevassa taulukossa (taulukko 14) on koottu liikennöintikustannukset ja infrastruktuurikustannukset yhteen. Sen alla olevassa taulukossa (taulukko 15) on ilmoitettu samat erot prosentuaalisesti, sekä se, kuinka paljon raitiovaunu on johdinautoa suhteellisesti kalliimpi. Edullisimmaksi liikenteen järjestämiskustannusten perusteella bussilinjoilla osoittautui diesel-nivelbussi ja linjan 4 kohdalla johdinauto. Tehtyjen laskelmien mukaan liikenteen järjestämiskustannukset johdinautolla ovat keskimäärin 1,2-kertaiset dieselbussiin verrattuna ja vastaavasti 0,45-kertaiset raitiovaunuun verrattuna. Alla olevissa taulukoissa on esitetty kustannukset ja suhteellinen vertailu.

Taulukko 14. Liikenteen järjestämisen kokonaiskustannukset linjoittain.

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU/LRT
18 (€a)	2 118 000	1 816 000	2 099 600	3 965 700
66 (€a)	2 202 000	2 153 000	2 511 800	5 568 700
Jokeri 2 (A) (€a)	3 995 000	3 653 000	4 468 400	12 389 700
Jokeri 2 (B) (€a)	5 538 000	5 331 500	5 962 700	14 292 700
4 (€a)	3 894 000	3 772 000	3 748 800	6 299 100

Taulukko 15. Liikenteen järjestämisen kokonaiskustannusten suhteellinen vertailu.

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDIN-AUTO	RAITIOVAUNU/LRT	RAITIOVAUNU verrattuna JOHDINAUTOON
18	1,2	edullisin	1,2	2,2	1,9
66	1,0	edullisin	1,2	2,6	2,2
Jokeri 2 (A)	1,1	edullisin	1,2	3,4	2,8
Jokeri 2 (B)	1,0	edullisin	1,1	2,7	2,4
4	1,0	1,0	edullisin	1,7	1,7
Keskiarvo	1,1	1,0	1,2	2,5	2,2


8.5. Laskelmien luotettavuudesta ja laskelmien perusteista

Liikennöintikustannukset

Eri liikennemuotojen erilaiset kapasiteetit on otettu huomioon varioimalla vuoroväliä ruuhkassa ja päiväliikenteessä siten, että kokonaispaikkatarjonta on lähellä toisiaan. Tällöin vuoroväli harvenee samalla kun vaunukoko kasvaa. Toisaalta vaunukoon kasvaessa vaunumäärä ja siten kustannukset pienenevät. Jos liikennetarjonta olisi vuorovälin osalta pidetty kaikissa vaihtoehtoissa vakiona, olisi telibussi tullut edullisemmaksi kuin tässä vertailussa.

Diesel-bussien pääomakustannukset on johdettu nykyisten bussiliikenteen kilpailutuskohteiden tarjoushinnoista, jotka linjoilla 18 ja 66 on laskettu eri-ikäiselle kalustolle. Niveljohdinauton pääomakustannukset on laskettu siten, että kaikki vaunut olisivat alussa uusia. Tämä tuo lievää epäyhtenäisyyttä laskelmiin. Jokeri 2:n kustannuslaskennan perustana käytetty linjan 550 kustannukset eivät myöskään välttämättä anna täysin oikeata kuvaa tämän linjan diesel-liikenteen hinnasta, mutta lienevät kuitenkin riittävän hyvä viitearvo laskennalle.

Johdinautojen kunnossapitokustannuksista ei ole ollut käytössä tarkkoja tietoja, joten ne on oletettu vastaavan diesel-bussin kustannustasoa.



Johdinautoliikenteessä sähkön hintana on käytetty teollisuuden maksamaa keskiarvohintaa 8 snt/kWh. Tämä lienee hieman enemmän kuin raitioliikenteen linjakm-kustannuksen perustana oleva HKL:n maksama sähkön hinta. Jos johdinautoliikennettä operoidaan kaupungin omana toimintana, kuten raitioliikennettä, laskee johdinautoliikenteen km-kustannus hieman.

Dieselbussien jäännösarvona on pidetty 5 %, joka vastaa suuruusluokaltaan sitä hintaa, joka käytetyistä busseista maksetaan. Johdinauton jäännösarvona on pidetty 10 % toisaalta kalliin korikorjauksen takia ja toisaalta siksi, että Keski-Euroopassa johdinautoista maksetaan käytettyinäkin korkeita hintoja. Täsmällistä jäännösarvoa Suomessa vapautuvalle vanhalle johdinautolle on kuitenkin mahdotonta arvioida.

Eri joukkoliikennemuotojen liikennetarjonnan perustana vertailuissa oli linjojen 4, 18 ja 66 nykyinen tarjonta sekä Jokeri 2:lla tehdyt liikennöintisuunnitelmat. Matkustajamäärätietoja eri vuorokaudenaikoina ei käytetty. Vuorotarjonnan variointi tehtiin vaunujen kapasiteetin perusteella. Tarkastelulähtökohtaa voidaan pitää raideliikennemuotojen kannalta epäedullisena, sillä ruuhkan ulkopuoliossa liikenteessä vuorotarjonta oli joko sama tai lähellä toisiaan. Näin raideliikenteen tarjoama suurempi matkustajakapasiteetti ei pääse kunnolla esiin. Toisaalta yksittäisen bussilinjan vuoroväliä pitäisi harventaa kaupunkiliikenteessä kohtuuttoman harvaksi, jotta erot tältä osin tasoittuisivat riittävästi.

Johdinauton liikennöintikustannusten edullisuutta arvioitaessa tulee muistaa, että liikennöintikustannusten yksikköhinnat perustuvat oletukselle laajasti toteutetusta joukkoliikennejärjestelmästä. Tällöin järjestelmän kiinteät kustannukset, kuten varikko ja hallinto, saadaan jaettua riittävän suu-
relle liikennemäärälle ja liikennöinnin yksikkökustannukset pienenevät kohtuullisiksi.

Infrastruktuurikustannukset

Infrastruktuurikustannuksia tarkastellessa tulee huomioida, että niin investointien kuin kunnossapidon kannalta kustannustasoon vaikuttavat useat eri tekijät. Investoinnin suuruuteen vaikuttaa suunniteltavan alueen erityispiirteet, johdinautolla raitiovaunun sähköjärjestelmien läheisyys, risteysalueiden lukumäärä ym. tekijät, joita ei tässä tarkastelussa pystytty kunnolla huomioimaan.

Kunnossapitokustannukset on arvioitu tässä työssä raitiovaunuinfrastruktuurin kustannusten pohjalta. Kunnossapitokustannuksissa niiden suuruuden arviointi kilometripohjalta ei tuo esille oikeita kustannuksia. Mikäli johdinautojärjestelmä perustetaan ja tarvittava huoltokalusto hankitaan sekä työvuorojärjestelyt hoidetaan, ovat tällöin yhden lisäkilometrin kunnossapitokustannukset todella edulliset. 50-kilometrin johdinautojärjestelmän kunnossapitokustannukset eivät ole viisinkertaiset 10-kilometrin järjestelmään nähden.

8.6. Yhteiskuntataloudelliset kustannukset

Yhteiskuntataloudelliseksi kustannukset on laskettu matkustajien kulkuneuvon odotusaikakustannuksista, melukustannuksista ja päästökustannuksista. Onnettomuuskustannusten muutosten arvioimista ei tässä työssä katsottu tarpeelliseksi tehdä.

Aikakustannukset

Aikakustannusten arvottamisperusteena on käytetty Tiehallinnon määrittämiä arvoja keskimääräiselle bussin kaupunkiliikenteelle /12/, jotka on muutettu vuoden 2008 kustannustasoon. Aikakustannuksissa on huomioitu vain matkustajien keskimääräinen odotusaika pysäkillä aamuruuhkassa. Telibussilla on pienimmän kuljetuskapasiteettinsa vuoksi tihein vuoroväli, jonka takia keskimääräinen odotusaika pysäkillä on kaikkein lyhyin. Muiden vaihtoehtojen odotusaikoja on verrattu telibussin odotusaikaan, rahallinen arvotus on tehty kulkumuotojen odotusaikojen erotuksen puolikkaaseen. Muita aikakustannuksia, kuten itse matkustusajan sekä pysäkin ja kohteen välisten kävely-aikojen aikakustannuksia, ei ole tässä tutkimuksessa huomioitu.

Taulukko 16. Odotusaikojen aikakustannusero linjoittain ja kulkumuodoittain telibussiin verrattuna.

LINJA	TELIBUSSI	NIVELBUSSI	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
18 (€a)		373 100	373 100	373 100
66 (€a)		770 500	770 500	770 500
Jokeri 2 (A) (€a)		162 000	162 000	405 100
Jokeri 2 (B) (€a)		328 100	328 100	1 968 700
4 (€a)		241 400	241 400	402 300

Melukustannukset

Liikennemelun, niin kuin muunkin melun, haitan arvottaminen on vaikeaa. Melulla on kuitenkin todettu olevan negatiivista vaikutusta ihmisten terveyteen. Sitä pidetään kansainvälisestikin merkittävänä ympäristö- ja terveysongelmana sekä viihtyisyyshaittana. Melusta on arvioitu aiheutuvan mitattavia yhteiskuntataloudellisia kustannuksia. Euroopan komissio, Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö (OECD) ja Euroopan liikenneministerikonferenssi (ECMT) ovat arvioineet, että ympäristömelun, lähinnä liikennemelun aiheuttamat yhteiskuntataloudelliset kustannukset olisivat vuosittain Euroopassa noin 0,2 - 0,5 prosenttia bruttokansantuotteesta. Suomen oloihin suhteutettuna tämä tarkoittaa noin 250 - 700 miljoonaa euroa. /10/

Helsinki on Suomen vilkasliikenteisintä ja tiheimmin asuttua aluetta, joten meluhaitat ovat Helsingissä todelliset. Tutkimusten mukaan heikkoa häiritsevyyttä melusta on todettu esiintyvän jo 20 dB kohdalla, mutta usein se saavuttaa suurimman häiritsevyytensä 70 - 80 dB kohdalla./10/ HKL:n vuoden 2007 Ympäristöraportin mukaan uusien normaalikokoisten bussien ulkomelun taso on 77 dB, kun suurin sallittu melutaso on 80 dB(A). Melu luonnollisesti vaimenee asuntojen sisätiloihin mentäessä, mutta ainakin kadun varressa vilkasliikenteisellä väylällä asuvien voidaan olettaa kärsivän myös joukkoliikenteen aiheuttamasta melusta. Helsingin kaupungin meluselvityksen mukaan raideliikennemelun vaikutusalueella Helsingissä asuu 69 800 kaupunkilaista. /11/ Aukkaiden lisäksi melu häiritsee kevyen liikenteen väylillä liikkuvia.

Koska melun häiritsevyys on hyvin yksilöllistä, on sen arvottaminen hyvin vaikeaa. Tiehallinto on kuitenkin onnistunut määrittämään melulle yksikköarvot, jotka on esitetty alla olevassa taulukossa. Yksikköpäästöt on indeksikorjattu vuoden 2008 kustannustasoon Tilastokeskuksen määrittämän kuluttajahintaindeksi mukaan.

Taulukko 17. Tieliikenteen meluhaitan yksikköarvot /12/.

Melutaso (dB(A))	Häiriötä kokevien asukkaiden osuus (%)	Yksikköarvo €/melun häiriönä kokeva asukas/vuosi
55 - 65	33	1 090
65 - 70	50	1 090
70 -	100	1 090

Meluhaitan arvo (Mlk) vuositasolla voidaan määrittää meluhaitan yksikköarvon, häiriötä kokevien asukkaiden osuuden ja kaikkien melualueen asukkaiden määrän perusteella seuraavan kaavan avulla:

$$Mlk (M€/v) = (D \cdot (As_{55-65dB} \cdot 0,33 + As_{65-70dB} \cdot 0,5 + As_{70-dB} \cdot 1)) / 10^6$$

Jos oletetaan, että saadaan vähennettyä melusta kärsivien asukkaiden määrää 1 000:lla, saadaan siitä säästöä vuodessa 488 000 euroa. Melusta kärsivien 1 000 asukkaan osuus eri meluasteille on jaettu alla olevan taulukon mukaan. Taulukkoa luettaessa on syytä huomioida, että ääni vaimenee etääntyessään äänen kohteesta, joten alhaisemman desibelin melusta kärsii useampi asukas.

Taulukko 18. Meluhaitta.

dB	ASUKKAIDEN LKM
55 - 65	600
65 - 70	300
70 -	100

Päästökustannukset

Ajoneuvojen päästöistä syntyy kustannuksia yhteiskunnalle. Valtion taholta Tiehallinto on määrittänyt eri tieliikenteen päästöistä aiheutuvien haittojen arvon. Päästöjen kustannuksiin sisältyvät haittojen aiheuttamat taloudelliset menetykset. Haittojen yksikköhintoja määritettäessä Tiehallinto on tarkastellut terveysvaikutuksia (mm. sydän- ja hengityselinsairauksia sekä syöpiä), luontovaikutuksia (metsien ja viljelysten tuoton väheneminen), taloudellisia vaikutuksia (korroosio ja likaantuminen) sekä ilmastomuutosta. /12/.

HKL on osaltaan arvottanut myös päästöt, joita se käyttää arvioidessaan eri bussikalustojen ympäristövaikutuksia. HKL:n kustannukset on laskettu kuitenkin vain kaupunkiliikenteen busseille. Tästä johtuen lähipäästöttömien johdinauton ja raitiovaunun päästökustannukset on saatu kertomalla HKL:n luvut Tiehallinnon haja-asutus ja taajamapäästöarvojen suhteessa, mikä kuvastaa paremmin sähköntuotantotavan aiheuttamien päästöjen haittakustannuksia. Arvot on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 19. Päästökustannukset .

Yhdiste	€/tonni kaupungissa	€/tonni haja-asutusalueella
CO ₂	30	30
NO _x	8 200	3 210
PM	247 500	7 715

Jokaiselle kulkumuodolle on laskettu yksikköpäästöt g/km luvun kolme taulukon 4 tiedoista. Tämän jälkeen jokaiselle linjalle on laskettu vuoden päästökustannukset yhdistämällä edellinen päästökustannustaulukko ja vuosisuorite.

Taulukko 20. Yksikköpäästöt g/km liikennemuodoittain.

PÄÄSTÖMÄÄRÄ (g/km)	TELIBUSSI	NIVELBUSSI	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
CO ₂ (diesel)	1 155	1 300		
CO ₂ (Suomen keskimääräinen sähkö)			328	393
CO ₂ (Helen)			650	780
NO _x	11,3	11,3	1,0	1,2
PM	0,09	0,09	0,05	0,06

Taulukoista on nähtävissä, että mitä suuremmaksi linjan vuosisuorite kasvaa (pienin linjalla 18 ja suurin Jokeri 2 (B) –vaihtoehdolla), sitä suuremmaksi etu johdinautolle ja raitiovaunulle kasvaa päästöjen kokonaiskustannusten suhteen. Johdinauto on tosin jo linjan 18 suoritteellakin edullisempi kuin dieselinä käyttävä nivelbussi, eikä raitiovaunukaan häviä sille paljon.

Taulukko 21. Linjan 18 päästökustannukset vuodessa yksikköpäästöittäin ja kaikki päästöt yhteenlaskettuna.

PÄÄSTÖKUSTANNUS (€/a)	TELIBUSSI	NIVELBUSSI	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
CO ₂ (diesel)	18 000	17 700		
CO ₂ (Suomen keskimääräinen sähkö)			4 500	5 400
CO ₂ (Helen)			8 900	10 600
NO _x	47 900	41 900	1 500	1 800
PM	11 600	10 100	200	200
Yhteensä (Diesel)	77 400	69 700		
Yhteensä (Suomen markkinasähkö)			6 100	7 300
Yhteensä (Helen)			10 500	12 600

Taulukko 22. Linjan 66 päästökustannukset vuodessa yksikköpäästöittäin ja kaikki päästöt yhteenlaskettuna.

PÄÄSTÖKUSTANNUS (€/a)	TELIBUSSI	NIVELBUSSI	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
CO ₂ (diesel)	21 900	23 500		
CO ₂ (Suomen keskimääräinen sähkö)			6 000	7 100
CO ₂ (Helen)			11 800	14 100
NO _x	58 300	55 700	1 900	2 300
PM	14 100	13 400	230	280
Yhteensä (Diesel)	94 200	92 600		
Yhteensä (Suomen markkinasähkö)			8 100	9 700
Yhteensä (Helen)			14 000	16 800

Taulukko 23. Jokeri 2 (A):n päästökustannukset vuodessa yksikköpäästöittäin ja kaikki päästöt yhteensä.

PÄÄSTÖKUSTANNUS (€/a)	TELIBUSSI	NIVELBUSSI	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
CO ₂ (diesel)	52 500	51 000		
CO ₂ (Suomen keskimääräinen sähkö)			12 900	15 000
CO ₂ (Helen)			25 500	29 800
NO _x	139 700	120 700	4 200	4 900
PM	33 700	29 100	500	600
Yhteensä (Diesel)	225 866	200 857		
Yhteensä (Suomen markkinasähkö)			17 600	20 500
Yhteensä (Helen)			30 200	35 200

Taulukko 24. Jokeri 2 (B):n päästökustannukset vuodessa yksikköpäästöittäin ja kaikki päästöt yhteensä.

PÄÄSTÖKUSTANNUS (€/a)	TELIBUSSI	NIVELBUSSI	JOHDINAUTO	PIKARATIKKA
CO ₂ (diesel)	68 500	72 500		
CO ₂ (Suomen keskimääräinen sähkö)			18 300	17 600
CO ₂ (Helen)			40 400	38 900
NO _x	182 392	171 500	6 000	5 700
PM	44 041	41 400	720	690
Yhteensä (Diesel)	294 900	285 400		
Yhteensä (Suomen markkinasähkö)			24 900	24 000
Yhteensä (Helen)			42 900	41 300

Taulukko 25. Linja 4 päästökustannukset vuodessa yksikköpäästöittäin ja kaikki päästöt yhteensä.

PÄÄSTÖKUSTANNUS (€/a)	TELIBUSSI	NIVELBUSSI	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU
CO ₂ (diesel)	34 900	37 800		
CO ₂ (Suomen keskimääräinen sähkö)			9 500	11 100
CO ₂ (Helen)			18 900	22 000
NO _x	93 000	89 300	3 100	3 600
PM	22 500	21 600	370	440
Yhteensä (Diesel)	150 400	148 700		
Yhteensä (Suomen markkinasähkö)			13 000	15 100
Yhteensä (Helen)			22 400	26 000

8.7. Yhteiskuntataloudelliset kokonaiskustannukset

Yhteiskuntataloudelliset kokonaiskustannukset, joihin kuuluvat vain matkustajan odotusaikakustannukset ja päästökustannukset, on koottu yhteen seuraaviin taulukoihin. Taulukoista käy ilmi, että diesel-telibussi on kaikkein edullisin. Tämä johtuu siitä, että pienimmän kuljetuskapasiteettinsa vuoksi telibussin vuoroväli on kaikkein tihein, jolloin sille ei osoitettu aikakustannusvertailussa olleenkaan kustannuksia.

Mielenkiintoisempi havainto on diesel-nivelbussin ja johdinauton kokonaiskustannusero, koska niiden aikakustannukset olivat samat. Kaikilla linjoilla johdinauton liikennöinti on yhteiskuntataloudellisesti dieselbussia edullisempaa, vaikka päästöarvoina käytetään sähkökäyttöiselle liikenteelle epäedullisempia Helenin arvoja. Kustannusero johtuu kokonaan pienemmistä päästökustannuksista. Mikäli melukustannukset otettaisiin myös huomioon, muodostuisi kustannusero vieläkin suuremmaksi. Myös raitiovaunu tulee diesel-nivelbussia edullisemmaksi linjoilla 18 ja 66.

Taulukko 26. Yhteiskuntataloudelliset kustannukset linjoittain ja liikennemuodoittain vuodessa Helenin arvoilla laskettuna.

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU/LRT
18 (€a)	77 400	442 800	384 600	386 900
66 (€a)	94 200	863 100	785 800	788 800
Jokeri 2 (A) (€a)	225 900	362 900	195 200	443 800
Jokeri 2 (B) (€a)	294 900	613 600	375 300	2 014 100
4 (€a)	150 400	390 000	263 700	428 300

Taulukko 27. Yhteiskuntataloudellisten kustannuksien suhteellinen ero linjoittain ja liikennemuodoittain Helenin arvoilla laskettuna.

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDIN-AUTO	RAITIOVAUNU/LRT	RAITIOVAUNU verrattuna JOHDINAUTOON
18	edullisin	5,7	5,0	5,0	1,0
66	edullisin	9,1	8,3	8,4	1,0
Jokeri 2 (A)	1,2	1,6	edullisin	2,0	2,3
Jokeri 2 (B)	edullisin	2,1	1,3	6,8	5,4
4	edullisin	2,6	1,8	2,8	1,6
Keskiarvo	1,2	4,2	4,1	5,0	2,3

Taulukko 28. Aika- ja päästökustannukset linjoittain ja liikennemuodoittain vuodessa Suomen keskimääräisen sähkön arvoilla laskettuna.

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU/LRT
18 (€a)	77 400	442 800	379 200	380 400
66 (€a)	94 200	863 100	778 600	780 200
Jokeri 2 (A) (€a)	225 900	362 900	179 600	425 600
Jokeri 2 (B) (€a)	294 900	613 600	353 100	1 992 800
4 (€a)	150 400	390 000	254 300	417 400

Taulukko 29. Yhteiskuntataloudelliset kustannuksien suhteellinen ero linjoittain ja liikennemuodoittain Suomen keskimääräisen sähkön arvoilla laskettuna.

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDIN-AUTO	RAITIOVAUNU/LRT	RAITIOVAUNU verrattuna JOHDINAUTOON
18	edullisin	5,7	4,9	4,9	1,0
66	edullisin	9,1	8,3	8,3	1,0
Jokeri 2 (A)	1,3	2,0	edullisin	1,9	2,4
Jokeri 2 (B)	edullisin	2,1	1,2	6,8	5,6
4	edullisin	2,6	1,7	2,8	1,6
Keskiarvo		4,3	4,0	4,9	2,3

8.8. Kokonaiskustannukset

Kokonaiskustannuksissa on laskettu yhteen liikenteen järjestämisen kustannukset ja yhteiskuntataloudelliset kustannukset. Kustannuksista on kaksi taulukkoa, joissa on huomioitu vaihtoehtoiset tavat laskea sähkön tuotannon päästöt sekä näistä tehty suhteelliset vertailut. Sähkönlaskentatapa vaikuttaa suhteellisessa kustannusvertailussa keskimäärin kymmenyksen verran johdinauton ja raitiotien kustannuseroon dieselbussiin verrattuna.

Molemmilla sähkön laskentavaihtoehdoilla dieselbussit tulivat kokonaiskustannuksiltaan edullisimmaksi joukkoliikennemuodoksi kaikilla muilla linjoilla paitsi raitiolinjalla 4. Dieselbussien edullisuuteen vaikuttivat eniten johdinautojen ja raitiotien vaatimat infrastruktuurikustannukset. Raitiolinja 3 tuli edullisimmaksi, koska infrastruktuurikustannuslaskelmissa raitiotien oletettiin hyödyntävän jo olemassa olevaa raitiotien ajojohdininfrastruktuuria.

Dieselbussivertailussa telibussi tuli nivelbussia edullisemmaksi. Telibussin edullisuus selittyy pääosin aikakustannuksilla. Sen pienempi kuljetuskapasiteetti vaati muita tiheämmät vuorovälit, jolloin matkustajien odotusajat ja näin myös aikakustannukset jäivät muita kulkumuotoja alhaisemmiksi. Telibussien tiheämpi vuoroväli lisää toki myös liikennöintikustannuksia, mutta vähemmän kuin aikakustannuksista muodostuva kustannusero.

Huomattavaa kuitenkin on, että johdinauto on diesel-telibussia keskimäärin vain 1,2 kertaa kalliimpi ja diesel-nivelbussin ja johdinauton kustannusero jää tätäkin pienemmäksi. Mikäli kustannuksissa olisi huomioitu melukustannukset, olisi ero pienentynyt entisestään tai poistunut kokonaan.

Laskelmissa määritettiin myös raitiotien (tai pikaraitiotien) ja johdinauton suhteellinen kustannusero. Raitiotie osoittautui keskimäärin 2,1 kertaa kalliimmaksi kuin johdinauto. Kustannusero syntyi korkeammista infrastruktuurikustannuksista sekä raitiotien suuremmasta kuljetuskapasiteetista, joka ei päässyt oikeuksiinsa tehdyissä laskelmissa. Suurin ero syntyi linjalla Jokeri 2 (A), jolla raitiotien osoittautui 2,8 kertaa kalliimmaksi kuin johdinauto.

Yleisesti laskelmista voidaan todeta, että saadut tulokset ovat hyvin samankaltaiset johdinautokaupungeissa tehtyjen laskelmien kanssa. Seuraavissa taulukoissa on esitetty kokonaiskustannukset linjoittain ja kulkumuodoittain sekä suhteellinen kustannusvertailu.

Taulukko 30. Kokonaiskustannusvertailu (Helen).

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU/LRT
18 (€a)	2 195 400	2 258 800	2 484 200	4 352 600
66 (€a)	2 296 200	3 016 100	3 297 600	6 357 600
Jokeri 2 (A) (€a)	4 220 900	4 015 900	4 663 600	12 833 400
Jokeri 2 (B) (€a)	5 832 900	5 945 100	6 338 000	16 306 800
4 (€a)	4 044 400	4 162 000	4 012 500	6 727 400

Taulukko 31. Suhteellinen kokonaiskustannusvertailu (Helen).

LINJA NRO.	DIESEL- TELI	DIESEL- NIVEL	JOHDIN- AUTO	RAITIOVAUNU/ LRT	RAITIOVAUNU verrattuna JOHDINAUTOON
18	edullisin	1,0	1,1	2,0	1,8
66	edullisin	1,3	1,4	2,8	1,9
Jokeri 2 (A)	1,1	edullisin	1,2	3,2	2,8
Jokeri 2 (B)	edullisin	1,0	1,1	2,8	2,6
4	1,0	1,0	edullisin	1,7	1,7
Keskiarvo	1,1	1,1	1,2	2,5	2,1

Taulukko 32. Kokonaiskustannusvertailu (Suomen markkinasähkö).

LINJA NRO.	DIESEL-TELI	DIESEL-NIVEL	JOHDINAUTO	RAITIOVAUNU/LRT
18 (€a)	2 195 400	2 258 800	2 478 800	4 346 100
66 (€a)	2 296 200	3 016 100	3 290 400	6 348 900
Jokeri 2 (A) (€a)	4 220 900	4 015 900	4 648 000	12 815 200
Jokeri 2 (B) (€a)	5 832 900	5 945 100	6 315 800	16 285 400
4 (€a)	4 044 400	4 162 000	4 003 200	6 716 500

Taulukko 33. Suhteellinen kokonaiskustannusvertailu (Suomen markkinasähkö).

LINJA NRO.	DIESEL- TELI	DIESEL- NIVEL	JOHDIN- AUTO	RAITIOVAUNU/ LRT	RAITIOVAUNU verrattuna JOHDINAUTOON
18	edullisin	1,0	1,1	2,0	1,8
66	edullisin	1,3	1,4	2,8	1,9
Jokeri 2 (A)	1,1	edullisin	1,1	3,0	2,8
Jokeri 2 (B)	edullisin	1,0	1,1	2,8	2,6
4	1,0	1,0	edullisin	1,7	1,7
Keskiarvo	1,1	1,1	1,1	2,4	2,1

9. Johdinautojärjestelmän tulevaisuus Helsingissä

Euroopassa johdinautojen suosio on ollut kasvussa jo jonkin aikaa, eikä sen laantumisen merkkejä ole havaittavissa. Erityisesti ympäristönäkökulmien merkityksen vahvistuminen ja kustannustehokkuuden edellyttäminen on vahvistanut johdinauton asemaa joukkoliikennemuotona. Tätä tukevaa on myös johdinautojen teknologinen kehitys, joka on ollut melko nopeaa viime aikoina. On nähtävissä, että ainakin tietyssä määrin johdinautot tulevat monissa kaupungeissa korvaamaan ainakin osittain dieselbussit sekä taajamien keskustaliikenteessä myös pikaraitiotieratkaisuja.

Mikäli Helsingissä päädytään jatkamaan johdinautoliikenteen käyttöönottoon tähtäävää valmistelua, tulee suunnitteluun ja päätöksentekoon varata riittävästi aikaa. Hankesuunnitelmatasoiseen valmisteluun tulee varata aikaa vuoden 2010 loppuun asti. Mikäli tämän jälkeen tehdään päätös johdinautojärjestelmän perustamisesta, on toteutukseen varattava aikaa vähintään 2,5–3 vuotta. Johdinautonjärjestelmän toteutus vaatii seuraavat työvaiheet:


- suunnittelun tarkentaminen
 - tilavaraukset yhdessä kaavoittajan kanssa
 - tarkoituksenmukaisen linjakokonaisuuden valinta
 - varikon suunnittelu
 - operointiin liittyvä toiminnallinen suunnittelu
 - suunnitelmien tarkkuustason syventäminen
 - kustannusarvioiden tarkentaminen
- tarvittavien lupien hankinta
- ajoneuvokaluston hankinta
- ajojohtojärjestelmien ja pysäkkien rakentaminen
- varikon muutostyöt / rakentaminen
- sähkösyöttörakenteiden rakentaminen
- johdinautojen koekäyttö ja henkilöstön koulutus.

Johdinauton kaluston valmistamiseen on syytä varata aikaa enemmän kuin bussikaluston hankintaan yksilöllisten toimituserien takia. Kaluston koko hankintaprosessiin on syytä varata aikaa reilut kaksi vuotta tarjousasiakirjojen jättämisestä.

9.1. Johdinauton hankinnassa huomioitavia asioita Helsingissä

Jos Helsinkiin hankittaisiin johdinautojärjestelmä, on työn aikana tullut esille seuraavia reunaehtoja, jotka tulisi huomioida hankintapäätöstä tehtäessä. Johdinauton sujuva liikkeellelähtö (yli 15-metriset johdinautot) vaatii, että siinä on kaksi vetävää pyöräparia. Mikäli päädytään hankkimaan niveljohdinauto, tulee ohjauksen luonnollisesti ylettyä myös takapyöriin. Johdinauton tarkoituksenmukaisen liikennöintinopeuden takaamiseksi myös ajojohdottomalla alueella tulee siinä olla apumoottori. Apumoottorin tulee vähintään olla dieselmoottori, mutta erittäin suositeltavaa on seurata tällä hetkellä erityisen nopeasti kehittyvää akkutekniikkaa ja mahdollisuuksien mukaan toteuttaa sähköön perustuva apuvoimalähde. Johdinauton virroitinaisojen pituuden tulisi olla vähintään viisi metriä. Kansainvälisten kokemusten mukaan alle viisimetriset aisat lisäävät niiden irtoamisriskiä ajojohdoista sekä heikentävät johdinauton mahdollisuutta väistää yllättävää liikenne-estettä viereiselle kaistalle.

Suomen tämänhetkinen lainsäädäntö ei tunne johdinautoa. Mikäli Suomeen tulisi johdinauto, olisi lainsäädäntöön määriteltävä uusi ajoneuvo *johdinauto*. Mitään suoranaista lainsäädännöllistä estettä johdinauton käyttöönotolle ei nykytietojen mukaan ole olemassa, mutta mahdollisessa jatkoselvityksessä tulisi myös huomioida lainsäädännön uusimisen vaatima aika. /16/.



Johdinautojärjestelmän operointi on kaikissa tutkituissa kaupungeissa hoidettu kaupungin oman liikennelaitoksen toimesta. Suurimmat syyt operointiin kaupungin omana toimintana ovat korkeat alkuihminen investoinnit sekä juridisesti määriteltävän rajapinnan löytämisen vaikeus ajojohtojen osalta ulkopuolisen liikennöitsijän ja kaupungin välillä. Helposti käsitettävä rajapinta olisi johdinauton virroittinajoajien ja ilmaan asennettujen ajojohtojen välissä. Tämä olisi kuitenkin kaupungille epäedullinen vaihtoehto, sillä olisi mahdollista että liikennöitsijä, omia kustannuksia alentaakseen, ajaisi virroittinajoajissa olevat ajojohtoihin koskettava hiilet aivan loppuun. Heikossa kunnossa olevat hiilet taas vaurioittavat ajojohtoja ja aiheuttavat näin suuremmat ajojohtojärjestelmän ylläpitokustannukset. Johdinautojärjestelmän luontevimmin kilpailutettava osa-alue olisi itse kuljetustyö. Kaupunki omistaisi kaluston ja infrastruktuurin, mutta erillinen yhtiö hoitaisi operoinnin. Tätä vaihtoehtoa pohditaan parhaillaan Leipzigissä, jonne ollaan suunnittelemassa johdinautojärjestelmää. Helsingissä luonnollinen vaihtoehto operaattoriksi olisi HKL-Raitioliikenne, joka operoi johdinautoja myös 30 vuotta sitten, kun niitä Helsingissä edellisen kerran oli. Mikäli raitioliikenteen ja johdinautoliikenteen operaattori on sama, saadaan synergiaetuja ainakin kaluston ja infrastruktuurin sähköjärjestelmiin liittyen.

10. Johtopäätökset

Tämän selvityksen tarkoituksena oli selvittää johdinautojärjestelmän palauttamisen edellytyksiä Helsinkiin. Lopullinen päätös johdinautoista luopumisesta tehtiin vuonna 1985, jolloin kuitenkin velvoitettiin HKL seuraamaan maailman muuttumista johdinautojärjestelmälle suotuisammaksi. Vuonna 2007 suositeltiin johdinautojärjestelmän uudelleen selvittämistä, minkä tuloksena syntyi tämä esiselvitys.

Johdinautot sijoittuvat liikennejärjestelmässä bussin ja raitiovaunun väliin, ne liikkuvat kumipyörillä kuten bussit, mutta saavat käyttöenergiansa yläpuolisista johtimista. Johtimet sitovat johdinautot kiinteämmin reitilleen kuin bussit, mutta ne ovat vähemmän herkkiä reitin häiriöille kuin raitiovaunut. NykYTEknikalla johdinauto voi kulkea osan matkasta ilman johtimia ja näin väistää edessä olevia esteitä tai kulkea kaupunkikuvallisesti herkässä ympäristössä. Yksi johdinauto ehdoton etu molempiin kulkumuotoihin on sen hiljainen kulku, mikä tekee siitä miellyttävän kulkumuodon kaupungissa.

Johdinautojärjestelmän palauttaminen Helsinkiin toisi yhden liikennemuodon lisää jo varsin kattavaan järjestelmään. Tehdyn selvityksen, erityisesti kansainvälisten näkökulmien, perusteella voidaan kuitenkin todeta, että johdinautoille löytyisi paikka Helsingin liikennejärjestelmässä hiljaisena, lähipäästöttömänä ja bussia paremman kuljetuskapasiteetin omaavana liikennemuotona. Helsingistä löytyisi taloudellisten toimintaedellytysten muodostamiseksi riittävä määrä sopivia nykyisiä ja suunniteltuja bussilinjoja sekä suunniteltuja raitiotielinjoja muutettaviksi johdinautolinjoiksi. Johdinautojärjestelmän avulla on saavutettavissa monet raitiojärjestelmän hyödyistä sitä huomattavasti edullisemmin kustannuksin. Monet kaupungit hyödyntävät myös johdinauton positiivista imagoa ympäristömarkkinoinnissaan, joten järjestelmän hyödyt ovat osoittautuneet itse liikennöintihyötyjä laajemmiksi.

Tehdyt kustannuslaskelmat osoittavat, että dieselbussi on johdinautoa edullisempi. Suurin syy tähän on infrastruktuurikustannukset. Johdinauton etuna on puolestaan mm. vähäiset päästöt. Melusta aiheutuvia kustannuksia ei huomioitu tässä tutkimuksessa, koska on vaikea arvioida melusta kärsivien asukkaiden määrä linjan varrella sekä sitä, kuinka paljon melu vähenee jos kyseinen linja muutetaan johdinautoksi. Hiljaisen kulkuneuvon tuomia hyötyjä on siis erittäin vaikea arvottaa taloudellisesti, mutta se lisää kiistatta asumisviihtyvyyttä kaupungeissa. Johdinautolla on myös raitio liikenteen suuntainen kaupunkikuvallinen etu tavanomaiseen bussiin verrattuna.

Laskelmat toivat vertailutietoa myös johdinauton ja raitiovaunun kustannuseroista. Raitiovaunu osoittautui reilut kaksi kertaa kalliimmaksi kuin johdinauto. Ero selittyy pääosin korkeammista kauluston investointikustannuksista ja infrastruktuurikustannuksista. Tehdyt laskelmat puoltavat suunniteltujen alhaisen matkustajamäärän raitiovaununlinjojen muuttamista johdinautolinjoiksi. Myös johdinauton kustannuserot nivelbussiin jäivät niin pieniksi, että suuren matkustajamäärän omaavalla bussilinjalla voisi olla taloudellista liikennöidä johdinautolla, varsinkin jos huomioidaan päästöt ja meluhaitat.

Johdinautojärjestelmän toteuttaminen Helsinkiin edellyttää kuitenkin järjestelmän riittävän suurta kokoa, jollaiseksi on arvioitu vähintään keskikokoinen bussivarikko (sähköjärjestelmän vuoksi varikon seisontapaikkojen tulee olla vähintään katoksellisia tai sisätiloja) Muutoin järjestelmän perustamiskustannukset ja toiminnan kiinteät kustannukset jakautuvat pienelle liikennemäärälle ja järjestelmästä tulisi suhteessa kalliimpi. Taloudellisessa mielessä tarkoituksenmukaisen johdinautojärjestelmän toteuttaminen edellyttääkin sitä, että kantakaupungin sisäisten bussilinjojen lisäksi joko esikaupunkien bussilinjoja tai nykyisiä/suunniteltuja raitiolinjoja tai molempia muutetaan johdinautoilla liikennöitäviksi.

Johdinauton uudelleen tuleminen on ollut kansainvälisesti nähtävissä jo noin kymmenen vuoden ajan. Joukkoliikenteen lisäksi myös henkilöautopuolella kiinnostus sähkön hyödyntämiseen voiman lähteenä on kohonnut. Nämä molemmat suuntaukset tukevat toisiaan ja luovat hyvät edellytykset akkutekniikan kehitykselle - joka on edennyt jo viime vuosina suurin harppauksin - myös tulevaisuudessa. Tällä hetkellä johdinautoihin on saatavissa apuvoiman lähteiksi akkuja, jotka mahdollistavat osan reitistä liikkumisen ilman yhteyttä yläpuolisiin johtoihin. Tämä tekee johdinautoista joustavampia ja mahdollistaa linjojen viemisen myös kaupunkikuvallisesti herkkiin kohteisiin ja harvemmin liikennöidylle esikaupunkialueelle.

Tämä selvitys oli esiselvitys, joka toi esille peruslähtökohdat johdinautojärjestelmän toteuttamiselle. Työn pohjalta voidaan todeta, että ilmapiiri on muuttunut johdinautojärjestelmälle suotuisammaksi ja selvitystyötä sen uudelleen hankkimiseksi Helsinkiin tulisi jatkaa.



Kuva 15. Johdinauto Hakaniemessä (kuva WSP Finland Oy, taustakuva Clear Channel).

11. Lähteet

- /1/ Trolley-motion (2008). <http://www.trolley-motion.com/de/>
- /2/ Aspenberg, N (1996). *Trolleybussene i Norge*. Oslo: [Bane-forlaget](#), 96.
- /3/ [Bergen Light Rail](#). *Vision for public transit for the Bergen region*. Retrieved on 2007-01-25
- /4/ ZVV (2008). Zürichin liikennelaitos. <http://www.zvv.ch/de/>
- /5/ Satdep (2008). Riian liikennelaitos. <http://www.satdep.lv/>
- /6/ TCL (2008). Lyonin liikennelaitos. <http://www.tcl.fr/index.asp>
- /7/ Obus-Soligen (2008). www.obus-soligen.de
- /8/ Sobus(2008) Soligenin liikennelaitos. <http://www.sobus.net/>
- /9/ HKL (2008). Helsingin kaupungin liikennelaitos. <http://www.hkl.fi>
- /10/ Melun vaikutukset. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=231049&lan=FI>
- /11/ Lahti ym. (2007) Helsingin kaupungin meluselvitys 2007. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 6/2007. Helsinki 2007. 45s.
http://www.hel.fi/static/ymk/meluselvitys/Julkaisu_FIN.pdf.
- /12/ Tieliikenteen ajokustannusten laskenta. Tiehallinto 2005. Helsinki. 48s.
http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100038-v-05tiel_ajokust_laskenta.pdf
- HKL (2008), Ympäristöraportti 2007, D: 4/2008. 28 s.
- /13/ Schuchmann 2008,
http://www.trolley-motion.com/common/files/UITP_Vologda_28022008_v2.pdf
- /14/ Sveitsin julkisen liikenteen liitto. <http://www.voev.ch/Umweltbilanz.html>
- /15/ Richard C. DeArmond. <http://www.sfu.ca/person/dearmond/phono/Lyon-C1.JPG>
- /16/. Puhelinkeskustelu LVM:n Liikenneneuvoksen Kari Saaren kanssa (5.3.2009).
- /17/ Daniel Steiner. Das moderne Trolleybus-System, Zahlen, Fakten, Argumente. (2008).
- /18/ Energiatallisuus (2009). Energiavuosi 2008 sähkö.
<http://www.energia.fi/fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/energiavuosi%202008%20s%C3%A4hk%C3%B6.html>.





LIITTEET



Liite 1. Johdinautot Euroopassa kaupungeittain ja maittain.

Kaupungin nimi	ajoneuvojen lkm	verkon laajuus	aloitusvuosi	asukkaita
Belgia				
Gent	18	1	1989	230 000
Bosnia ja Hertsegovinan				
Sarajevo	?	4	1984	300 000
Bulgaria				
Burgas	n. 11	1	1989	190 000
Dobric	n. 20	5	1988	95 000
Gabrovo	n. 20	5	1987	65 000
Haskovo/Chaskowo	n. 9	3	1993	80 000
Pazardzik	n. 13	3	1993	75 000
Pernik	46	3	1987	81 000
Pleven	71	15	1985	115 000
Plovdiv	?	6	1955	340 000
Ruse	?	10	1988	160 000
Sliven	n. 30	5	1986	950 000
Sofia	148	9 linjaa (104 km)	1941	1 140 000
Stara Zagara	?	2	1988	140 000
Varna	n.33	3	1986	310 000
Veliko Tornova	n. 10	3	1988	65 000
Vratza	14	4	1988	65 000
Espanja				
Castellon		3	2008	157 000
Hollanti				
Arnhem	42	4	1941	140 000
Italia				
Ancona	9	1 linja (10 km)	1949	100 000
Bolonia	54	3 linjaa (11,8 km)	1991	370 000
Cagliari	51	3 linjaa (46 km)	1952	160 000
Chieti	3	1	1950	70 000
Cremona	20	2 linjaa (7 km)	1940	600 000
Genova	20	1 linja (7 km)	1997	600 000
La Spezia	14	2 linjaa (12,2 km)	1988	100 000
Lecce	12		2008	90 000
Milano	152	4 linjaa (40,4 km)	1933	1 300 000
Modena	?	3 linjaa (11,7 km)	1950	180 000
Napoli	?	4 linjaa (42 km)	1940	1 000 000
Napoli-Aversa	13	2 linjaa (39 km)	1964	1 000 000
Parma	?	4 linjaa (17,4 km)	1953	175 000
Rimi	7	1 linja (12,2 km)	1939	1 350 000
Rooma	30	1	2005	2 500 000
San Remo	?	3 linjaa (28 km)	1942	50 000
Itävalta				
Linz	19	4 linjaa (18,7 km)	1944	185 000
Salzburg	81	8	1940	150 000
Latvia				
Riika	138	20 linjaa (281 km)	1947	730 000
Liettua				
Kaunas	140	16 linjaa (136 km)	1965	375 000
Vilna	259	19 linjaa	1956	540 000

Kreikka				
Ateena	366	22	1954	730 000
Moldova				
Baldi	35	3	1972	120 000
Bendery	20	5	1993	115 000
Chisinau	339	26	1949	650 000
Tiraspol	n. 40	7	1967	170 000
Norja				
Bergen	8	1 linja (7,3 km)	1950	238 000
Portugali				
Coimbra	17	3	1947	100 000
Puola				
Gdynia	85	12	1943	255 000
Lublin	35	8	1953	360 000
Tychy	22	5	1982	130 000
Ranska				
Limoges	40	5	1943	140 000
Lyon	113	7	1935	450 000
Nancy	25	1	1982	130 000
St. Etienne	22	2	1942	180 000
Romania				
Baia	10	1 linja (11 km)	1996	135 000
Brasov	n. 80	6 linjaa (28 km)	1959	285 000
Bucuresti	312	19 linjaa (144 km)	1949	1 900 000
Cluj-Napoca	99	8 linjaa (99 km)	1959	301 500
Constanta	20	2 linjaa (8 km)	1959	3 010 000
Galati	3	1 linja (13 km)	1989	300 000
Medias	8	3 linjaa (9 km)	1989	55 000
Piatra-Neamt	30	6 linjaa (21 km)	1995	105 000
Ploesti	20	2 linjaa (7 km)	1997	230 000
Sibiu	28	6 linjaa (24 km)	1983	155 000
Targu Jiu	17	2 linjaa (13 km)	1995	100 000
Timisoara	78	7 linjaa (24 km)	1942	315 000
Vaslui	5	1 linja (5 km)	1994	78 000
Ruotsi				
Landskrona	3	1 linja (3,34 km)	2003	34 000
Saksa				
Eberswalde	15	2 linjaa	1940	44 000
Esslingen	9	2 linjaa	1944	92 000
Solingen	49	6 linjaa (70 km)	1952	164 000
Serbia				
Belgrad	126	8 linjaa (61,8 km)	1947	1 700 000
Slovakia				
Banska Bystrica	36	7	1989	85 000
Bratislava	137	14 linjaa (41,5 km)	1941	425 000
Kosice	27	2	1993	240 000
Presov	48	7	1962	90 000
Zilina	43	10	1994	85 000
Sveitsi				
Basel	8	1 linja (4,9 km)	1941	190 000
Bern	25	4	1940	130 000
Biel/Bienne	22	2 linjaa (16,3 km)	1940	50 000

Fribourg	21	3	1949	35 000
Genève	92	6	1942	185 000
La-Chaux-de-Fonds	15	3	1949	35 000
Lausanne	85	10	1932	115 000
Luzern	62	6	1941	120 000
Montreux-Vevey	18	1	1957	25 000
Neuchatel	33	4 linjaa (25,7 km)	1940	35 000
Schaffhausen	8	1 linja (8,8 km)	1933	35 000
St. Gallen	29	3	1950	70 000
Winterthur	31	4	1938	95 000
Zürich	81	6 linjaa (54 km)	1939	365 000
Tsekin tasavalta				
Brno	143	13	1949	380 000
Ceske Budejovice	57	6	1991	95 000
Chomutov	30	6	1995	50 000
Hradec Kralove	41	5	1949	95 000
Jihlava	32	5	1948	50 000
Marianske Lazne	6	3	1952	15 000
Opava	35	9	1952	60 000
Ostrava	35	10	1952	315 000
Pardubice	64	8	1952	90 000
Pilzen	88	6	1941	165 000
Teplice	46	10	1952	50 000
Usti nad Labdem	66	11	1988	95 000
Zlin	62	12	1944	80 000
Ukraina				
Alchevsk	56	8	1 954	116 000
Alushta	?	2	1 983	30 000
Antratsit	7	2	1987	60 000
Artemiivsk	36	6	1968	80 000
Belaja Zerkow	49	5	1980	200 000
Cherkassy/Tscherkassy	135	15	1965	300 000
Chernigov/Tschernigow	174	9	1964	310 000
Chernivtsi/Tschernowzy	n.150	10	1939	240 000
Dnipropetrovsk	325	20	1947	1 030 000
Dobropillya	7	2	1968	34 000
Donezk	301	19	1940	990 000
Dzerzhinsk	10	2	1985	41 000
Horlivka/Gorliwka	53	4	1974	280 000
Iwano-Frankowsk	48	8	1983	220 000
Kerch/Kertsch	10	1 linja (6,6 km)	2004	50 000
Kharkiv/Charkiw	415	31	1939	1 430 000
Khartsyzsk	137	3	1982	260 000
Kherson/Cherson	98	7	1960	320 000
Khmelnitskiy	137	16	1970	260 000
Kiew/Kyiv	?	43	1935	2 500 000
Kirovograd	?	7	1967	250 000
Kramatorsk	31	3	1971	180 000
Krasnodon	50	3	1988	50 000
Kremenchug	n. 80	5	1966	230 000
Kryvyy Rih	110	20	1957	650 000
Lisichansk	9	3	1972	110 000

Lugansk	39	5	1962	450 000
Lutsk	87	11	1972	215 000
Lviv	135	13	1952	720 000
Makiyivka	?	2	1969	380 000
Mariupol	72	9	1970	480 000
Mikolayiv/Nikolayev	?	4	1967	510 000
Odesa/Odessa	220	16	1941	1 030 000
Poltava	51	14	1962	320 000
Rivne/Rowno	72	9	1974	255 000
Sevastopol	n. 200	17	1950	380 000
Severodonetsk	46	6	1979	115 000
Simferopol	?	23	1959	340 000
Slavyansk	47	5	1977	120 000
Stakhanov	?	3	1970	85 000
Sumy	95	17	1967	295 000
Ternopil	78	11	1975	235 000
Vinnytsya/Winniza	?	12	1964	360 000
Vuglegirsk/Uglegorsk	4	2	1982	11 000
Yalta/Jalta	?	3	1961	77 000
Zaporizhzhya	?	10	1949	80 000
Zhitomir/Shitomir	?	14	1962	280 000
Unkari				
Budapest	171	13	1949	1 700 000
Debrecen	31	3	1985	210 000
Szeged	39	4	1979	160 000
Valkovenäjä				
Babruysk/Bobruisk	61	3 linjaa	1978	220 000
Brest	?	7 linjaa	1981	300 000
Gomel	236	20 linjaa	1962	480 000
Hrodna/Grodno	n. 150	12 linjaa	1974	320 000
Minsk	1031	60 linjaa	1952	1 740 000
Mogilew	118	10 linjaa (81 km)	1970	365 000
Vitebsk/Wizebsk	85	6 linjaa	1978	342 000
Venäjä				
89 eri kaupunkia				
Viro				
Tallinna	126	8 linjaa	1965	400 000

Liite 2. Johdinautokaupunkien tarkempi esittely

Zürich

Zürichin vaikutusalueella asuu noin miljoona ihmistä. Julkinen liikenne on kaikin tavoin rakennettu ja muokattu houkuttelevaksi ja helpoksi käyttää. Julkinen liikenne perustuu keskustan taajama-alueella raitiovaunuihin ja johdinautoihin. Lähiliikenne hoidetaan dieselbussikalustolla ja lähijunilla. Taajamaliikenteestä noin 60 % tehdäänkin joukkoliikenteellä ja henkilöautolla noin 30 %.

Sähköisen kaupunkiliikenteen alkua oli vuonna 1882 yksityisen yrittäjän perustama Rässli tram, mutta vuoteen 1920 mennessä Zürichin kaupunki otti haltuunsa kaupunkiliikenteen ja yhtiöitti sittemmin sen toiminnan omaksi liikenneyhtiöksi (VBZ). Ensimmäinen johdinautolinja avattiin vuonna 1939. Ensimmäinen nivelbussi hankittiin vuonna 1955 ja vastaavanlainen johdinauto vuonna 1957. Kaluston joustavan ja tehokkaan käytön sekä matkustajien ajantasaisen informoinnin mahdollistava liikenteenohjaus radioteitse alkoi jo vuonna 1971.

Raitiotiekaluston voimakasta modernisointia on toteutettu vuodesta 1976 lähtien. Tiheä kulkuvuorojärjestelmä 7/8, otettiin käyttöön raitiotiellä vuonna 1983. Vuonna 1985 otettiin käyttöön laaja-alainen yhtenäinen kaupunkilippu.

Vuonna 1990 luotiin laaja alueellinen liikenneyhteistyöyhtiö – Züricher Verkehrsverbund (ZVV), johon myös VBZ liittyi osaksi. Samana vuonna otettiin käyttöön ensimmäinen matalalattiabussi. Vuonna 1996 avattiin liikenne ulkopuoliselle kilpailulle. Tällöin kolme bussilinjaa siirtyi yksityiseen hoitoon.

Uusin raitiotiekalustomalli Cobra tuli liikenteeseen vuonna 2001. Samalla vanhaa vaunukantaa tehostettiin rakentamalla niihin kahden vaunun väliin matalalattiainen keskipala. Prototyyppi tehtiin VZB:n omana työnä. Sittemmin tämä konsepti on viety läpi koko kaluston ja idea on levinnyt muuallekin.

Johdinautopuolella on viimeisimpänä uutuutena otettu käyttöön kaksoisnivelbussi, johon mahtuu lähes 200 matkustajaa. Hess AG / Vossloh Kiepe GmbH:n valmistama ajoneuvo on 24,7 m pitkä, 2,55 m leveä, 3,4 m korkea. Istumapaikkoja siinä on 62 ja seisomapaikkoja 130. Ajoneuvon ajomassa on 38 tonnia ja huippunopeus 60 km/h. Siinä on 2 x 160kW ajomoottorit ja 60 kW apumoottori.


Suurin osa kalustosta on matalalattiaista ja kaikki kalusto mahdollistaa myös liikuntarajoitteisten liikkumisen. Myös polkupyörän sujuva kuljetus on otettu kaluston tilajärjestelyissä ja rakenteessa huomioon.

Yhtiö jatkaa erittäin suotuisissa merkeissä – matkustajamäärät kasvoivat vuoden 2007 aikana noin 4,5 %. VBZ:n liikevaihto oli vuonna 2007 n. 280 M€.

Julkisella liikenteellä on vahva sekä kansan että poliitikkojen tuki ja sitä kehitetään ja uudistetaan jatkuvasti. Internetissä tietoa on osoitteissa www.zvv.ch ja www.vbz.ch.

Riika

Kaupungin vaikutusalueella asuu noin miljoona ihmistä. Sähköinen kaupunkiliikenne alkoi Riassa raitiotien valmistuessa vuonna 1900. Toisessa maailmansodassa kaupungin liikennejärjestelmä tuhoutui lähes täysin. Se loi mahdollisuuden johdinautolle, joka vuonna 1947 otettiin käyttöön raitiotien rinnalle keskustaliikenteeseen. Sen jälkeen ne ovat rinnan operoineet keskusta-alueilla. Lähiliikenne hoidetaan busseilla ja paikallisjunalla.



Tällä hetkellä Riiaassa on meneillään sekä kaluston että verkoston totaalinen modernisointi. Vuoden 2008 alussa tehdyn sopimuksen mukaan Skoda toimittaa 150 uutta modernia johdinautoa. Lisäksi kesäkuussa 2008 tehdyn sopimuksen mukaan Skoda toimittaa 20 kpl uutta 200-paikkaista modernia raitiovaunua. Myös joitakin Solaris johdinautoja on hankittu viime vuosina.

Investointien uskotaan kääntävän julkisen liikenteen suosion jälleen kasvuun. Henkilöautokannan kasvaminen vuoden 1990 jälkeen romahdutti julkisen liikenteen käytön noin kolmasosaan sitä edeltävästä ajasta. Riian joukkoliikennettä kannattaa siis seurata tulevaisuudessa. Lisää tietoa löytyy latviaksi www.rigassatiksme.lv.

Lyon

Lyonin vaikutusalueella asuu noin 1,8 miljoonaa ihmistä, itse kaupungissa n. 500 000 ja liikennelaitoksen (TCL) toiminta-alueella noin 1,2 miljoonaa. Laajuudeltaan Lyonin liikenneverkosto on Ranskan toiseksi suurin, vain Pariisin verkosto on suurempi.

Johdinautoliikenne Lyonissa alkoi vuonna 1935, kun silloinen liikenneyhtiö (nykyinen Sytral), joutui karsimaan ankarasti kustannuksia ja hakemaan raitiotietä edullisempia liikenneratkaisuja. Tällöin muutettiin kaksi raitiolinjaa johdinautoilla hoidettaviksi. Vasta sota-aika ja polttoainepula johtivat johdinautolinjaston merkittävään laajentamiseen. Sodan jälkeinen, tosin kiistanalainen, päätös luopua kokonaan raitiotieliikenteestä, johti merkittävään johdinautoliikenteen laajentumiseen. Laajimmillaan verkosto oli 1950-luvulla, jolloin johdinauto liikennöi kaikkiaan 18 linjalla.

1960-luku oli poliittisesti sekavaa aikaa ja johdinautojenkin kohtalo oli uhattuna. Ensimmäinen öljykriisi palautti johdinautot jälleen vahvasti poliitikkojen mieliin sekä kaupunkikuvaan ja johti kaluston modernisointiin. Metron tulo 1980-luvulla hillitsi kuitenkin johdinautoverkoston laajentumista. Aivan erityisesti tilannetta muutti uuden poikittaisen metrolinjan D tulo vuonna 1991. Se vähensi johdinauton käyttäjiä vaikutusalueellaan ratkaisevasti ja vaaransi johdinauton suosion.

Vuonna 2000 joukkoliikennejärjestelmä kehittyi jälleen, kun Lyoniin tuli moderni matalalattiaraitiotie kahdelle linjalle. Se ei kuitenkaan vaarantanut johdinautojen kehitystä, vaan vuodesta 2002 alkaen on johdinautokalustoa uusittu voimakkaasti. Vuodesta 2006 on ajettu pääosin uudella kalustolla. Tällä hetkellä Lyonissa liikennöidään kahdeksaa linjaa johdinautolla ja uusia linjoja on sekä rakenteilla että suunnitteilla.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Lyonissa kuten monessa muussakin kaupungissa, on johdinauto löytänyt luontevan roolinsa muiden kaupunkiliikennemuotojen joukossa. Se ei varsinaisesti ole raitiotien kilpailija, mutta se soveltuu vaikeisiin ympäristöihin raitiotietä joustavammin ja näitä täydentäen. Keski-Euroopassa aletaan löytää luonteva tasapaino eri joukkoliikennemuotojen välillä, ja tässä järjestelmässä on johdinauto vakiinnuttanut asemansa.

Päivittäin Sytralin palveluja käyttää keskimäärin noin 1,4 miljoonaa matkustajaa. Matkustajamäärät ovat jatkuvassa noin viiden prosentin kasvussa vuosittain. Lisäksi julkinen liikenne näyttää voittaneen itselleen myös lisää käyttökertoja, sillä asukasta kohden laskettu matkamäärä oli lisääntynyt vuodesta 2005 vuoteen 2006 1,9 prosenttia. Sytralin budjetti vuonna 2008 oli noin 650 miljoonaa euroa. Matkustajien maksamien lipputulojen osuus oli 23 % eli noin 150 miljoonaa euroa. Keskimääräinen lipun hinta on Lyonissa noin 1,5€.

Lyonin julkisen liikenteen strategia on onnistunut lisäämään julkisen liikenteen käyttöä ja vastavasti vähentämään yksityistä autoliikennettä kaupungin alueella. Viimeisimmän 10 vuoden tarkastelujaksolla on syntynyt itseään vahvistava positiivinen kierre kansan, julkisen liikenteen ja poliitikkojen välille.

Lisää tietoa löytyy osoitteista www.tcl.fr ja www.sytral.fr.

Bergen

Norjassa Bergen on ainoa myös johdinautoilla liikennöivä kaupunki. Kaupungin väkiluku on noin 250 000 ja sen vaikutusalueella asuu noin 350 000 ihmistä. Erityisenä johdinautoa suosivana tekijänä ovat kaupungin topografiaan vaikuttavat "seitsemän vuorta", joiden suojassa ja rinteillä kaupunki sijaitsee. Johdinauto soveltuu erinomaisesti Bergenin mäkiseen katuverkostoon. Erikoislaatuisuutensa vuoksi Bergen ei ole laajemmalti ottaen hyvä vertailukohta Helsinkiin, mutta kalustotekniikan osalta se on kiinnostava, koska ilmasto on samalla tavalla vaativa kuin Suomessa.

Ensimmäinen johdinautolinja rakennettiin jo viime vuosisadan alkupuolella omin voimin ja otettiin käyttöön jo ennen toista maailmansotaa. Saksalaiset miehittäjät kiinnostuivat siitä niin, että veivät sen Saksaan, josta se sitten sodan jälkeen saatiin Bergeniin takaisin. Liikenteeseen johdinautojärjestelmä otettiin uudelleen vuonna 1952 korvaamaan linjan 2 raitiotie. Kalustoa rakennettiin lisää lähes omana työnä. Englannista hankitun korin muutokset tehtiin omin voimin ja sähköpuoli tuli BBC:ltä. Tällä kalustolla ajettiin aina vuoteen 1972, jolloin Skodalta hankittiin uutta kalustoa. 1980-luvulla uusittiin kalustoa hankkimalla kuusi MAN:in ja kolme Mercedesen ajoneuvoa.

Tarkastelun kannalta kiinnostava vaihe ajoittuu aivan viime vuosiin. Vuodesta 2003 on Bergenin kalustona ollut kahdeksan modernia matalalattiaista-duo-bussi. Niistä kuusi on Neoplanin matalalattiaista nivelmallia N6221 varustettuna myös pienellä diesel-moottorilla ja kaksi Mercedes Benziä varustettuna tehokkaammalla diesel-moottorilla. Vossloh Kiepe GmbH on molemmissa sähköisen osan toimittajana.

Muuna julkisena liikenteenä toimii kattava bussiverkosto, paikallisjunat, ilmaradalla kulkeva "riippuraitiotie" ja vaijerivetoinen vuorirata. Tavanomainen raitiotieliikenne lopetettiin kaupungista vuonna 1965. Henkilöautolla ajoa kaupunkialueella on rajoitettu tietullein vuodesta 1986.

Mielenkiintoinen hanke on rakenteilla oleva lähes 10 kilometrin pituinen pikaraitiotie Bybanen, jonka pitäisi tulla käyttöön 2010. Se oli sekä päätösvaiheessa että yhä edelleenkin voimakkaan keskustelun kohteena.

Liikenneyhtiön sivuilta löytyy lisää tietoa Bergenin liikenteestä osoitteesta www.tide.no.

Solingen

Solingen sijaitsee voimakkaasti kumpuilevalla alueella Saksassa lähellä Düsseldorfia. Kaupungin väkiluku on 170 000, mutta vaikutusalueen väestöpohja on yli 200 000. Erityisenä johdinautoa suosivana tekijänä on kaupungin mäkinen topografia, jossa johdinauto on kyvykkäämpi kuin dieselbussi.

Johdinauto tuli Solingeniin vuonna 1952 korvaamaan raitiotielinjoja pääasiassa kustannussyistä, koska sodassa lähes täystuhon kärsineen raitiotieverkoston uusiminen olisi maksanut kaksi kertaa niin paljon kuin johdinauton käyttöönotto. Tällä hetkellä käytössä on jo kaluston neljäs sukupolvi. Pitkän historian seurauksena on kalustokirjo laajahko. Kaikki uudemmat ajoneuvot ovat matalalattaisia noin 150-paikkaisia duo-nivelbusseja, joissa on diesel-apumoottori.

Johdinauton kohtalon kannalta ratkaiseva vuosi oli 1996, jolloin poliitikot valitsivat, että uusi tuleva linja liikennöidään johdinautolla. Sen jälkeen on kalustoa uusittu voimakkaasti. Kaupungin seutuliiikenne liikennöidään busseilla.

Laajempaa tietoa on Solingenin liikenneyhtiön kotisivulla www.sobus.net, josta löytyy myös erittäin kattavat numeeriset tiedot.



Liite 3. Johdinauton vaatima infrastruktuuri ja sen kustannukset

Johdinauton vaatimat kiinteät tukijärjestelmät:

- o Sähkön saantiin liittyvät järjestelmät
- o Tasavirtasyöttöasemat
- o Syöttöjohdot
- o Ajojohdot (kaksi ajolankaa) erityisrakenteineen

Varikon vaatimukset:

- o Kunnossapitovarikko sekä pienhuoltotilat ja -tasot
- o Seisontahallit ja ajovalmistelutilat
- o Korin pesulinja ja yleisvalmistelutilat
- o Korin pohjanpesutila (talven jälkeinen perusteellinen pesu ennen katsastusta)
- o Jännitetyöhön soveltuva nostolavakalusto (mahdollisesti useampi yksikkö)

Talviliikenteen jääkelien ongelmien välttämiseksi tulee mahdollisesti huolehtia pysäkkialueen liikenneväylän sulanapitolämmityksestä. Johdinauto ei voi liikkua yhtä vapaasti kuin dieselbussi tai sillä on oltava useampi vetävä pyöräpari. Pidempi kalusto voi tarvita mahdollisia ajomerkintöjä esim. pysäkkialueilla jotta aisat eivät karkaa ajolangoilta.


Varsinaiseen rakentamiseen tarvittavaa kalustoa ja varusteita ei tässä yhteydessä käsitellä, koska sellaiset työt ovat luonteeltaan tyypillisiä urakoita.

Vaikka johdinautojärjestelmällä on enemmän synergiaa raitiotiejärjestelmän kuin dieselbussijärjestelmän kanssa, ei se juurikaan tarvitse kiskoliikenteelle välttämätöntä turvalaitejärjestelmää, vaan siinä voidaan nojautua kuljettajan näköhavainnointiin ja tarpeelliseen reagointiin. Kumipyöräkaluston jarrukitka on olennaisesti raitiotien kiskoja parempi. Vain vaihdekujat yms. saattavat vaatia erityisrakenteita turvalaitepuolella.

Rakenteet ja kustannukset

Johdinauton ajojohto rakennetaan yleensä ilman painokiristyksiä vinoripustuksilla (pendelirakenne), jolloin rakenne kompensoi suuren osan lämpötilan muutoksen aiheuttamasta ajolangan pituuden muutoksesta ja ajolangan kireys pysyy lähes vakiona. Erikoistilanteissa joudutaan kuitenkin rakentamaan myös painokiristettyjä ajojohtoja. Tähänkin on kehitetty sopivat rakenneosat. On myös mahdollista rakentaa kannattimellinen paino- tai jousikiristetty ajojohto, jolloin päästään varsin pitkiinkin tukipisteväleihin ja korkeisiin ajonopeuksiin.

Alla esitetyt hinnat johdinauton tarvittavista rakenteista ovat Keski-Euroopassa vallitsevia keskimääräisiä urakkahintoja (työ ja materiaali).

Kohde	Tarkennus
Tasavirtasyöttöasema Hintataso on 500 000 € (rakennuksineen)	Johdinauton virtajärjestelmäksi lienee muodostumassa 750 V tasavirta (järjestelmiä on 600 VDC ... 1000 VDC). Rakenne on pääosin sama kuin raitiotiellä, mutta tehotarve vain reilu puolet. Johdinautolle voidaan käyttää raitiotien kanssa yhteisiä syöttöasemia, mutta ei yhteisiä linjalähtöjä, koska paluuvirtapiirejä ei saa sotkea (sähköturvallisuus).
Syöttöjohdot (syöttökaapelit)	Näiden tarve riippuu täysin sähköjärjestelmän topografiasta. Parhaimmillaan ne ovat vain muutamia kymmeniä metrejä ja rajoittuvat matalan jännitetason ja siitä seuraavien suurten virtojen takia muutamiin satoihin metreihin. Niiden sijoittelussa on erityisesti otettava huomioon tasavirran aiheuttamat magneettikentät.
Syöttöpiste pylvääseen asennettuna. Hintataso 6 500 € / kpl.	Ilman erotinta
Erotin pylvääseen asennettuna. Hintataso 15 000 € / kpl.	Näissä on varsin usein kauko-ohjattava erotin, mikä nostaa kustannuksia.
Kaksisuuntainen ajojohto (yhteensä neljä kuparista ajolankaa, tukirakenteet osin yhteisiä). Hintataso 300 000 € / km. Ajojohtimen tavoitekorkeus on tyypillisesti 5,5 metriä. Korkeampi on matalaa parempi, eli se on suojattu korkeilta kuorma-autokuljetuksilta. Zürichissä ajolangan korkeus on tyypillisesti 5,8 - 6,0 m.	 Mutka, suoralla rakenne on kevyempi.
Johdinautolinja aiheuttaa vähemmän sähkömagneettisia häiriöitä kuin raitiotielinja. Johdinauton meno- ja paluuvirran johtimet kulkevat lähekkäin jolloin magneettikentät kompensoivat toinen toisensa. Molemmat johtimet ovat ylhäällä eli kauempana ihmisistä kuin raitiotiessä.	

Ajojohdolla sijaitseva risteämäkappale / myötävaihde (mekaaninen kuparista muokattu rakennelma).

Hintataso 21 000 €/ kpl.

Itse osa on varsin yksinkertainen, mutta vaatii merkittävät ripustusrakenteet.

Ajojohtoon mekaaninen myötävaihde on rakenteeltaan ja hinnaltaan samantapainen



Sähköinen ajojohtovaihde.

Hintataso 55 000 €/ kpl.

Vaihteiden ohjaus on toteutettu (ainakin) kolmella eri tavalla:
induktiosilmukka maassa ja anturi autossa, vastaanotinantenni ajojohtossa ja anturi autossa, kantoaaltotekniikkaan perustuva järjestelmä.

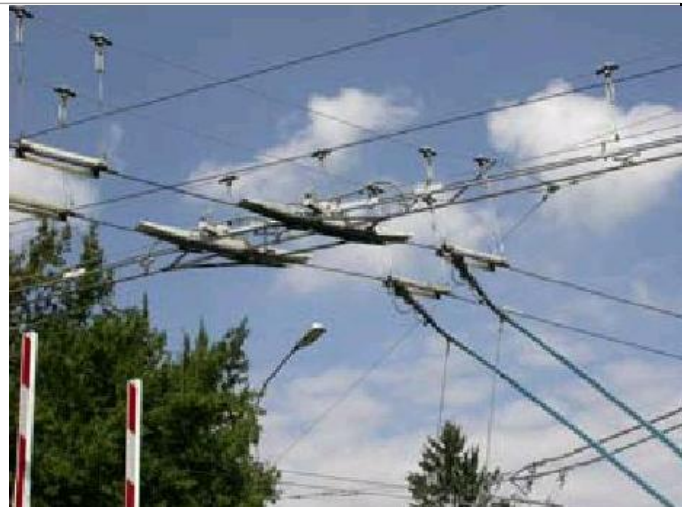


Risteämä raitiotien kanssa.

Hintataso: useampi kymmenen tuhatta euroa

Toimivia ratkaisuja on mm Zürichissä. Ne suunnitellaan kuitenkin aina tapauskohtaisesti, mikäli tällaiseen tilanteeseen pakosta joudutaan.

Oheisessa kuvassa on risteämä, jossa sekä johdinauto, että raitiovaunu saavat jatkuvasti virtaa. Jos joudutaan lähemmäs 90° risteystä, joudutaan osa risteystä ajamaan ilman virtaa (liukumalla).



Erillinen pylväs.

Hintataso 4 000 €/kpl (perustuksineen).

Pylväiden variaatiot ovat varsin laajat. Erityisesti perustukset saattavat kaupunkiympäristössä tulla hyvin hankaliksi ja kalliiksi. Seinäkiinnityksiin taas liittyy merkittäviä kiinteistönomistajan intressejä, mikä heijastuu hankaluuksina ja kustannuksina.

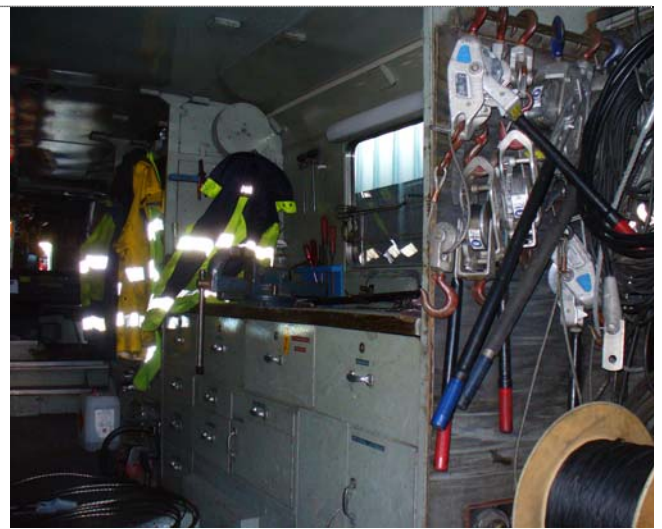
Alla esitetyt kuvat ja hinta-arvio ovat Salzburgista

Kohde	Tarkennus
Kunnossapitovarikko sekä pienhuoltotilat / -tasot	
Luonteeltaan raitiotievarikon kaltainen sähkö- ja mekaaninen varikko. Koska uudemmassa johdinautokalustossa sähköjärjestelmät on suurimmalta osin sijoitettu katolle, tarvitaan myös ylempi työtaso (kuten raitiovaunukalustolle), joka pitää sähköturvallisuuden vuoksi varustaa erityisellä lukitusjärjestelmällä ja saattaa edellyttää myöskin ajolankojen osalta erityisrakennelmia.	Varikkojohdotus on aika raskas. Hallien ulkopuolisesta johdotuksesta on mahdollista päästä eroon/vähentää sitä, jos kalusto liikkuu edes vähän myös omavoimaisesti. Hallissa tarvitaan johdotus ajovalmistelua varten.
Aisan virroitinosat hiilet ovat kulutustavaraa. Ne on tyypillisesti vaihdettava joka 3.– 5. päivä (noin. 2000 km välein). Vaihto on helppoa ja kestää vain muutaman minuutin (hiilipari maksaa noin 15€).	
Seisontahalli	
Johdinauto pitää säilyttää (ainakin talvella) katon alla suojassa, koska sen omalla katolla on paljon lumesta ja jäädästä haittaa saavaa sähkökalustoa.	
Korin alaosan pesutila (talven jälkeinen perusteellinen pesu).	
Ajojohdot on vedetty levälleen, jotta auto voidaan nostaa alapesua varten (Salzburg).	
Jokapäiväinen pesu tapahtuu automaattilinjal-la - paitsi auton ”herkät alueet”, jotka pestään käsin.	

Huoltohalli ja kevyt, siirrettävä ylähuoltotaso (Zürich Hardau Garage)



Jännitetyöhön soveltuva nostolavakalusto (mahdollisesti useampi yksikkö). Kalusto on samaa kuin raitiovaunuilla.



Mattis Schindler arvioi varikon lisäkustannuksiksi olemassa olevan varikon yhteyteen rakennettuna noin 300 000 € noin 20 johdinautolle.

Kustannusyhteenvedona voidaan alustavassa tarkastelussa käyttää seuraavia arvoja:

- syöttöasema n. 500 000 €/kpl (vähintään 1kpl / 3 km kaksisuuntaista ajojohtoa)
- kaksisuuntainen ajojohto n. 250 000 €/km
- varikon lisävarustelu noin 20 johdinautolle yhteensä 300 000 € olemassa oleva varikkokiinteistölle



Liite 4. Johdinauton kulkunopeus ja virroitinaisatekniikka

Johdinauton nopeus

Sähkö ajolangoista:

Nopeus noin 60 km/h. Jopa 80 km/h moottoritiellä voisi mahdollisesti olla mahdollista

50 kW apumoottorilla:

Tasamaalla kuormaamattomana 25 km/h, ylämäessä nopeus voi pudota 3 - 5km/h. Päästöt ovat Euro 2 mukaisesti.

100 kW apumoottorilla:

Tasamaalla kuormaamattomana 55 - 60 km/h, pakokaasut Euro 4 mukaisesti. Nousussa voi nopeus pudota 5 – 8 km/h.

200 kW ajomoottorilla (Bimode Bus):

Ajonopeus on 60 - 80 km/h rakenteesta ja kuormauksesta riippuen. Kulkuneuvoa voi siis käyttää sekä perinteisenä dieselbussina että johdinautona. Päästöt Euro 4 mukaisesti.

Ajo ilman yhteyttä ajojohtoihin (lyhyitä matkoja):

Akut tai superkondensaattorit tai niiden kombinaatio: on edelleen kehityksen alaisena. Tällä hetkellä ei vielä sitoumusta, mutta vaikuttaa erittäin lupaavalta. Tarvittavien komponenttien ja laitteiden paino on merkittävä ongelma.

Virroitinaisojen noston automatiikka:

Aisat nostetaan ja lasketaan pneumaattisesti. Nostettaessa aisat automaattisesti tulee ajoneuvon olla tarkasti määritellyssä paikassa paikallaan esim. pysäkillä. Ajolangoissa on pitkittäinen ohjaussuppilo helpottamassa ja varmistamassa aisojen nostoa (mm Transport Public de Fribourg (TPF) järjestelmä on varustettu näin).



Kuva 16. Ohjaussuppilo ajolangoissa (kuva R. Mättö)

Virroitinaisojen karkaaminen:

Viitaten edelliseen

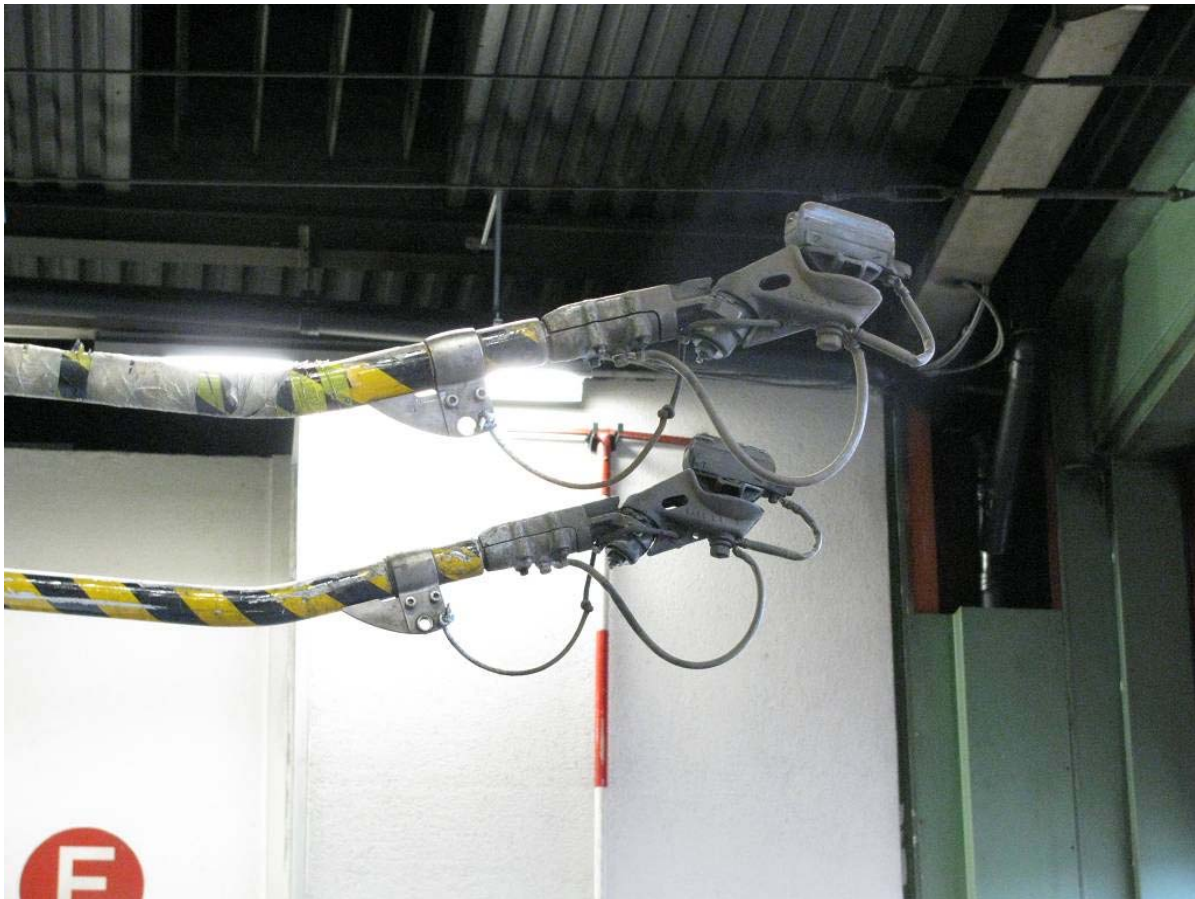
- a) Aisat nostetaan ja lasketaan pneumaattisesti tai
- b) Aisat vedetään alas automaattisesti ja nostetaan manuaalisesti.

Eli turvallisuuden takia ei nykyään aisoja koskaan enää päästetä "valloilleen".

Nosto langoille tapahtuu harjaantuneelta kuljettajalta muutamassa kymmenessä sekunnissa. Virroitinaisa irttaa helpohkosti vain kohtisuoraan alaspäin vetämällä, muutoin erittäin vaikeasti (vain suurehkolla voimalla).

Tilastollisesti Zürichin 80 ajoneuvon kalustolta karkaa aisa vuodessa noin 500 kertaa. Vuoden ajo-suorite on 4,4 Mkm, jolloin aisat irtoavat kerran 8 800 ajoneuvokilometrillä.

Zürichissä pidennettiin aisoja noin metrillä viiteen metriin vähentämään aisojen irtoamista. Aisan pää on Zürichissä ylöspäin kipattu, jotta se kulkee raitiotien ja johdinauton risteyksessä sujuvasti.



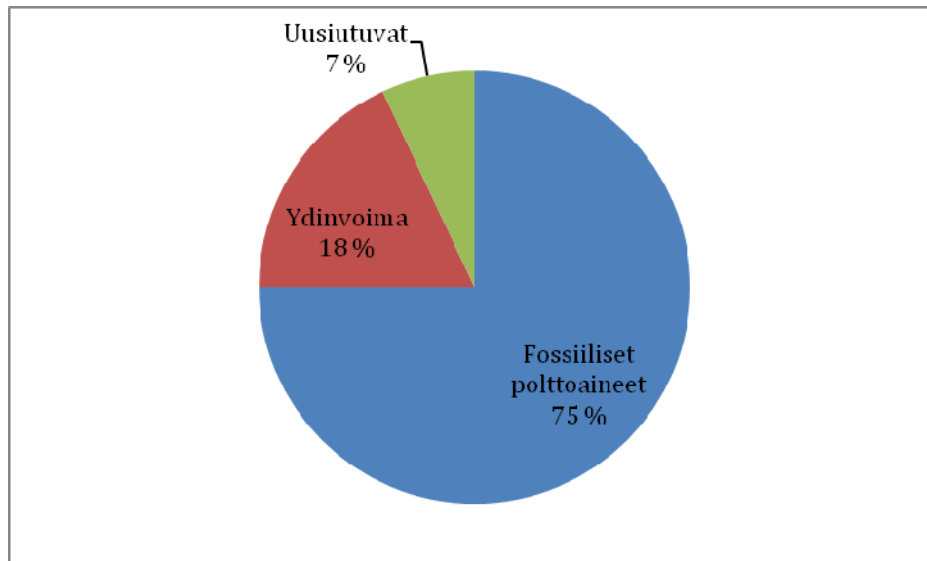
Kuva 17. Virroitin aisojen päät (kuva R. Mättö).

Lähteet:

Christoph Probst/Hess (Berater Bus und Trolleybus)

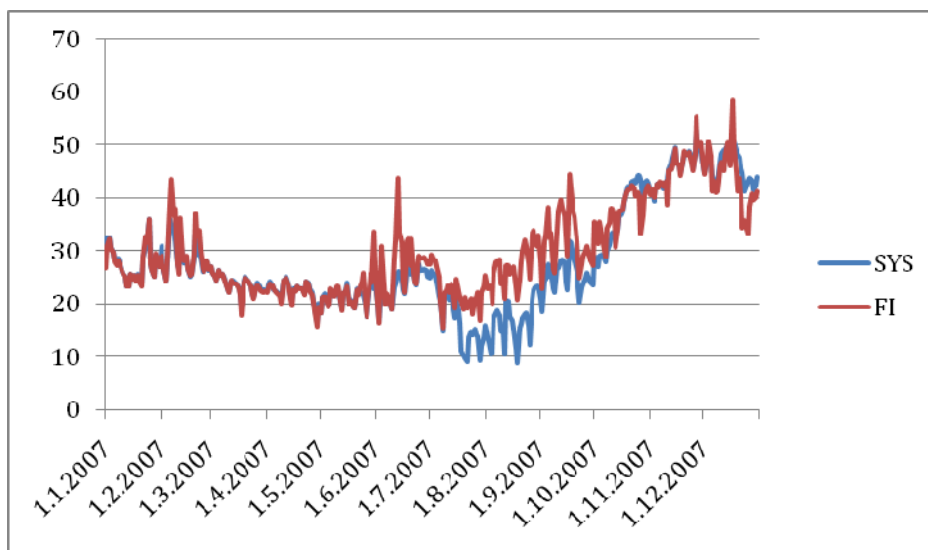
Liite 5. Energian tuotanto ja sähkökäyttöisen joukkoliikenteen hiilidioksiditase

HKL:n ympäristöraportissa 2007 HKL:n liikenteen hiilidioksidipäästöt tuotanto on laskettu olettaen, että sähkö ostetaan Helsingin Energialta (HKL). Laskemiseen on käytetty Helsingin Energian vuoden 2007 *Sähkön alkuperä ja ominaispäästöt* -selvitystä, jonka mukaan sähkön hiilidioksiditase on 260 g/kWh. Helsingin Energian sähköntuotannosta ainoastaan 25 % on hiilidioksidivapaata (18 % ydinenergia, 7 % uusiutuvaa, kuva 1). Helsingin Energian sähkön tuotanto muodostuu pääasiassa maakaasusta (48 %) ja kivihiilestä (27 %). (Helsingin Energia)



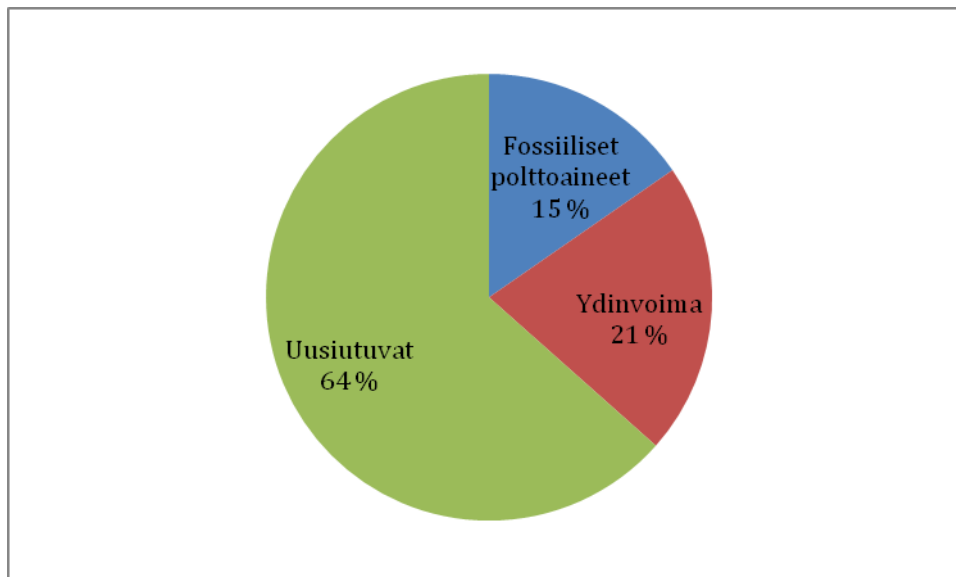
Kuva 1. Helsingin Energian sähkön alkuperä vuonna 2007. (Helsingin Energia)

Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden yhdistyttyä Suomessa tuotetun sähkön ominaispäästöjä ei ole määritetty erikseen. Tämä on luonnollista, sillä pohjoismaisessa sähköpörssissä (Nordpool) myytävällä sähköllä energian alkuperällä ei ole merkitystä. Näin ollen on perusteltua olettaa sähkön tuotannon hiilidioksiditaseen olevan yhtenevä Pohjoismaissa. Sähkömarkkinoiden toimivuus on hyvä, sillä yli 90 % ajasta sähkön siirrossa ei esiinny pullonkauloja ja Suomen aluehinta seuraa järjestelmän hintaa (kuva 2).



Kuva 2. Suomen sähkön aluehinta (FI) ja Nordpool-järjestelmähinta (SYS) vuonna 2007. (Nordpool)

Vuonna 2007 sähköntuotannon hiilidioksiditase pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla oli 98 g/kWh. (Energiateollisuus 2008) Pohjoismaisesta sähköntuotannosta 85 % on hiilidioksidivapaata. Pohjoismaiden sähkön tuotannon hiilidioksiditaseen vuosittaiseen vaihteluun vaikuttaa suuresti Norjan ja Ruotsin vesivoiman määrä. Pohjoismaiden sähkön tuotannon uusiutuvista energialähteistä 88 % on vesivoimaa, 3 % tuulivoimaa ja 9 % biopolttoaineita. (Nordel)



Kuva 3. Nordel-alueen sähköntuotannon alkuperä vuonna 2007. (Nordel)

Helsingin raitiovaunuliikenteen sähkönkulutus oli vuonna 2007 0,20 kWh/matkustajakilometri sisältäen myös raideverkon vaihteiden lämmityksen. (HKL) Matkustajakilometriä kohden laskettu hiilidioksidipäästö on tällöin Helsingin Energian sähköntuotannon mukaan laskettuna 52 g/km ja laskettuna pohjoismaisen sähköntuotannon hiilidioksiditaseen mukaan 20 g/km.

HKL:n ympäristölaskelmissa sähkökäyttöisten liikennevälineitten hiilidioksidipäästöt ovat yli kaksi kertaa suuremmat kuin jos lähtökohtana pidettäisiin koko pohjoismaisen sähköntuotannon hiilidioksiditasetta. Helsingin sähkökäyttöisen joukkoliikenteen hiilidioksidipäästöjä voidaan alentaa huomattavasti hankkimalla sähkö sellaiselta tuottajalta joka tuottaa sen hiilidioksidivapaasti. Yleisesti sähkökäyttöisen joukkoliikenteen kilpailukykyä arvioidessa on järkevää käyttää yleistä pohjoismaista sähkön tuotannon hiilidioksiditasetta.

Tulevaisuudessa hiilidioksidivapaa sähköntuotanto tulee muodostamaan nykyistä suuremman osan koko sähkön tuotannosta. EU:n sekä kansallisten energiaohjelmien ajamana investoinnit sähköntuotantoon tulevat keskittymään hiilidioksidivapaaseen tuotantoon. Vaikka päästöoikeuksien hinnat ovatkin kuluvan vuoden aikana laskeneet, voidaan tulevien kahden kymmenen vuoden aikana päästökaupan suosivan hiilidioksidivapaata tuotantoa.

Lähteet (liite 5):

HKL Ympäristöraportti 2007,

<http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/7a7e57804a17356bab38eb3d8d1d4668/Ympraportti2007.pdf?>

Helsingin Energia, Sähkön alkuperä ja ominaispäästöt, http://www.helen.fi/energia/alkupera_s.html

Nordel Annual report 2007, <http://www.nordel.org/>

Nordpool area price, <http://www.nordpoolspot.com/reports/areaprice/>

HKL:n julkaisusarja D

2/2009	Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvitys
1/2009	Metroasemien rakennus- ja käyttökustannukset
7/2008	Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2007
6/2008	Metroasemien rakennus- ja käyttökustannukset
5/2008	Laajasalon raideraportti
4/2008	Ympäristöraportti 2007
3/2008	Henkilöstöraportti 2007
2/2008	Joukkoliikenteen tariffipolitiikan vaihtoehtoja Helsingissä
1/2008	Selvitys maksuttoman joukkoliikenteen vaikutuksista Helsingissä
10/2007	Helsingin sisäiset matkat henkilöliikennetutkimuksessa 2004–2005
9/2007	Ympäristöystävällisen kaupunkiliikenteen kehittäminen Helsingissä
8/2007	Bussiliikenteen lisäliikenne Helsingissä vuonna 2006
7/2007	Ympäristöraportti 2006
6/2007	Helsingin lähijuna-asemien kehittämisselvitys
5/2007	Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2006
4/2007	Laajasalon raideyhteys – supistettu metro
3/2007	Metroporttiselvitys
2/2007	Henkilöstöraportti 2006
1/2007	Helsingin joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä (Helmi)
12/2006	Bussiliikenteen liittäminen poikkeustiedotukseen
11/2006	Matkustajainformaation käytettävyyden toimenpideohjelma
10/2006	Selvitys liputtamatkustajista Helsingin joukkoliikenteessä
9/2006	Toimenpide-ehdotuksia liputtomuuden vähentämiseksi
8/2006	Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2005
7/2006	Helsingin vaihtopysäkkien luokittelu ja kehittäminen
6/2006	Lippu korkealle - Selvitys tariffitason vaikutuksista liputtomuuteen sekä BEST-kaupunkien toimenpiteistä liputtomuuden vähentämiseksi
5/2006	Ympäristöraportti 2005
4/2006	Henkilöstöraportti 2005
3/2006	Lentokenttämetro, Toiminnalliset tarkastelut
2/2006	Matkustajien tyytyväisyys joukkoliikenteen hintaan
1/2006	Helsingin kutsuohjauksisten palvelulinjojen esiselvitys ja pilotointi
6/2005	Terveysaseman sijoittaminen luoteiselle esikaupunkialueelle
5/2005	Metron liityntälinjaston kehittämisselvitys
4/2005	Raitioliikenteen häiriötiedotuksen laajentaminen
3/2005	Raitioliikenteen häiriötiedotus 2004–2005, vaikutukset
2/2005	Raideliikenteen kustannusselvitys 2004
1/2005	Henkilöstöraportti 2004
2/2004	Henkilöstöraportti
1/2004	Ympäristöraportti
3/2003	Kokemuksia kesän 2003 liikennemuutoksista
2/2003	Raitioliikenteen häiriötiedotus, 1. vaihe
1/2003	JL Digi -info: Toteutusmahdollisuuksien selvittäminen – 250 Helsingin joukkoliikennepysäkin varustaminen matkustajanäytöllä, 1. vaihe

