

13

.....
19.4.2011



Johdinautoliikenteen hankeselvitys



www.hsl.fi

Johdinautoliikenteen hankeselvitys

HSL Helsingin seudun liikenne

HSL Helsingin seudun liikenne

Opastinsilta 6 A

PL 100, 00077 HSL

puhelin (09) 4766 4444

www.hsl.fi

Lisätietoja: Ville Lehmuskoski, puhelin 040 5206710
ville.lehmuskoski@hsl.fi

Copyright: Kartat, graafit ja muut kuvat / HSL 2011

Kansikuva: HSL / Artturi Lähdetie

Edita Prima Oy

Helsinki 2011

Esipuhe

Vuoden 2009 keväällä julkaistiin Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvitys (HKL D: 2/2009). Helsingin kaupungin HKL-liikelaitoksen johtokunta päätti, että johdinautoliikenteen palauttamista Helsinkiin on syytä tutkia tarkemmin. Tässä työssä on selvitetty tarkemmin liikenteen palauttamisen edellytyksiä, kustannuksia, alustavaa linjastoa ja varikkoa.

Selvityksen teko aloitettiin lokakuussa 2009 ja se valmistui huhtikuussa 2011. Työn ohjausta varten perustettuun ohjausryhmään kuuluivat HSL:stä joukkoliikennesuunnitteluosaston johtaja Ville Lehmuskoski, kalustoinsinööri Petri Saari, HKL:stä raitioliikennejohtaja Pekka Sirviö ja rakennusyksikön johtaja Juha Saarikoski, kaupunkisuunnitteluvirastosta liikennesuunnittelupäällikkö Olli-Pekka Poutanen, Turun kaupungilta joukkoliikennejohtaja Sirpa Korte ja Tampereen kaupungilta joukkoliikennepäällikkö Mika Periviita. Lisäksi ohjausryhmän kokouksiin ovat osallistuneet toimitusjohtaja Matti Lahdenranta ja projektipäällikkö Anna-Maija From HKL:stä. Kaupunkien työntekijöitä on ollut mukana myös alatyöryhmissä.

Konsultteina työssä ovat toimineet WSP Finland Oy:stä TkL Tero Anttila, DI Pipsa Eklund, DI Simo Airaksinen, Arkkitehti Vesa Pekka Erikilä, DI Virpi Pastinen, tutkija Hannu Lehto ja FM Cecilia Halsti, ZAP Perspective Oy:stä DI Raimo Mättö ja DI Artturi Lähdetie, T:mi Kari Sulonen:sta DI Kari Sulonen sekä Rejlers Oy:stä ins. Kenneth Strandberg ja ins. Heino Gröhn. Lisäksi linjaston A matkustajaennusteen sijoittelut on laatinut DI Mervi Vatanen HSL:stä ja tähän liittyneen kulkutapamuutoksia koskeneen tarkastelun DI Jyrki Rinta-Piirto Strafica Oy:stä.

| | | | |
|--|-------------------------------|----------------------|------------|
| Julkaisija: HSL Helsingin seudun liikenne | | | |
| Tekijät: Tero Anttila, Pipsa Eklund, Simo Airaksinen, Raimo Mättö, Artturi Lähdetie | | Päivämäärä 19.4.2011 | |
| Julkaisun nimi: Johdinautoliikenteen hankeselvitys | | | |
| Rahoittaja / Toimeksiantaja: Helsingin seudun liikenne, Kaupunkisuunnitteluvirasto, Turun kaupunki, Tampereen kaupunki | | | |
| Tiivistelmä: | | | |
| <p>Hankeselvityksessä on laadittu suunnitelma johdinautoliikenteen käynnistämisestä Helsingissä. Tähän on sisällytetty selvitys johdinautotekniikan viimeisimmistä kehitysvaiheista, kolme vaihtoehtoista linjastosuunnitelmaa, suunnitelma varikon sijoittamisesta Koskelan bussivarikolle, kaupunkikuvallinen tarkastelu, selvitys organisointivaihtoehdoista, johdinautoa koskevat tekniset määrittelyt sekä vaikutustarkastelut.</p> <p>Johdinauto on peruskonseptiltaan vakiintunut, mutta teknisten ratkaisujen osalta jatkuvan kehityksen kohteena oleva sähköisen linja-autoliikenteen ratkaisu. Tämän selvityksen yhteydessä tarkasteltiin myös mahdollisuutta siirtyä käyttämään mm. akuilla ja polttokennoilla toteutettuja linja-autojärjestelmiä. Ne ovat kuitenkin teknisen kehityksensä alkupäässä, eikä kokonaistaloudellisesti kilpailukykyisiä toimivia järjestelmiä ole vielä saatavilla. Johdinautoa teknisesti varmempia ja elinkaarikustannuksiltaan edullisempia sähköisiä linja-autojärjestelmiä ei ole nähtävissä lähitulevaisuudessa. On silti mahdollista, että suunnitellun järjestelmän elinkaaren aikana vuoden 2030 jälkeen otetaan käyttöön järjestelmiä, joissa ei tarvita koko linjastoa kattavia ajojohtimia.</p> <p>Johdinautotekniikan tuoreimpia kehityssaskelia ovat apumoottori- ja akkujärjestelmät, jotka mahdollistavat ajoneuvojen aiempaa suuremman autonomisen liikkumisen. Johdinautot on nykyisin varustettu apuvoimanlähteellä, jolla pääosin vältetään johdinjärjestelmän perinteiset rajoitteet. On myös mahdollista liikennöidä pieneköjä osia reitistä kokonaan ilman ajojohtoja. Jarrutusenergian talteenotto joko takaisin ajojohtoihin syöttämällä, tai varastoimalla se ajoneuvoon kuuluu myös nykyaikaisen johdinauton ominaisuuksiin.</p> <p>Tutkituista kolmesta linjastoratkaisusta valittiin tarkempaa tutkimusta varten vaihtoehto A, jossa linjaston painopiste on kantakaupungissa, minkä ohella osa luoteisten ja koillisten esikaupunkien linjoista on muutettu johdinautolinjoiksi. Muut tutkitut linjastot olivat laaja keskustalinjasto täydennettynä heilurilinjoilla sekä poikittaislinjasto. Tarvittava johdinautojen määrä A-linjastossa on 75. Liikennekalustona kaikissa tutkituissa vaihtoehdoissa olivat niveljohdinautot, joista osa oli yhdessä vaihtoehdossa kaksinivelisiä.</p> <p>Johdinautojärjestelmän investointikustannukset ovat linjaston A mukaisessa laajuudessa 89 milj. €, josta 51 milj. € on ajokaluston, 33 milj. € väyläinfrastruktuurin ja 5 milj. € varikon muutostöiden osuus. Sähköinfrastruktuurin nauhakustannukseksi on arvioitu noin 550 000 €/km ja yhden niveljohdinauton hankintahinnaksi 675 000 €. Niveljohdinautojen liikennöintikustannuksen arvioidaan olevan noin 6 % kalliimpi kuin vastaavilla dieselbusseilla.</p> <p>Linjasto A on suunniteltu toteutettavaksi vaiheittain niin, että ensimmäisessä vaiheessa liikennöitäisiin kolmea linjaa 27 niveljohdinautolla.</p> <p>Tutkituista varikkovaihtoehdoista Koskelan varikon arvioitiin parhaiten soveltuvan johdinautovarikoksi. Se soveltuu kokonsa ja sijaintinsa puolesta erittäin hyvin kantakaupunkia palvelevan johdinautoliikenteen varikoksi ja korjaamotilat soveltuvat myös nivelautojen korjauksiin.</p> <p>Johdinautoliikenteen organisointivaihtoehtoina tutkittiin oman tuotannon mallia, kalustoyhtiömallia sekä liikennöitsijämallia. Johdinautoliikenteellä on synergioita sähkökäyttöisyyden takia raitioliikenteeseen sekä liikenteen hoidon ja ajokaluston kannalta bussiliikenteeseen. Oman tuotannon mallissa vastuu liikennetuotannosta, ajokalustosta ja sähköinfrastruktuurista on samalla toimijalla, minkä arvioitiin olevan merkittävä etu vastuiden ja toimintavarmuuden näkökulmista.</p> <p>Johdinautojärjestelmän H/K-suhteeksi saatiin tehdyssä Yhtäli-laskelmassa 2,3 ja hyötyjen nettonykyarvoksi 21 milj. €. Hyödyistä 50 % on liikennepalveluiden tuottajien hyötyjä, 26 % matkustajien aikasäästöjä, 13 % ympäristökustannusten pienenemistä ja 11 % onnettomuuskustannusten alenemista. Korkeaa H/K-suhteen arvoa selittävät osaltaan johdinautoliikenteen edulliset investointikustannukset vertailuvaihtoehdon (Ve-0+) raitiotieinvestointeihin nähden, ympäristöhyödyt sekä laskelmassa käytetty arvio matkustajamäärien 5 %:n kasvusta johdinautolinjoilla.</p> <p>Johdinautoliikenteen aloittaminen on mahdollista kolme vuotta hankkeen käynnistämispäätöksen jälkeen. Käytännössä hankkeen valmisteluun ja linjaston suunnitteluun on syytä varata riittävästi aikaa. Tämän johdosta arvio mahdollisesta liikenteen aloitusajankohdasta on vuoden 2016 alussa.</p> | | | |
| Avainsanat: johdinauto, sähkökäyttöinen joukkoliikenne | | | |
| Sarjan nimi ja numero: HSL:n julkaisuja 13/2010 | | | |
| ISSN 1798-6176 (nid.) | ISBN 978-952-253-089-9 (nid.) | Kieli: Suomi | Sivuja: 93 |
| ISSN 1798-6184 (pdf) | ISBN 978-952-253-090-5 (pdf) | | |
| HSL Helsingin seudun liikenne, PL 100, 00077 HSL, puhelin (09) 4766 4444 | | | |

Sammandragssida

| | | | |
|---|-------------------------------|---------------|-----------------|
| Utgivare: HRT Helsingforsregionens trafik | | | |
| Författare: Tero Anttila, Pipsa Eklund, Simo Airaksinen, Raimo Mättö, Artturi Lähdetie | | | Datum 19.4.2010 |
| Publikationens titel: Projektutredning om trådbusstrafiken | | | |
| Finansiär / Uppdragsgivare: Helsingin seudun liikenne, Kaupunkisuunnitteluvirasto, Turun kaupunki, Tampereen kaupunki | | | |
| Sammandrag: | | | |
| <p>I projektutredningen utarbetades en plan för att starta trådbusstrafik i Helsingfors. En utredning om senaste utvecklingsskeden inom trådbusstekniken, tre alternativa linjenätsplaner, en plan över depåns placering till Forsby bussdepå, en stadsbildlig granskning, en utredning om olika organiseringsalternativ, tekniska definitioner gällande trådbuss samt utredningar av verkningarna har ingått i planen.</p> <p>Trådbussen har ett etablerat baskoncept men vad gäller tekniska lösningarna är den en lösning inom eldriven busstrafik som står under kontinuerlig utveckling. I samband med denna utredning undersöktes också möjligheten att övergå till buss-system som förverkligas bland annat med batterier och bränsleceller. Dessa är dock bara i början av sin tekniska utveckling, och totalekonomiskt konkurrenskraftiga och fungerande system är inte ännu tillgängliga. Det finns inte i sikt i närframtid eldrivna buss-system som är tekniskt sätt mer säkra och räknat över hela livscykeln förmånligare än trådbussarna. Det är ändå möjligt att under det planerade systemets livscykel, efter år 2030 tas i bruk system där det inte behövs trådar monterade utefter hela linjenätet.</p> <p>De färskaste utvecklingsstegen inom trådbusstekniken är hjälpmotor- och batterisystem som möjliggör att fordon kan röra sig mer autonomt än tidigare. Idag är trådbussarna utrustade med en hjälpkraftkälla som huvudsakligen bidrar till att de traditionella begränsningarna i trådsystemet kan kringgå. Det är också möjligt att trafikera små delar av rutten helt utan trådar. Det hör till egenskaper av en modern trådbuss att bromsenergin tas till vara antingen genom att energin återförs tillbaka till kontaktledningen eller genom att energin lagras i fordonet.</p> <p>Tre alternativa linjenätsplaner granskade. Som linjenätslösning valdes alternativet A, där linjenätets tyngdpunkt ligger i stadskärnan och vid sidan av detta har en del av busslinjer i nordvästliga och nordostliga förstäder förvandlats till trådbusslinjer. Två andra granskade linjenät är ett linjenät med stadscentrum linjer samt pendellinjer och det andra ett linjenät med tvärsinjer. Antalet trådbussar som behövs i linjenät A är 75. I samtliga studerade alternativ användes ledtrådbussarna varav en del i ett alternativ var tvåledsbussar.</p> <p>Investeringskostnaderna för trådbussystemet i omfattningen av linjenätet A är 89 milj. € varav 51 milj. € är för fordon, 33 milj. € för farledsinfrastruktur och 5 milj. € för ändringsarbeten av depån. Elinfrastrukturens kostnader har beräknats vara ca 550 000 €/km och anskaffningspriset på en ledtrådbuss 675 000 €. Trafikeringskostnaderna för ledtrådbussar beräknas bli ungefär 6 % högre än för motsvarande dieslbussar. Man har planerat genomföra linjenätet A gradvis så att i det första skedet trafikeras tre linjer med 27 ledtrådbussar.</p> <p>Av alla granskade depåalternativ uppskattades Forsby depå vara den lämpligaste för trådbusstrafiken. Den passar väldigt bra som depå för trådbusstrafik som betjänar stadskärnan tack vare sin storlek och sitt läge och reparationsutrymmena passar väl för reparation av ledbussar.</p> <p>Som organiseringsalternativ för trådbusstrafik studerades modellen av egen produktion, vagnparkbolagsmodell samt trafikidkarmodell. Trådbusstrafiken har synergier med spårvagnstrafiken på grund av att båda är eldrivna samt med busstrafiken vad gäller trafikens skötsel och vagnpark. I modellen av egen produktion ligger ansvaret för trafikutbud, vagnpark och elinfrastruktur hos samma aktör och detta uppskattades vara en betydande fördel vad gäller ansvar och funktionssäkerhet.</p> <p>Trådbussystemets relation nytta/kostnad blev 2,5 i den genomförda Yhtali-kalkylen. 50 % av fördelarna kommer från fördelar för producenter av trafikservice, 26 % från passagerarnas tidsbesparingar, 13 % från minskningar av miljökostnaderna och 11 % från minskning av olyckskostnaderna. Det höga värdet på relationen nytta/kostnad kan för sin del förklaras med trådbusstrafikens investeringskostnader som är förmånliga i förhållande till jämförelsealternativet (0+) spårvägsinvesteringar, med miljöfördelar samt med den uppskattning som använts i kalkylen att passagerarantalet ökar med 5 % på trådbusslinjerna.</p> <p>Det är möjligt att starta trådbusstrafiken om tre år efter projektets startbeslut. I praktiken ska man ändå reservera tillräckligt tid för projektets beredning. Därför beräknas den tidigast möjliga starttidpunkten för trådbusstrafiken vara början av år 2016.</p> | | | |
| Nyckelord: trådbuss, eldriven kollektivtrafik | | | |
| Publikationsseriens titel och nummer: HRT publikationer 13/2010 | | | |
| ISSN 1798-6176 (nid.) | ISBN 978-952-253-089-9 (nid.) | Språk: Finska | Sidantal: 93 |
| ISSN 1798-6184 (pdf) | ISBN 978-952-253-090-5 (pdf) | | |
| HRT Helsingforsregionens trafik, PB 100, 00077 HRT, tfn. (09) 4766 4444 | | | |

| | | | |
|--|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Published by: HSL Helsinki Region Transport | | | |
| Author: Tero Anttila, Pipsa Eklund, Simo Airaksinen, Raimo Mättö, Artturi Lähdetie | | | Date of publication 19.4.2010 |
| Title of publication: Project survey for trolley-bus transport | | | |
| Financed by / Commissioned by: Helsinki Region Transport, Public Works Department of Helsinki, City of Turku, City of Tampere | | | |
| Abstract: | | | |
| <p>To investigate the feasibility and rationality of the revival of trolley bus traffic in Helsinki a full size project plan was conducted for a variety of alternatives. This included a survey on the latest developments of the trolley bus technology, three optional plans for route network, a budgetary level design for a fully functional depot in Koskela bus depot, examination of urban landscape structures, a study on organisational options, particular technical specifications applicable on suitable trolley buses and an examination of the impacts on the environment and on the future development of public transport.</p> <p>The basic concept of a trolley bus as a means of electric public transport vehicle has found its form over the years, but all the components of the system undergo at present intensive development. In context of this survey also the option of a fully autonomous electric bus powered by accumulators or fuel cells and the like was investigated. However, such technology is still totally inadequate for a heavy duty bus. There are no economically competitive and effective systems available as yet. The trolley bus is the far most reliable system and gives the best life cycle economy for a foreseeable future. Earliest estimates for alternative electric technologies in regular bus services are viable just after one investment cycle some time beyond 2030. Then it should be possible to run without the support of a comprehensive overhead line.</p> <p>The latest achievements in the development of trolley bus are auxiliary engine and accumulator systems allowing for more autonomous propulsion. Nowadays, trolley buses are equipped with an auxiliary power unit that alleviates the traditional restrictions of the overhead line. The modern trolley bus may run short distances without the trolley lines. Recuperation of the kinetic energy at deceleration (braking) either into the overhead line network or by storing it in the vehicle is one of the characteristics of modern trolley buses.</p> <p>Three alternative trolley bus networks were studied. For the route network, option A was chosen. Two other studied networks were a city center based network with cross-center lines and a cross traffic network. In the chosen option A, the focus of the route network is in the city center. In addition, some routes of northwest and northeast outskirts of the city are converted into trolleybus lines. The fleet would comprise all together 75 articulated trolley buses. In one option also a double articulated bus was found justified.</p> <p>The costs of investments into trolley bus system for the option A would be 89 MEUR, of which 51 MEUR would be for vehicles, 33 MEUR for overhead and power supply and other route infrastructure and 5 MEUR for depot renovation. Estimated costs of electricity infrastructure are about 550 000 €/km and the purchase price of one articulated trolley bus is 675 000 €. Operating costs of articulated trolley buses are estimated to be around 6 % higher than for equivalent diesel buses.</p> <p>Route network A is planned to be implemented gradually. Three routes operated by 27 articulated trolley buses will be launched during phase I. Koskela depot was estimated to be the most appropriate one for the trolley bus depot, due to its size and good location in the city as well as applicability of its repair shop premises for maintenance of articulated trolley buses.</p> <p>Models of own production, vehicle or transport company were examined as organisation options for the trolley bus system. The trolley bus system has similarities with a tram system as they both draw their electric propulsion energy from the overhead line and have a similar electrical propulsion system. Again the trolley bus also has much synergy with the conventional bus system taking into account transportation management and type of vehicle. In the model with own production, the same organisation is responsible for production, vehicles and electrical infrastructure, which was estimated to be a significant advantage from the point of view of responsibilities and operational reliability.</p> <p>According to socioeconomic calculations, the profit/investment costs ratio of trolley bus system is 2.3. 50 % of the profit is a profit of transport service providers, 26 % - travellers' time savings, 13 % - reductions of environmental costs and 11 % - decreasing of accident costs. High profit/investment costs ratio can be explained by lower investments in trolley bus transport compared to reference option (Ve-0+) as well as environmental benefits and estimation of 5 % increase in passenger volumes on trolley bus routes that was applied in the calculations.</p> <p>The trolley bus system can be put into operation within three years from the positive investment decision. However, there is good reason to allow sufficient time for the project preparation in advance. So the earliest reasonable start for the trolley bus traffic in Helsinki might be at the beginning of the year 2016.</p> | | | |
| Keywords: trolley bus, electrically operated public transport | | | |
| Publication series title and number: HSL publications 13/2010 | | | |
| ISSN 1798-6176 (nid.) | ISBN 978-952-253-089-9 (nid.) | Language: Finnish | Pages: 93 |
| ISSN 1798-6184 (pdf) | ISBN 978-952-253-090-5 (pdf) | | |
| HSL Helsinki Region Transport, P.O.Box 100, 00077 HSL, tel. +358 (0) 9 4766 4444 | | | |

Sisällysluettelo

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 8 |
| 2 | Esisuunnitelman tarkentaminen ja vaihtoehtoverailut | 9 |
| 3 | Linjastosuunnittelu | 14 |
| 3.1 | Johdinautolinjaston lähtökohdat | 14 |
| 3.2 | Liikennöintikustannukset | 15 |
| 3.3 | Vaihtoehto A: vahvat kantakaupungin linjat | 16 |
| 3.4 | Vaihtoehto A-: Aloituslinjasto | 22 |
| 3.5 | Vaihtoehto B: Vahvat keskustalinjat ja niitä tukevat heilurilinjat | 24 |
| 3.6 | Vaihtoehto C: poikittaislinjat | 29 |
| 3.7 | Muut tutkitut linjastovaihtoehdot | 31 |
| 3.8 | Johdinautoliikenteen ja polkupyöräpaikkojen yhdistäminen sekä johdinautoliikenteen vaikutus matkustajamääriin | 32 |
| 4 | Infrastruktuuri | 34 |
| 4.1 | Katuinfrastruktuuri | 34 |
| 4.2 | Ajojohdot ja sähkönsyöttöasemat | 36 |
| 4.2.1 | Ajojohdot | 36 |
| 4.2.2 | Vaihteet ja risteämät | 38 |
| 4.2.3 | Sähkönsyöttöasemat | 39 |
| 4.2.4 | Kustannukset | 40 |
| 4.3 | Lainsäädäntö ja lupakäytännöt | 40 |
| 4.4 | Kaupunkikuvallinen tarkastelu | 41 |
| 5 | Johdinautolinjastovaihtoehdon valinta | 48 |
| 5.1 | Linjastovaihtoehdon valintaperusteet | 48 |
| 5.2 | Kustannusten yhteenveto | 48 |
| 5.3 | Linjastovaihtoehtojen kustannusvertailu | 49 |
| 5.3.1 | Liikennejärjestelmän taloudellisuus | 49 |
| 5.3.2 | Linjastovaihtoehtojen roolit | 49 |
| 5.3.3 | Linjastojen ympäristönäkökohdat | 50 |
| 5.4 | Yhteenveto | 50 |
| 5.5 | Johdinautojärjestelmän käyttöönoton vaikutukset dieselbussi- ja raitioliikenteeseen | 50 |
| 6 | Johdinautovarikon perusratkaisu | 52 |
| 6.1 | Yleistä | 52 |
| 6.2 | Nykyiset bussivarikot | 52 |
| 6.2.1 | Ruskeasuon ja Koskelan varikot | 52 |
| 6.2.2 | Ruskeasuon varikko | 52 |
| 6.2.3 | Koskelan varikko | 54 |
| 6.2.4 | Töölön ja Vallilan raitiovaunuvarikot | 55 |
| 6.2.5 | Johdinautovarikon valinta | 56 |
| 7 | Johdinautovarikon hankesuunnittelu | 57 |
| 7.1 | Koskelan varikon toiminnallinen ratkaisu | 57 |
| 7.1.1 | Varikkopiha | 59 |
| 7.1.2 | Varikkorakennus | 60 |
| 7.1.3 | Laite- ja rakennuskustannukset | 61 |
| 7.2 | Kaupunkikuvallinen tarkastelu | 63 |

| | | |
|--------|---|----|
| 8 | Kaluston hankintaperiaatteet | 64 |
| 8.1 | Tekniset määrittelyt | 64 |
| 8.2 | Erityisiä näkökohtia ja vaatimuksia | 64 |
| 8.3 | Vaatimukset itsenäisen liikkumisen ja apumoottorin suhteen | 68 |
| 8.4 | Hankintaperiaatteista | 68 |
| 9 | Johdinautoliikenteen organisointi ja sääntelyvaihtoehdot | 70 |
| 9.1 | Liikenteen organisoinnin vaihtoehdot | 70 |
| 9.2 | Kansainväliset organisointimallit | 70 |
| 9.3 | Johdinautoliikenteen erityispiirteet organisoinnin kannalta | 71 |
| 9.4 | Sähköinfrastruktuuri organisoinnin kannalta | 71 |
| 9.5 | Henkilöstökysymykset | 72 |
| 9.6 | Toiminnan synergiat ja joustavuus | 73 |
| 9.7 | Eri organisointimallien mahdollisia seurausvaikutuksia | 74 |
| 10 | Ympäristönäkökohdat | 76 |
| 10.1 | Johdinauton ympäristöhyödyt | 76 |
| 10.2 | Päästöt ja niiden kehitys | 76 |
| 10.2.1 | Sähkökäyttöinen liikenne | 76 |
| 10.2.2 | Diesel- ja hybridibussit | 77 |
| 10.2.3 | Melu | 80 |
| 11 | Vaikutusarviointi | 84 |
| 11.1 | Vaikutusarviointi ja ajoitus | 84 |
| 11.2 | Linjasto | 84 |
| 11.3 | Infrastruktuuri-investoinnit ja kunnossapitokustannukset | 85 |
| 11.4 | Muut investointikustannukset | 86 |
| 11.5 | Päästöt ja melu | 86 |
| 11.6 | Matkustajamäärät ja matkustajien hyödyt | 86 |
| 11.7 | Yhteiskuntataloudellinen laskelma | 88 |
| 11.8 | Yhteenveto | 88 |
| 11.9 | Herkkyystarkastelut | 89 |
| 12 | Johtopäätökset | 90 |
| 13 | Toteutusaikataulu ja jatkosuositukset | 92 |
| 14 | Lähdeluettelo | 93 |
| 14.1 | Vierailut | 93 |
| 14.2 | Kirjallisia lähteitä ja haastatteluita | 93 |

Tämän selvityksen tarkoituksena on ollut tuottaa hankesuunnitelmatasoinen selvitys johdinautoliikenteen aloittamisesta Helsingissä. Selvitys on jatkoa vuonna 2009 valmistuneelle Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvitykselle (HKL D: 2/2009). Hankesuunnitelman tekeminen alkoi lokakuussa 2009 ja päättyi tammi-kuussa 2011. Työn tilasi alun perin HKL ja työn ohjausvastuu siirtyi vuoden 2010 alussa tilaajaorganisaationa aloittaneelle Helsingin seudun liikenteelle (HSL). Työtä on ohjannut ohjausryhmä, jossa on ollut jäseniä myös Turun ja Tampereen kaupungeista.

Johdinautot ovat yleistyneet 1990-luvulta lähtien ja monissa maissa on havaittu, että johdinautojärjestelmä on edullinen tapa tuottaa joukkoliikennepalveluita ja vähentää liikenteen melua ja päästöjä. Maailmalla on meneillään useita johdinautohankkeita; uusien järjestelmien rakentamista, vanhojen laajentamista ja uusimista sekä bussilinjojen muuttamista johdinautojärjestelmiksi. Uudet johdinautojärjestelmät ovat kehittyneissä maissa joko perinteisiä johdinautojärjestelmiä tai usein täysin uudenlaisia joukkoliikennemuotoja, joissa yhdistyy BRT (Bus Rapid Transit), raitiovaunu ja metrojärjestelmä. Kehittyvissä maissa, esim. Etelä-Amerikassa johdinautojärjestelmillä toteutetaan usein nopeaa metromaista pintaliikennettä. Huomattavaa on, että missään ei tällä hetkellä suunnitella merkittävää johdinautojärjestelmän lakkauttamista.

Johdinauto sijoittuu matkustajakapasiteettinsa puolesta bussien ja raitiovaunujen väliin. Vaikka johdinautot ovat samankokoisia kuin bussit, on näiden järjestelmien työnjako monissa Euroopan kaupungeissa tehty siten, että suurempikapasiteettisilla niveljohdinautoilla hoidetaan pitkien runkolinjojen liikennöinti kun taas dieselbussien roolina on hoitaa lyhyitä, yleensä pienemmän matkustajakysynnän linjoja. Toisaalta raitiovaunuja käytetään sellaisilla linjoilla, joilla johdinautojen kapasiteetti ei riitä.

Johdinautojen merkittävä etu raitiovaunuihin nähden on kiskottomuus, jonka ansiosta johdinautojen on ilman erityistoimia mahdollista siirtyä reitiltään sivuun muutama metri ja väistää toisia ajoneuvoja. Kiskottomuus tekee johdinautosta hiljaisen, koska moottorimelun lisäksi puuttuu kiskoista aiheutuva melu. Meluttomuus mahdollistaa johdinautolinjojen kulun asukkaita häiritsemättä asuinalueiden läpi. Kantakaupungin kivikaduilla johdinautoilla syntyy rengasmelua raitiovaunuja enemmän.

Tässä työssä on selvitetty, millä edellytyksillä johdinautojärjestelmä voidaan tuoda osaksi Helsingin seudun joukkoliikennettä täydentämään busseilla ja raitiovaunuilla nykyisin hoidettua tarjontaa. Suunnittelutyössä on pyritty hyödyntämään johdinautojen erityisvahvuuksia kuten lähipäästöttömyyttä, vähämeluisuutta ja energia-
tehokkuutta.

Selvitykseen sisältyvät linjastosuunnittelua, sähköjärjestelmää, varikkoa, ajokalustoa, kaupunkikuvaa sekä liikenteen organisointimalleja koskevat tarkastelut, joiden jälkeen on laadittu yhteiskuntataloudelliset laskelmat ja vaikutusarviointi.

Hankeselvityksen loppuvaiheessa nousi esiin kysymys siitä, mitkä olisivat mahdolliset hyödyt ja kustannukset, jos johdinautojärjestelmän sijaan vastaava linja-autoliikenteen kehittäminen tehtäisiin käyttämällä uusinta mahdollista hybriditekniikkaa ja ottamalla käyttöön biopolttoaineet. Tästä tehty selvitys on raportin liitteessä 4.

2 Esisuunnitelman tarkentaminen ja vaihtoehtovertailut

Johdinautojärjestelmän teknisiä ominaisuuksia ja erityisesti sen toiminnallisia valmiuksia taajamaliikenteen luotettavana ja kaikenlaista ympäristökuormitusta helpottavana vaihtoehtona on tutkittu laajasti ja perusteellisesti. Yksityiskohtainen selvitys nykytekniikasta ja lähitulevaisuuden tarjoamista teknisistä mahdollisuuksista on liitteenä 1.

Selvityksen tuloksena voidaan todeta, että tämänhetkisellä teknisellä tasolla johdinauto tarjoaa toimivan vaihtoehdon dieselbussin, raitiotien ja metron kanssa taajama-alueiden joukkoliikenteessä. Jokaisella näistä liikennemuodoista on oma vahvin ja luonnollisin käyttöalueensa, jossa sen hyödyt ovat parhaimmillaan. Alustava vertaileva tarkastelu tehtiin Johdinautoliikenteen toteutettavuusselvityksessä (HKL D: 2/2009).

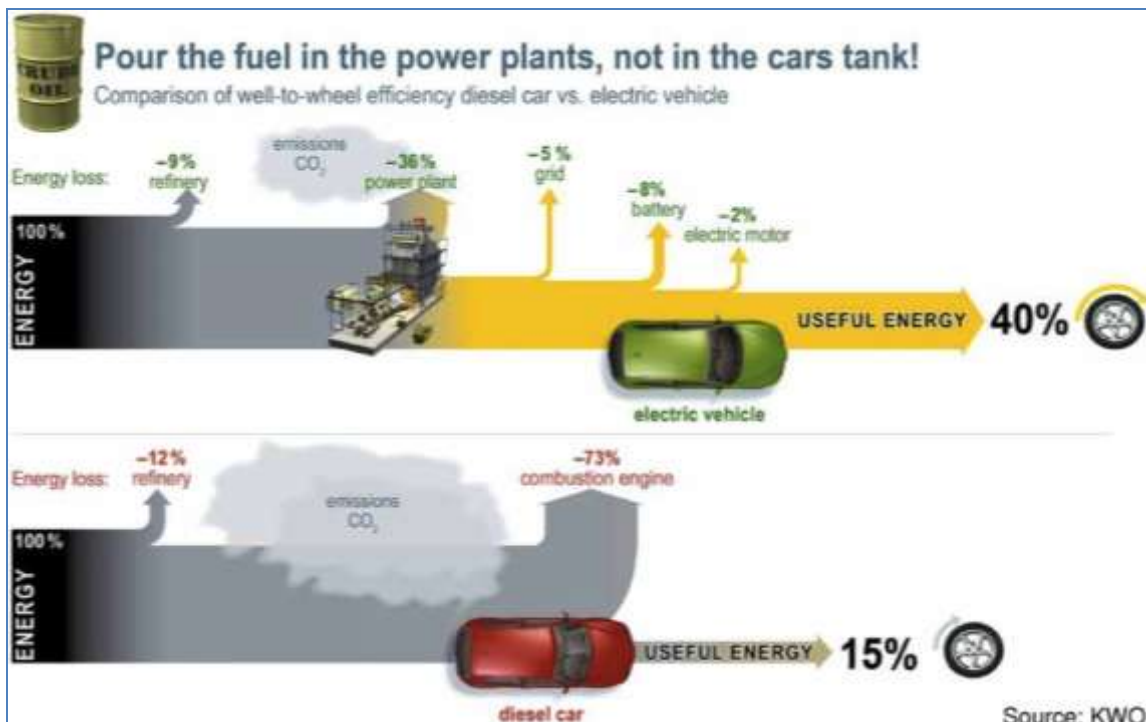
Johdinauto, raitiovaunu ja metro tarjoavat ympäristönäkökulmasta tarkasteltuna olennaisen laadullisen parannuksen verrattuna dieselliikenteeseen. Siirtyminen perinteisten polttomoottorien käytöstä sähköiseen voimälähteeseen nostaa energiatehokkuuden yli kaksinkertaiseksi. Sähkökäyttöisyys on tällä hetkellä ja nähtävissä olevalla aikavälillä tehokkain tapa pienentää joukkoliikenteen ympäristökuormitusta.

Johdinauto on selkeästi nopein ja kustannustehokkain tapa siirtyä sähköiseen joukkoliikenteeseen, jolloin liikenteestä ei synny lähipäästöjä. Sen myönteisenä erityisominaisuutena on lisäksi vähäisempi melu sekä matkustajien että ympäristön kannalta ja siksi se sopii luontevasti sekä yhdistetyille joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen kaduille että rauhallisille asuinalueillekin.

Johdinauton luonteva käyttöalue on tiheän vuorovälin ja runsaan matkustajakapasiteetin omaavat linjat, jolloin sen sähkökäyttöisyydestä saadaan suurin yhteiskuntataloudellinen hyöty.

Nykyään dieselbussilla liikennöivät tiheän vuorovälin linjat, kuten 14, 18, 550 ja vähemmällä kuormituksella liikkuvat raitiovaunut, kuten linja 1, olisi luontevaa korvata johdinautoilla. Näin dieselbusseille jäisivät pienempikapasiteettiset linjat ja raitiotiejärjestelmää voisi kehittää entistä selkeämmin johdinauton kapasiteettia suurempien matkustajamäärien kuljettamiseen.

Sähkön tehokkuutta liikennekäytössä kuvastaa fossiilisten polttoaineiden vaihtoehtoisen hyödyntämisen ketju kuvassa 1.



Kuva 1. Sähköauton ja dieselauton hyötyenergiavertailua. (KWO)

Taulukoon 1 on koottu vertailevia laskelmia dieselbussin, hybridin ja johdinauton energiatehokkuudesta. Tähän vertailevaan tarkasteluun on johtanut kysymys, voisiko dieselhybridi olla energiatehokkuudessa kilpailukykyinen johdinauton kanssa. Vastaus on kielteinen, mutta sähköenergian tuotantotavalla on pelkistetyssä energiaan keskittyneessä kysymyksenasettelussa merkittävä rooli. Taulukossa on esitetty belgialaisen joukkoliikenne- ja energia-asiantuntijan Harry Hondiuksen laskelmat täydennettynä Suomen arvoilla sekä VTT:n ajoneuvotekniikan tutkimusprofessori Nils-Olof Nylundin osin VTT:n tekemiin mittauksiin perustuvat laskelmat. Hondiuksen laskelmat ovat moottorista-pyörälle vertailuja. Nylundin laskelmissa otetaan myös polttoaineen jalostuksen hyötysuhde huomioon (well-to-wheel).

Euroopan eri alueilla tuotetaan sähkö varsin vaihtelevilla tavoilla. Tätä kuvaamaan on Hondius valinnut johdinauton energiatehokkuutta tarkasteltaessa saksalaisen tuotantomallin. Olemme itse laskeneet lisäksi vastaavan laskelman Helsingin tuotantomallin mukaan. Saksassa on voimalaitosten tavoitearvona nk. kombivoimalaitos, jossa diesel- tai kaasuturbiini on sarjassa höyryturbiinin kanssa, jolloin päästään n. 60 % energiahyötysuhteeseen voimalaitoksella. Helsingissä oma tuotanto tapahtuu yhdistettynä lämmön ja sähkön tuotantona (CHP – Combined Heat & Power), jolle tyypillisesti ilmoitetaan n. 90 % hyötysuhde. Nylund käyttää sähkön tuotannon hyötysuhteena kaasulla tapahtuvan sähköntuotannon hyötysuhdetta (Ecofys 2010-raportti).

Myös siirtoverkon häviöt ovat Euroopan eri alueilla erisuuruiset, koska jännitetasot ja siirtoverkon rakenne ovat erilaiset. Suomessa kantaverkko ja muut runkoverkon osat on rakennettu varsin myöhään, mikä on mahdollistanut edullisten jännitealueiden valinnan. Tasasähkösuudessa meidän on mahdollista säästää valitsemalla 750 V -järjestelmä vanhemman, mutta yleisesti vielä käytetyn 600 V -järjestelmän sijaan. Näistä syistä Helsingin energiahyötysuhde onkin korkeampi kuin Saksan vastaava tulos.

Dieselbussin hybridisoinnilla ja jarrutusenergian talteenotolla on VTT:llä mitattu saatavan 25 % säästö polttoaineenkulutuksessa. Johdinautoille energian talteenotosta esimerkkinä voitaneen pitää Vossloh-Kiepen an-

tamaa tietoa Van Hool/Vossloh-Kiepe 18 m niveljohdinautojen vastaanottokokeista Milanossa. Siellä mitattiin jarrutusenergian talteenoton osuudeksi noin 30 % kokonaisenergiasta.

Taulukko 1. Hyötysuhdevertailua dieselbussin ja johdinauton välillä.

Hyötysuhdetarkastelua: Dieselbussi, Dieselsähköinen hybridi, Johdinauto

| Diesel & hydromekaaninen vaihteisto (Hondius) | Diesel-sähköinen sarjahybridi (Hondius) | Johdinauto Saksassa (Hondius) | Johdinauto Suomessa (Hondius, Mattö, Lähdetie) | Dieselhybridi (Nylund, VTT) | Johdinauto (Nylund, VTT) |
|--|--|---|---|---|--|
| hyöty-suhde | hyöty-suhde | hyöty-suhde | hyöty-suhde | hyöty-suhde | hyöty-suhde |
| Dieselistä omakäytön jälkeen 42 % | Dieselistä omakäytön jälkeen 42 % | Lauhevoimalaitos (Keski-Eurooppa) 380 - 150 kV verkko 150 - 6 kV jakelu DC-syöttöasema 600 VDC ajojohto 60 % 98 % 98 % 97 % 95 % | CHP-voimalaitos (Helen) 110 - 400 kV verkko 20 - 110 kV jakelu DC-syöttöasema 750 VDC ajojohto 90 % 99 % 99 % 97 % 96 % | Polttoaineen jalostus Dieselmoottori 87 % 40 % | Maakaasuun perustuva sähköntuotanto Sähkön siirto DC-syöttöasema 750 VDC ajojohto Apulaitekäytöt 47 % 95 % 97 % 96 % 97 % |
| Hyötysuhde ennen voimansiirtoa 42 % | 42 % | 53 % | 82 % | 35 % | 40 % |
| Voimansiirto Hydromekaaninen vaihteisto | Generaattori ja tasasuuntaaja 93 % IGBT-vaihtosuuntaaja sähkömoottori kardaani tasauspyörästö 99 % 95 % | Generaattori ja tasasuuntaaja käytössä vain hidastuksissa vapautuvan energian talteenotossa IGBT-vaihtosuuntaaja sähkömoottori kardaani tasauspyörästö 98 % 98 % 93 % 99 % 95 % | Generaattori ja tasasuuntaaja käytössä vain hidastuksissa vapautuvan energian talteenotossa IGBT-vaihtosuuntaaja sähkömoottori kardaani tasauspyörästö 98 % 93 % 99 % 95 % | Voimansiirto 55 % | Inverteri, moottori, voimansiirto, renkaat 70 % |
| Voimansiirron hyötysuhde 87 % | 80 % | 86 % | 86 % | 55 % | 70 % |
| Hyötysuhde pyörällä 37 % | 33 % | 46 % | 70 % | 19 % | 28 % |
| Jarrutusenergian uudelleenhyödyntämisen vaikutus -- | 20% | Johdinauto kahdella vetävällä akselilla 2 x 17,5% | Johdinauto kahdella vetävällä akselilla 2 x 17,5% | 25 % | 25 % |

Lähteet:
Dr. Harry Hondius, Zürich 18. - 19. marraskuuta 2008, New Horizons for Urban Traffic, Kann der Hybridbus den Trolleybus ersetzen ? (Voiko hybridibussi korvata johdinauton?)
Suomenins Raimo Mattö/Artturi Lähdetie, 10.2.2010
Energiateollisuus ry, Sähkön käyttö ja verkostohäviöt 2008
Nils-Olof Nylund, TEC TransEnergy Consulting, muistio "Kommentteja johdinautoilikehteen hankeselvitykseen 11.3.2011"

Viime aikoina on keskusteltu myös mahdollisuudesta siirtyä suoraan täysin akkujen varassa toimivan sähköbussin käyttöön eli luoda järjestelmä, joka ei tarvitsisi yläpuolisia ajojohtoja. Tekniset edellytykset tähän ovat jo olemassa ja useita kokeilujärjestelmiä on jo rakennettu. Jatkuvassa liikennetuotantokäytössäkin on akkuteknologiaan perustuvia järjestelmiä jo erityisillä toiminta-alueilla (mm. Torino ja Lyon). Myös erityisesti Kiinassa on kehitetty testikäyttöön sähköbusseja, jotka joko lataavat itsensä pysäkeillä tai vaihtoehtoisesti niiden akut vaihdetaan aina päätepysäkillä.

Taloudellisen kilpailukyvyyn saavuttaminen tavanomaisessa julkisessa liikenteessä on kuitenkin vielä kaukana. Työssä tehdyn selvityksen ja mm. saksalaisen konsulttiyhtiön, Oliver Wymanin (Management Beratung) tekemän markkinakypsyysarvion perusteella tällainen taso voisi olla saavutettavissa vuoden 2030 jälkeen. Arvio perustuu monesta lähteestä saatujen useamman alan asiantuntijoiden ja alan teollisuuden näkemyksiin. Tämänkin jälkeen ajojohtojen etuna on, että sähköntuotanto- tai varastointilaitteistoa ei tarvitse siirtää ”ylimääräiseksi massaksi” ajoneuvoon, vaan sähkö saadaan ilman lisäpainoa ajojohdinten kautta, jotka myös siirtävät jarrutuksessa talteen otetun energian hyötykäyttöön. Näkemyksemme mukaan akkuihin ja superkondensaatoreihin nojaavat sähköbussit eivät järjestelmätasolla muodostu kilpailukykyisiksi tarkastelujaksolla.

Tällä hetkellä toiminnalliseksi tavoitteeksi on realistista asettaa johdinauto, joka pystyy kulkemaan muutaman pysäkkivälin ilman yläpuolisia ajojohtoja siten, että aisojen lasku ja nosto eivät tuota liikennehäiriöitä.

Hahmotelmana nähtävissä olevista teknologisista kehityspoluista on alla olevaan taulukkoon koottu tietoa näistä järjestelmistä ja teollisuudessa vallitsevasta näkemyksestä niiden markkinakypsyydestä.

Taulukko 2. Tiivistelmätaulukko eri teknologioista ja niiden näkymistä.

| Tekniikka | Taso nyt | Kehitystrendi | Liikennekäyttöön soveltuvuus | Erityistä | Markkinakypsyys |
|---|---|--|--|--|--|
| super-kondensaattori apulaitteineen (supercap) | Tehotiheys 3 kW/kg. Käytännön energiatiheys 0,002 kWh/kg (esimerkiksi 0,5 kWh/300kg) | energiatiheys kaksinkertaistuu ehkä joka 5. – 10. vuosi | Hyvä tehotiheys. Soveltuu jarrutusenergian talteenottoon ja tehopiikkien leikkaukseen. | teknologia on varsin hyvin hallinnassa, elinikäodotus 8-9 v., mutta heikkenee iän myötä, voidaan purkaa tyhjäksi | toistaiseksi varsin kallis hybridikäytössä 2020 jälkeen |
| akku apulaitteineen | Tehotiheys 0,25 kW/kg. Energiatiheys 0,07 kWh/kg (nimellinen energiatiheys n. 0,15 kWh/kg) (esimerkiksi 27kWh/400kg) | Energiatiheys kaksinkertaistuu joka 5. - 10. vuosi | Rajallinen. Energiatiheys heikko verrattuna polttoaineisiin ja tehotiheys heikko verrattuna supercapeihin. | useita kilpailevia akkuteknologioita, rajallinen elinikäodotus (muutama 1000 tuntia ja latausker-taa) voidaan purkaa n. 10% varauskyvystä | kalleus on toistaiseksi suurimpana esteenä hybridikäytössä 2020 jälkeen akkubussikäytössä 2030 jälkeen |
| vauhtipyörä | Nimellinen energiatiheys n. 0,15 kWh/kg, mutta vertailukelpoisia sovelluksia on vähän | tutkimus ja kehitys on ollut spontaanista (toimivia sovelluksia Hampuri ja Zwickau) | soveltuu kiinteänä asennuksena esim. syöttöasemilla energian talteenottoon ja tehopiikkien leikkauksiin | teknologia näyttäisi hiilikuituteknologian soveltamisen kautta kypsyvän. | 2010+ kiinteästi asennettuna energiapuskurina jännitteen tasaukseen ja tehohuippujen leikkaukseen |
| polttokenno | Tehotiheys 0,02 kW/kg. Nimellinen energiatiheys 0,2 kWh/kg, mutta vertailukelpoisia sovelluksia ei mainittavasti ole. Vedyllä koko ketjun energeettinen hyötysuhde n. 50% | ei selkeää näkymää, mutta mm. WHEC tasolla todetaan ”pienin askelin on päästy merkittävän pitkälle” | yksinään rajallinen, mutta dynamiikkaa voidaan parantaa supercap- ja akkutekniikalla. vetyä käytettäessä ei lähipäästöjä | ongelmallinen teknologia, erittäin kallis, vedyn hankala jakelu ja varastoint, voimakkaan kehityksen kohteena. Vety tuotetaan nykyisin pääasiassa fossiilisista polttoaineista (maakaasu). | 2040 jälkeen (ollut utopististen ennusteiden kohteena pitkään, mutta mikään ennusteista ei ole vielä toteutunut) |
| dieselöljy ja sen johdannaiset tai korvaavat polttoöljyt ja kaasut | Erinomainen energiatiheys 10 kWh/l. | Polttomoottoritekniikka on kehityksensä päässä. Merkittävää parannusta ei ole odotettavissa. Öljyhuipun ajankohdaksi ennustetaan noin vuotta 2020+ | erinomainen energiatiheys | vahva ja vakiintunut teollisuus ja hyödyntämistechnologia | katoaa markkinoilta aikaisintaan 2070 jälkeen (jos silloinkaan, koska biodiesel tarjoaa mm. leväteknologian kautta merkittävästi jatkoaikaa) |

Taulukossa esitetyt lukuarvot on esitetty vain suuruusluokkatarkkuudella, helpottamaan yleiskuvan muodostamista.

Teknologioiden kehitymisestä voidaan todeta, että johdinautot tulevat tarvitsemaan kustannustehokkaaseen kulkemiseen ajajohdot vielä noin vuoteen 2030 asti. Tämän jälkeen on oletettavaa, että superkondensaattorit ja akut ovat kehittyneet niin, että koko linjaston ajaminen pelkästään niiden varassa voi olla mahdollista. Diesel tulee siis olemaan vallitseva bussiliikenteen pääenergiamuoto vielä ainakin 15–20 vuotta. Polttokennojen ja vedyn hyödyntämiseen joukkoliikenteessä ei tämän hetkisen näkemyksen mukaan tulla pääsemään vielä pidempään aikaan.

Tämänhetkisellä teknologiatasolla voidaan johdinauton linjastoja ulottaa myös jonkin matkaa ajojohtoverkoston ulkopuolelle taajaman äärialueille. Tällainen toimintamalli on jo toteutettu Solingenissa perinteisen diesel-apumootorin avulla, mutta tulevaisuus tuo myös muita vaihtoehtoisia ratkaisuja.



Kuva 2. Johdinauto ja ajojohdot St Gallenissa. (Kuva Juhana Nordlund)

3 Linjastosuunnittelu

3.1 Johdinautolinjaston lähtökohdat

Työvaiheen tarkoituksena on ollut etsiä järjestelmävaihtoehtojen kustannusvertailun pohjalle soveltuvaa johdinautolinjastoa. Luotettavan kustannusvertailun mahdollistamiseksi linjat on valittu nykyisistä linjoista, jotka matkustajakapasiteetiltaan soveltuisivat johdinautolinjoiksi. Mikäli johdinautojärjestelmään päädytään, kannattaa soveltuva linjasto suunnitella vielä uudestaan, jotta johdinautojen parhaita ominaisuuksia (hiljaisuus, lähipäästöttömyys, kustannustehokkuus korkean kysynnän linjoilla) päästäisiin parhaiten hyödyntämään. Siten tarkoituksena ei tässä ole ollut varsinaisesti linjastosuunnitelman tekeminen. Nykyiseen linjastoon on tehty kuitenkin vähäisiä muutoksia. Tavoitteena on ollut suppeahkon ja tiheästi liikennöitävän linjastokokonaisuuden löytäminen.

Johdinautoliikenne on valittu toteutettavaksi käyttäen nivelautoja ja joissain tilanteissa tuplanivelautoja. Suunnitellut linjastot pohjautuvat korkean kysynnän linjoihin, jolloin nivelautot tarjoavat nykyisiä busseja suuremman kapasiteetin. Johdinautoja tehdään myös 2-akselisina ja teliautoina, mutta suurin osa uusista johdinautoista toimitetaan nivelautoina. Sähkömoottorin dieselmoottoria suurempi vääntö ja siten parempi kiihtyvyys sopivat erityisen hyvin raskaaseen nivelautoon. Niveljohdinautossa voidaan toteuttaa myös helposti kaksi vetävää akselia, jolloin kiihtyvyys talviolosuhteissa paranee ja toisaalta jarrutusenergian talteenotto tehostuu. Johdinautojärjestelmän kiinteitä kustannuksia ja ajoneuvojen kallista erikoistekniikkaa voidaan hyödyntää sitä paremmin mitä suurempi kalusto on käytössä. Tästä syystä kaksiniveliset johdinautot ovat yleistyneet viime vuosina.

Tässä selvityksessä tutkittiin kolmea erilaista linjastovaihtoehtoa. A-vaihtoehtona on keskustalinjasto jota laajennetaan vaiheittain. B-vaihtoehto on keskustan linjasto täydennettynä heilurilinjalla. C-vaihtoehto perustuu poikittaislinjojen käyttöön. Linjastot on esitelty myöhemmin tässä luvussa. Myöhemmin raportissa esiteltävät tarkemmat laskelmat ja suunnitelmat on tehty käyttäen A-linjastoa.

Taulukko 3. Tutkitut linjastovaihtoehdot

| Linjasto | Kuvaus | Johdinautoille muutettavat linjat | Muutoksia linjoissa |
|----------|--|--------------------------------------|-------------------------------|
| A- | Aloitustlinjasto | 14, 18, 65 | |
| A | Vahvat kantakaupungin linjat | 14, 14B, 18, 39, 40, 65, 68, 71 | 1, 3B/3T, 7A/7B, 16, 68X, 71V |
| B | Vahvat keskustalinjat ja niitä tukevat heilurilinjat | 14, 14B, 16B, 18, 39, 40, 57, 68, 71 | 16, 41, 43, 68X, 71V |
| C | Poikittaislinjasto | 57, 506, 550 | |

Jos johdinautoliikenteen aloittamisesta tehdään päätös vuoden 2011 aikana, voisi liikenne eri suunnittelu- ja rakentamisvaiheiden jälkeen alkaa vuonna 2016. Linjaston suunnittelulle on tällöin varattu kaksi vuotta, ja järjestelmän rakentamiselle sekä käyttöönotolle kolme vuotta aikaa. Liikenne voidaan käynnistää suppealla linjastovaihtoehdolla A-, joka on kokonaan erillisen uuden järjestelmän kannalta kuitenkin varsin pieni. Suppealla verkolla voidaan silti hankkia kokemuksia johdinautoliikenteen toiminnasta Helsingissä ja ohjata seuraavien vaiheiden toteuttamista. Laskelmissa linjaston on suunniteltu laajenevan vaihtoehdon A suuruiseksi vuoteen 2025 mennessä.

Johdinautolinjaston tulee olla riittävän suuri, jotta varikkoon, ajojohtoihin ja sähkönjakelujärjestelmään tehtävät investoinnit saadaan jaetuksi riittävän suurelle liikennemäärälle ja liikennöintikustannukset pysyvät kohtuullisella tasolla. Suunniteltu kaluston määrä on 80–120 autoa. Suurin hyöty johdinautoista saadaan korkean

kysynnän runkolinjoilla, minkä takia johdinautolinjoja on päädytty liikennöimään nivelautoilla. Osalla suunnitelluista linjoista kapasiteetti nojaa uusien alueiden rakentumiseen (mm. Hernesaari). Ennen linjastosta päättämistä on tärkeää tarkastella uudestaan johdinautolinjastokokonaisuutta. Syksyllä 2010 käynnistyneessä runkolinjastosuunnitelmassa esitettävistä linjoista osaa voitaisiin liikennöidä johdinautoilla.

Työssä on päädytty siihen, että johdinautovarikkona toimisi nykyinen Koskelan bussivarikko (katso luvut 6 ja 7). Koskelaan mahtuu 83 nivelbussia ja sinne on mahdollista saada 7 korjaamopaikkaa, kun varikkokäytössä ovat myös sisätilat, joista osa on nykyisin vuokrattu muuhun käyttöön. Koskelan varikon sijainti on otettu huomioon linjastosuunnittelussa, jotta ajojohdinverkoston kautta on mahdollista päästä sujuvasti muille linjoille.

3.2 Liikennöintikustannukset

Liikennesuoritteiden yksikkökustannukset on määritelty vuoden 2008 tasolle. Nykyisten kulkumuotojen yksikkökustannukset ovat keskimääräisten Helsingin sisäisten linjojen toteutuneita yksikkökustannuksia vuodelta 2008 (HKL:n yksikkökustannusraportti HKL D: 11/2009).

Johdinautoliikenteen suoritteiden yksikköhinnat on johdettu dieselliikenteen yksikköhinnoista hyödyntämällä eurooppalaisilta johdinautoliikennöitsijöiltä ja -valmistajilta saatuja tietoja, kotimaisia nivelbusseja koskevia kustannustietoja sekä linja-autoliikenteen kustannusindeksin sopimusliikenteen alaindeksin painorakennetta.

Taulukko 4. Selvityksessä käytetyt liikennöintisuoritteiden yksikkökustannukset.

| kalustotyyppi | €/km | €/h | €/vaunupäivä | hankintahinta | huomioita |
|----------------------|------|-------|--------------|---------------|----------------|
| 2-akselinen bussi | 0,59 | 31,88 | 145,59 | 250 000 | HKL D: 11/2009 |
| nivelbussi | 0,80 | 31,88 | 172,42 | 330 000 | |
| tuplanivelbussi | 0,87 | 31,88 | 232,08 | 530 000 | |
| niveljohdinauto | 0,65 | 31,88 | 228,29 | 675 000 | |
| tuplaniveljohdinauto | 0,82 | 31,88 | 285,38 | 1 000 000 | |
| nivelraitiovaunu | 1,95 | 38,74 | 417,11 | 2 700 000 | HKL D: 11/2009 |

Keskeisiä johdinauton liikennöintikustannusten laskennan taustaoletuksia ovat:

- Niveljohdinauton hankintahinta on 675 000 euroa
- Johdinauton pitoaika on 20 vuotta
- Niveljohdinauton sähkönkulutus on 2,5 kWh/km
- Johdinauton huolto- ja korjauskustannukset ovat 22 % dieselbussia korkeammat

Eri lähteistä on selvitetty toteutuneita johdinautojen kauppvoja. Niveljohdinautojen hankintahinnat ovat tällöin vaihdelleet 470 000 ja 800 000 euron välillä. Tähän selvitykseen on valittu kalliimpaa hintaluokkaa edustava johdinauto, jolloin 20 vuoden pitoaika on perusteltavissa. Johdinautolle oletettu sähkön kulutus ei sisällä jarrutusenergian takaisinsyöttöä verkkoon tai muuta talteenottoa. Johdinautoliikennöitsijöiltä saatujen tietojen mukaan käytännössä niveljohdinautojen sähkön kulutus vaihtelee 1,5-3 kWh/km välillä riippuen kuormituksesta ja jarrutusenergian takaisinsyötöstä.

Eri lähteissä on todettu johdinautojen huolto- ja kunnossapitokustannukset dieselbusseja korkeammiksi. Tämä ero johtuu mm. virroittimien hiilien tiheästä vaihtovälistä ja johdinauton sähkölaitteiden vaatimasta erityisistä työvälaineistä ja työtavoista. Tässä työssä kustannuserona on käytetty 22 %:a, joka on P. Martin Luzernin, Winterthurin ja Zürichin järjestelmiä koskeneessa artikkelissa ilmoittama kustannusero. Muissa kaupungeissa tehdyt havainnot ovat pääosin linjassa käytetyn arvon kanssa.

Sopimusliikenteeseen vakiintuneen käytännön mukaan liikennöintikorvaukset maksetaan kolmen kustannuskomponentin (linjakilometrit, linjatunnit ja auto/vaunupäivät) suoritekertymän perusteella. Kustannuskomponentit koostuvat seuraavista tekijöistä:

- Linjakilometrit: ajonenergia, renkaat, voiteluaineet, varaosat, korjaus- ja huoltotöiden palkat sivukuluineen
- Linjatunnit: Kuljettajien palkat sivukuluineen sekä muut kuljettajajohdannaiset menot (mm. koulutus, työasu, työterveyshuolto, työpaikkaruokailu)
- Auto/vaunupäivät: kaluston pääomakustannukset, muut rahoitusmenot, vakuutukset, hallinnon palkat, kiinteistökulut, toimistokulut, muut yleiskulut

Raitiovaunun busseja ja johdinautoja selvästi korkeampi tuntihinta johtuu seuraavista tekijöistä: liikennetyön johdon palkka- ja muut kustannukset on raitioliikenteessä sijoitettu linjatuntiin, muissa liikennemuodoissa taas vaunu/autopäivään, liikenteenohjausjärjestelmän (OHJA) kustannukset sisältyvät tuntikustannukseen ja raitiovaunun kuljettajia koulutetaan selvästi enemmän kuin bussinkuljettajia, jolloin palkkakustannus linjatuntia kohden on bussiliikennettä suurempi.

Dieselbussien osalta on laskelmissa linjakilometrikustannusta korotettu vuodesta 2016 eteenpäin, sillä HSL siirtyy vähitellen käyttämään biopolttoaineita. Jäteöljyistä (esim. eläinrasvasta) tehdyn biodieselin käyttö aiheuttaa liikennöintiin lisäkustannuksia n. 3,5 snt/km. Oletuksena on, että vuonna 2016 puolet käytettävästä polttoaineesta on biopolttoaineita ja vuodesta 2020 eteenpäin kaikki käytetty polttoaine on biopolttoaineita.

Liitteessä 4 on esitelty vaihtoehtoisia kustannuslaskelmia, kun käytössä on eri hintaisia dieselhybridejä sekä johdinautoja.

Dieselbussiliikenteen osalta voidaan lisäksi todeta, että tuotantopanosten hintojen kehitystä kuvaava linja-autoliikenteen kustannusindeksi sopimusliikenteen alaindeksi nousi kevään 2008 ja kevään 2010 välisenä aikana 1,6 %. Toisaalta Helsingin sisäisen liikenteen kohteita uudelleen kilpailutettaessa vuoden 2010 alusta voimaan tulleiden viiden suurimman sopimuksen kustannukset nousivat vastaavana aikana keskimäärin 8,7 %. Tähän korotukseen sisältyy tuotantopanosten hinnan nousun ohella liikennöitsijöiden markkinatilanteen tuoma kustannustason selkeä nousu.

3.3 Vaihtoehto A: vahvat kantakaupungin linjat

Vaihtoehto sisältää Koskelan varikkoa sivuavia esikaupunkilinjoja, vahvoja kantakaupungin linjoja ja Herneisaaren linjan. Vaihtoehdon linjastona ovat:

- tiheästi liikennöidyt keskustalinjat 14 ja 18
- Koskelan varikkoa sivuavat esikaupunkilinjat 65, 68 ja 71
- Koskelan varikkoa sivuava poikittaislinja 57, jolle rakennettavat ajolangat merkittävästi tehostavat siirtoajoja varikolta
- vahvat esikaupunkilinjat 39 ja 40, joiden vuoksi verkkoa on tarpeen laajentaa vain vähän

Keskustalinjoja 14 ja 18 liikennöidään tiheällä vuorovälillä. Kantakaupungissa voidaan johdinautoliikenteen hyvät ominaisuudet hyödyntää parhaiten. Linjat palvelevat osin katuja, joille ei johdinautoliikenteen jälkeen jää merkittävästi raskasta dieselkäyttöistä liikennettä. Linjaa 14 on myös aiemmin liikennöity johdinautoilla.

Vaihtoehdossa raitiolinja 1 lopetettaisiin. Tällä hetkellä raitiolinjan 1 matkustajakysyntä on Helsingin nykyisistä raitiolinjoista pienin. Vähäisten matkustajamäärien vuoksi linjan liikennöinti hiljaiseen aikaan on lopetettu ja päiväliikenteen vuoroväliä pidennetty. Linjojen 1 ja 1A lopettamisen vuoksi lisätään yksi raitiovaunu linjoille

3B/3T, 3T/3B, 7A ja 7B. Lisäksi linjan 65 reitti muutettaisiin kulkemaan linjan 1 päätepysäkin kautta ja sen kapasiteettia kasvatettaisiin.

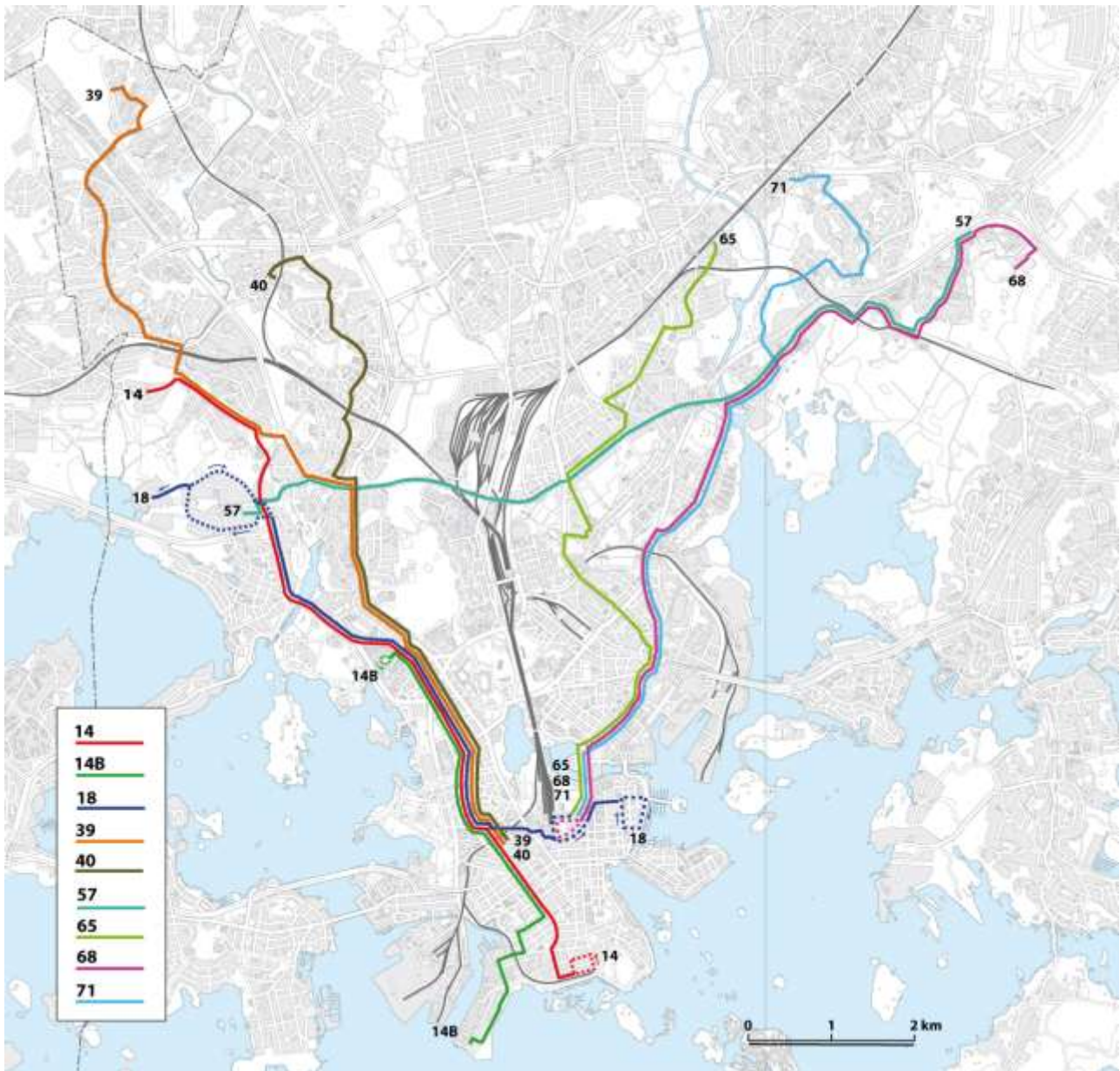
Linja 57 kannattaa muuttaa johdinautolinjaksi, sillä sen reitin kautta on Koskelan johdinautovarikolta mahdollista päästä useiden muiden johdinautolinjojen päätepysäkeille suorinta reittiä. Pelkästään matkustajakysyntään perustuen ei linjaa 57 kannattaisi muuttaa johdinautolinjaksi.

Hernesaaren uuden asuinalueen valmistuttua voidaan linja 14B muuttaa myös johdinautolinjaksi. Linja liikennöi Meilahden ja Hernesaaren välillä. Meilahden ja Punavuoren välillä linja liikennöi samoilla reittiosuuksilla kuin linja 14. Siten linja 14B edellyttää uusina ajohtoverkostona vain Meilahden kääntölenkkiä ja osuutta Punavuoresta Hernesaareen. Hernesaaren alueen maankäytön kehittymisen myötä myös alueen katuverkko rakennetaan uudestaan. Sen vuoksi ei ole mielekästä rakentaa ajohtoja vain väliaikaisesti kaduille, jotka rakennetaan myöhemmin uuteen paikkaan. Siten linjaa 14B ei ole perusteltua liikennöidä johdinautoin ennen kuin Hernesaaren alue on rakennettu. Hernesaarta palvelee edelleen myös linja 16. Vertailuvaihtoehdossa sekä linja 14B että 16 on korvattu Hernesaassa raitiolinjalla 6.

Linjat 68 ja 71 muodostavat tiheästi liikennöitävän kokonaisuuden keskustan, Vanhakaupungin ja Viikinmäen välillä. Linja 71 jatkaa Viikinmäestä Pihlajiston ja Pihlajamäen kautta Pukinmäen asemalle. Linja 68 puolestaan jatkaa edelleen Viikkiin. Linja 68 siirretään kulkemaan suoraan Hämeentietä. Muutos nopeuttaa jonkin verran yhteyksiä keskustan ja Viikin välillä, mitä on asiakaspalautteissa toivottu. On arvioitu, että linjan 68X tarjonta voidaan siirtää linjalla 68, koska linjan 68 perusreitti siirtyy nopeammalle reitille. Linjan 68 kapasiteetti kasvaa nivelkalustoon siirtymisen myötä. Johdinautovaihtoehdossa Kalasataman alueella joukkoliikenne siirtyy Hermannin rantatieltä Kalasataman maankäytön keskelle. Ei olisi mielekästä rakentaa vain tilapäisesti ajohtimia linjaa 68 varten Hermannin rantatielle. Sen vuoksi linja on siirretty Hämeentielle. Linjan 68 reittimuutos korvattaisiin linjan 55 reitin siirtämisellä kulkemaan Hermannin ja Sörnäisten rantatien kautta.

Linjat 39 ja 40 muodostavat läntisen Helsingin runkolinjat. Linjaa 39 on aiemmin liikennöity nivelkalustolla, minkä vuoksi se voisi soveltua hyvin myös niveljohdinautoilla ajettavaksi. Kun linja 40 muutetaan johdinautolinjaksi ja nivelkalustolla ajettavaksi, esitetään linjan 41 lakkauttamista. Linjan 41 Haagan poistuvia reittiosuuksia palvelisi linjan 43 siirto Huopalahden aseman ja Kauppalantien reitille. Linjan 40 päätepysäkki siirrettäisiin Elielinaukiolta Kamppiin linjan 41 lopettamisen myötä. Siten kaikki länsisuunnan johdinautolinjat olisi keskitetty Runeberginkadulle ja Topeliuksenkadulle.

Linjaston näkökannalta olisi perustellumpaa muuttaa linja 43 runko- ja johdinautolinjaksi. Tällöin linja 41 voitaisiin lopettaa. Linja 40 voisi puolestaan korvata linjan 41 poistuvia reittiosuuksia Etelä-Haagassa. Linjastoratkaisua on syytä jatkosuunnittelussa tarkemmin arvioida. Tässä työssä on päädytty linjan 40 esittämiseen johdinautolinjaksi, koska linjan muista linjoista erillinen reittiosuus jää lyhyemmäksi. Linjan 43 muuttaminen johdinautolinjaksi edellyttäisi enemmän sähkönsyöttöasemia. Lisäksi on arvioitu, ettei johdinautoista ole esikaupungeissa niin merkittäviä päästö- ja meluhyötyjä kuin lähempänä kantakaupunkia olevalla linjalla. Linjasto on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 3. Vaihtoehdon A johdinautolinjasto.

Verkoston laajuus on 57,5 km. Tästä 51,1 km on verkostoa, jossa johdinautot liikennöivät molempiin suuntiin ja 6,4 km osuuksia, joissa on liikennettä vain yhteen suuntaan.

Seuraavassa taulukossa on esitetty johdinautolinjaston ruuhkan ja päivän vuorovälit sekä kierrosajat. Vertailuvaihtoehdossa 0+ on oletettu, että uudet Hernesaaren ja Kalasataman asuinalueet on rakennettu. Tällöin uusien alueiden joukkoliikenne hoidettaisiin esimerkiksi raitiovaunuilla. Johdinautoliikenteen toteuttamismavaihtoehdossa A on tarkasteltu tilannetta, jossa uudet alueet ovat valmistuneet.

Taulukko 5. Linjaston ruuhkan sekä päivän vuorovälit ja kierrosajat vertailutilanteessa 0+ ja johdinautoliikenteen vaihtoehdossa A.

| Linja | Reittikuvaus | Ruuhkan vuoroväli | | Ruuhkan kierrosaika | | Päivän vuoroväli | | Päivän kierrosaika | |
|---------|-----------------------------------|-------------------|---------|---------------------|-------|------------------|------|--------------------|-----|
| | | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A |
| 14 | Eira-Pajamäki | 8,5–8,8 | 12 | 93–97 | 96 | 15 | 20 | 90 | 100 |
| 14B | Eira/Hernesaari-Meilähti | 15 | 15 | 60 | 60 | 15 | 20 | 60 | 60 |
| 16* | Herttoniemi-Hakaniemi/Hernesaari | 17,5 | 17,5 | 35 | 88 | 20 | 22 | 40 | 88 |
| 18 | Kruununhaka-Munkkivuori | 13,3 | 12 | 92–93 | 120 | 15 | 15 | 90 | 90 |
| 39,A | Kamppi-Malminkartano | 10,7–10,9 | 12 | 96–97 | 96 | 18 | 20 | 90 | 100 |
| 40 | Elielinaukio/Kamppi-Pohjois-Haaga | 12,3–12,5 | 12 | 74–75 | 72 | 18 | 20 | 72 | 80 |
| 41 | Kamppi-Kannelmäki | 15 | - | 90 | - | 18 | - | 90 | - |
| 43** | Elielinaukio-Hakuninmaa | 10 | 10 | 90 | 100 | 18 | 15 | 90 | 105 |
| 55A,K** | Marian sairaala-Koskela | 11,7–12,2 | 11,7 | 82–85 | 94 | 15 | 15 | 75 | 75 |
| 57 | Viikki-Munkkivuori | 10,0–11,3 | 10–11,3 | 80–90 | 80–90 | 17,5 | 17,5 | 70 | 70 |
| 65 | Rautatientori-Oulunkylä | 10 | 10 | 80 | 90 | 15 | 15 | 75 | 90 |
| 65N | Rautatientori-Oulunkylä | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 68 | Rautatientori-Viikki | 14,3–15,0 | 12 | 86–90 | 96 | 16 | 20 | 80 | 80 |
| 68X | Rautatientori-Viikki | 19 | - | 76 | - | - | - | - | - |
| 71 | Rautatientori-Pihlajamäki | 7,1–7,5 | 8,67 | 78–83 | 78 | 11 | 15 | 77 | 90 |
| 71V | Rautatientori-Pukinmäki | 26,3–28,0 | - | 79–84 | - | - | - | - | - |

* Linjaa 16 liikennöidään vaihtoehdossa 0+ vain Herttoniemen ja Hakaniemen välillä.
** Linjojen 43 ja 55 reitit muuttuvat johdinautolinjaston myötä, mutta niitä ajetaan edelleen dieselbusseilla.

Linjan 65 reitti lyhenee länsimetron valmistumisen jälkeen keskustan ja Oulunkylän välille. Johdinautovaihtoehdossa linjan 65 reitti muuttuu kulkemaan raitiolinjan 1 päätepysäkin kautta. Lisäksi linja 65N on yhdistetty linjaan 65.

Linjojen vuorovälit johdinautoliikenteeseen siirtymisen jälkeen ovat laskennallisia. Tavoitteena on ollut tuoda esille, millä tavoin kalustokoon muutokset vaikuttavat suoritteisiin. Ruuhka-aikoina mitoittavana tekijänä on ollut paikkamäärä. Muuna aikana tarjontaa ei ole supistettu kapasiteetin mukaisesti riittävän palvelutason säilyttämiseksi.

Seuraavassa taulukossa on esitetty linjaston automäärät, linjakilometrit, kalustotyyppi ja liikennöintikustannukset.

Taulukko 6. Linjaston ruuhkan automäärät, linjakilometrit ja liikennöintikustannukset vuodessa sekä kalustotyyppi vertailutilanteessa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa A.

| Linja | Ruuhkan automäärä | | Linjakm/vuosi | | Kalustotyyppi | | Liikennöintikustannukset €/a | |
|---|-------------------|-----------|------------------|------------------|---------------|-------|------------------------------|-------------------|
| | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A |
| 14 | 11 | 8 | 544 000 | 437 000 | 2-aks | nivel | 1 998 000 | 1 852 000 |
| 14B | 4 | 4 | 247 000 | 299 000 | 2-aks | nivel | 949 000 | 1 110 000 |
| 16* | 5 | 2 | 230 000 | 433 000 | 2-aks | 2-aks | 641 000 | 1 276 000 |
| 18 | 7 | 8 | 480 000 | 464 000 | teli | nivel | 1 769 000 | 1 980 000 |
| 39,A | 9 | 8 | 620 000 | 573 000 | teli | nivel | 1 907 000 | 1 994 000 |
| 40 | 6 | 6 | 433 000 | 428 000 | 2-aks | nivel | 1 402 000 | 1 601 000 |
| 41 | 6 | - | 427 000 | - | 2-aks | 2-aks | 1 427 000 | - |
| 43** | 9 | 10 | 688 000 | 753 000 | 2-aks | 2-aks | 1 960 000 | 2 326 000 |
| 55,A,K** | 7 | 8 | 469 000 | 542 000 | 2-aks | 2-aks | 1 641 000 | 1 777 000 |
| 57 | 8 | 8 | 411 000 | 406 000 | 2-aks | nivel | 1 315 000 | 1 500 000 |
| 65 | 8 | 9 | 487 000 | 532 000 | teli | nivel | 1 728 000 | 2 273 000 |
| 65N | 0 | - | 31 000 | - | teli | - | 75 000 | - |
| 68 | 6 | 8 | 607 000 | 653 000 | 2-aks | nivel | 1 651 000 | 2 087 000 |
| 68X | 4 | - | 130 000 | - | 2-aks | - | 434 000 | - |
| 71 | 11 | 9 | 793 000 | 646 000 | 2-aks | nivel | 2 353 000 | 2 230 000 |
| 71V | 3 | - | 156 000 | - | 2-aks | - | 346 000 | - |
| Yht. | 104 | 88 | 6 753 000 | 6 166 000 | | | 21 596 000 | 22 006 000 |
| * Linjaa 16 liikennöidään vaihtoehdossa 0+ vain Herttoniemen ja Hakaniemen välillä. | | | | | | | | |
| ** Linjoja 16, 43 ja 55 reitit muuttuvat johdinautolinjaston myötä, mutta niitä ajetaan edelleen dieselbusseilla. | | | | | | | | |

Kun taulukon luvuista vähennetään diesellinjojen 16, 43 ja 55 suoritteet, saadaan A-vaihtoehdon johdinautojen ajosuoritteeksi 4 438 000 km/v ja automääräksi 68, jonka päälle tulee 7 vara-autoa. Johdinautojen kokonaismääräksi saadaan näin 75 kpl. Johdinautoliikenteen kustannukset ovat 16 204 000 euroa/vuosi.

Vaihtoehdossa A johdinautoilla on 77 200 linjakm/verkkokm.

Vertailu- ja johdinautovaihtoehto eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Koska työssä on päädytty siihen, että kaikkia linjoja ajetaan niveljohdinautoilla ja vuoroväli on silti sama kuin vertailulinjoissa, on osalla linjoista ruuhka-ajan ulkopuolella selvästi nykyistä enemmän paikkatarjontaa.

Kierrosajat, vuorovälit, vaunumäärät, linjakilometrit ja liikennöintikustannusten muutos on esitetty seuraavissa taulukoissa. Lisäksi linjan 65 suoritteita on kasvatettu raitiovaunun linjan 1 lopettamisen jälkeen. Linjan 65 kapasiteetti kasvaa, kun siirrytään teliautoista nivelkalustoon ja suorite kasvaa reittimuutoksen myötä. Linjojen 1 ja 1A lopettamisen vuoksi lisätään yksi raitiovaunu linjoille 3B/3T, 3T/3B, 7A ja 7B, josta aiheutuu raitiolinjoille suorite- ja kustannusmuutoksia. Ne on esitetty seuraavissa taulukoissa.

Taulukko 7. Raitiolinjat, joille on suunniteltu muutoksia. Linjaston ruuhkan sekä päivän vuorovälit ja kierrosajat vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa A.

| Linja | Reittikuvaus | Ruuhkan vuoroväli | | Ruuhkan kierrosaika | | Päivän vuoroväli | | Päivän kierrosaika | |
|-------|--|-------------------|---------|---------------------|-------|------------------|------|--------------------|----|
| | | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A |
| 1/1A | (Eira-) Kauppatori-Käpylä | 9,1 | - | 82 | - | 21 | - | 63 | - |
| 3B/3T | Kaivopuisto-Kallio-Eläintarha-Töölö-Kaivopuisto | 9,4-9,6 | 8,3-8,4 | 66-67 | 66-67 | 9,4 | 8,3 | 66 | 66 |
| 3T/3B | Kaivopuisto-Töölö-Eläintarha-Kallio-Kaivopuisto | 9,4-9,9 | 8,3-8,6 | 66-69 | 66-69 | 9,7 | 8,5 | 68 | 68 |
| 6 | Hernesaari/Hietalahti-Arabia | 7,2-7,4 | 7,2-7,4 | 88-90 | 75-77 | 10,3 | 10,3 | 90 | 77 |
| 7A | Senaatintori-Töölö-Pasila-Hakaniemi-Senaatintori | 7,7-8,0 | 6,8-7,0 | 54-56 | 54-56 | 10,8 | 9 | 54 | 54 |
| 7B | Senaatintori-Hakaniemi-Pasila-Töölö-Senaatintori | 7,7 | 6,8 | 54 | 54 | 10,8 | 9 | 54 | 54 |

Taulukko 8. Raitiolinjat, joille on suunniteltu muutoksia. Muuttuvan raitiovaununlinjaston ruuhkan vaunumäärät, linjakilometrit ja liikennöintikustannukset vuodessa sekä kalustotyyppi vertailutilanteissa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa A.

| Linja | Ruuhkan vaunumäärä | | Linjakm/vuosi | | Kalustotyyppi | | Liikennöintikustannukset €/a | |
|-----------------|--------------------|-----------|------------------|------------------|---------------|---------|------------------------------|-------------------|
| | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A | 0+ | A |
| 1/1A | 9 | - | 294 000 | - | nivelrv | - | 2 529 000 | - |
| 3B/3T | 7 | 8 | 439 000 | 482 000 | nivelrv | nivelrv | 3 173 000 | 3 533 000 |
| 3T/3B | 7 | 8 | 429 000 | 470 000 | nivelrv | nivelrv | 3 149 000 | 3 499 000 |
| 6 | 12 | 10 | 579 000 | 492 000 | | | 4 522 000 | 3 848 000 |
| 7A | 7 | 8 | 355 000 | 403 000 | nivelrv | nivelrv | 2 651 000 | 3 013 000 |
| 7B | 7 | 8 | 346 000 | 393 000 | nivelrv | nivelrv | 2 593 000 | 2 957 000 |
| Yhteensä | 49 | 42 | 2 442 000 | 2 240 000 | | | 18 617 000 | 16 850 000 |

Seuraavassa taulukossa on esitetty tutkitun linjastokokonaisuuden liikennöintikustannusten ja kalustotarpeen muutokset vaihtoehdossa A verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+.

Taulukko 9. Vaihtoehdon A liikennöintikustannukset ja kalustotarve verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+. Taulukossa on esitetty vain edellä olevassa tarkastelussa mukana olevan linjaston tiedot.

| | Vertailuvaihtoehto 0+ | Johdinautolinjastovaihtoehto A | Muutos |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------|
| Liikennöintikustannukset [eur/vuosi] | 40 212 000 | 38 855 000 | -1 357 000 |
| kalustotarve | | | |
| - bussit | 101 | 20 | -81 |
| - raitiovaunut | 49 | 42 | -7 |
| - johdinautot | 0 | 68 | 68 |

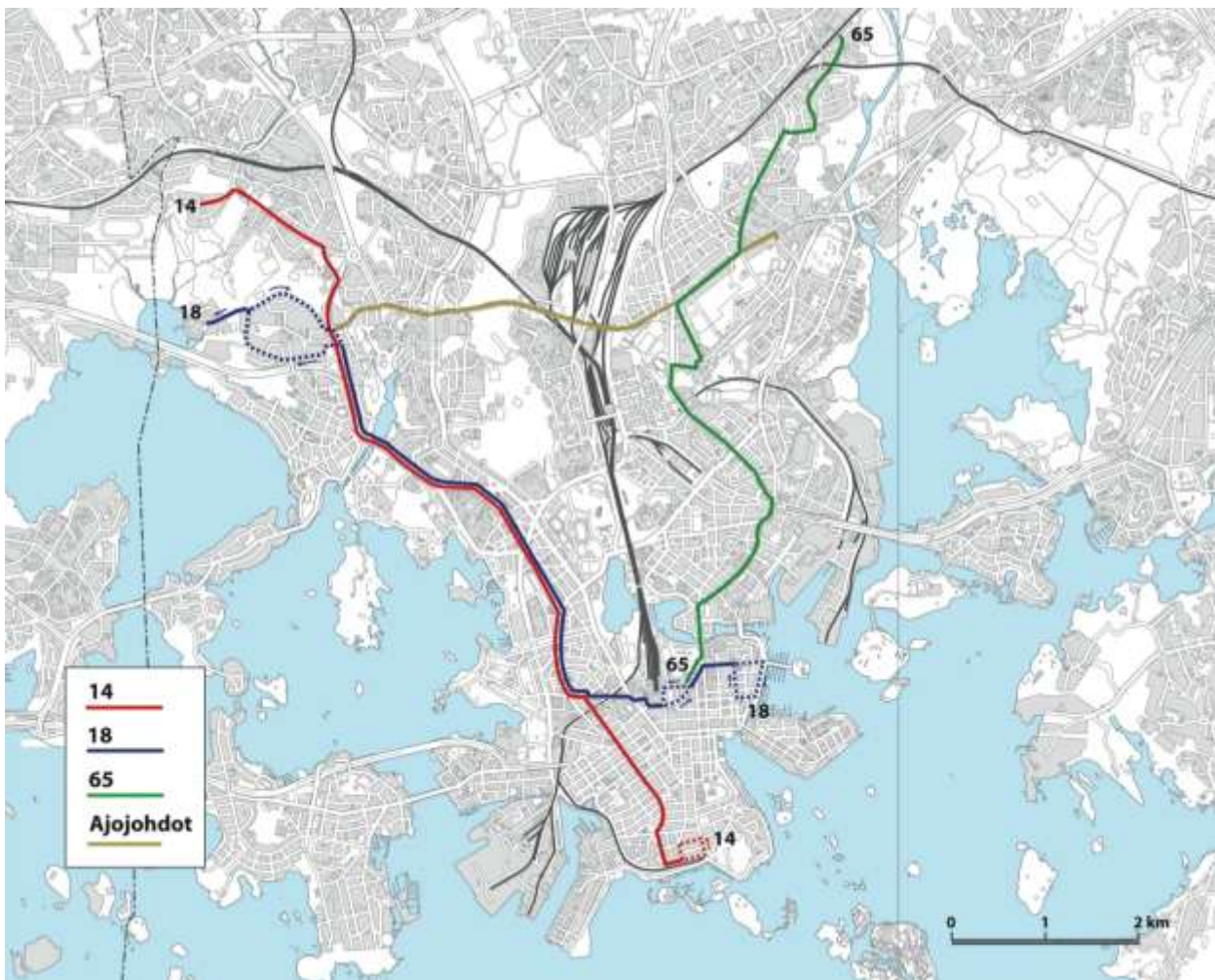
3.4 Vaihtoehto A-: Aloituslinjasto

Johdinautoliikenteen aloittamista varten on tarkasteltu suppeaa aloituslinjastoa. Tavoitteena suppeassa aloituksessa on kokemusten kartuttaminen johdinautoliikenteen toiminnasta Helsingissä. Lähtökohtana on ollut, että aloituslinjasto pohjautuu vaihtoehtoon A-. Aloituslinjaston alkukokemuksien jälkeen verkkoa laajennetaan kohti linjastoa A.

Aloituslinjastoksi esitetään kolmea nykyisin vahvaa linjaa, joiden tarjonta ja kysyntä ovat Helsingin bussilinjaston suurimpia. Aloituslinjaston laajuus on 24 niveljohdinautoa. Kun vara-autoja on 10 %, niin aloituslinjastoa varten tarvitaan 27 niveljohdinautoa. Taloudellisesti pelkkä aloituslinjasto ei ole vielä riittävän kokoinen, vaan tarvitaan suurempi järjestelmä.

Aloitusvaiheessakin varikko on Koskelassa. Aloituslinjaston merkittäväksi ongelmaksi muodostuvat pitkähköt siirtymät varikolle. Tätä varten on perusteltua rakentaa ajojohtimet myös Koskelasta Koskelantien, Hakamäentien ja Lapinmäentien kautta linjojen 14 ja 18 reiteille. Johtimia voidaan käyttää muutaman vuoden päästä johdinautoliikenteen laajentuessa linjalle 57. Vaihtoehtoisesti siirtymät on pystyttävä ajamaan apuvoimatekniikalla.

Linjasto on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4. Vaihtoehdon A- johdinautolinjasto.

Ajojohtoverkoston laajuus on 30,1 km, josta linjaliikenteen verkkoa on 25,8 km ja varikkosiirtymiä varten on 4,3 km verkkoa. Linjaliikenteen verkosta 20,2 km on verkostoa, jossa johdinautot liikennöivät molempiin suuntaan ja 5,6 km:llä liikennettä on vain yhteen suuntaan.

Seuraavassa taulukossa on esitetty johdinautolinjaston ruuhka-ajan ja päivän vuorovälit sekä kierrosajat. Vertailuvaihtoehdossa johdinautoiksi muutettavia linjoja ajetaan nykyisen kaltaisella dieselkalustolla. Linja 65A on kuitenkin katkaistu Rautatien torille linjaksi 65. Yölinjan 65N reitti poikkeaa jonkin verran perusreitistä. Tällä erillisellä reittiosuudella voidaan kokeilla reitin ajamista osittain ilman johtimia. Vaihtoehtoisesti yölinjan reitti voidaan yhdistää perusreittiin.

Taulukko 10. Linjaston ruuhkan sekä päivän vuorovälit ja kierrosajat vuonna 2016 vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautoliikenteen aloituslinjastossa A-.

| Linja | Ruuhkan vuoroväli | | Ruuhkan kierrosaika | | Päivän vuoroväli | | Päivän kierrosaika | |
|-------|-------------------|----|---------------------|-------|------------------|----|--------------------|-----|
| | 0+ | A- | 0+ | A- | 0+ | A- | 0+ | A- |
| 14 | 8,5–8,8 | 12 | 93–97 | 96 | 15 | 20 | 90 | 100 |
| 18 | 13,3 | 12 | 92-93 | 92-93 | 15 | 15 | 90 | 90 |
| 65 | 10 | 10 | 80 | 80 | 15 | 15 | 75 | 75 |
| 65N | - | - | - | - | - | - | - | - |

Linjojen vuorovälit johdinautoliikenteeseen siirtymisen jälkeen ovat laskennallisia. Tavoitteena on ollut tuoda esille, millä tavoin kalustokoon muutokset vaikuttavat suoritteisiin. Ruuhka-aikoina mitoittavana tekijänä on ollut paikkamäärä. Muuna aikana tarjontaa ei ole supistettu kapasiteetin mukaisesti riittävän palvelutason säilyttämiseksi.

Seuraavassa taulukossa on esitetty linjaston automäärät, linjakilometrit, kalustotyyppi ja liikennöintikustannukset.

Taulukko 11. Linjaston ruuhkan automäärät, linjakilometrit ja liikennöintikustannukset vuodessa sekä kalustotyyppi vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautoliikenteen aloituslinjastossa A-.

| Linja | Ruuhkan automäärä | | Linjakm/vuosi | | Kalustotyyppi | | Liikennöintikustannukset €/a | |
|-----------------|-------------------|----|---------------|-----------|---------------|-------|------------------------------|-----------|
| | 0+ | A- | 0+ | A- | 0+ | A- | 0+ | A- |
| 14 | 11 | 8 | 544 000 | 437 000 | 2-aks | nivel | 1 988 000 | 1 852 000 |
| 18 | 7 | 8 | 480 000 | 464 000 | teli | nivel | 1 761 000 | 1 980 000 |
| 65 | 8 | 8 | 487 000 | 487 000 | teli | nivel | 1 719 000 | 1 946 000 |
| 65N | 0 | 0 | 31 000 | 31 000 | teli | nivel | 74 000 | 76 000 |
| Yhteensä | 26 | 24 | 1 542 000 | 1 419 000 | | | 5 542 000 | 5 854 000 |

Kun liikenteen hoidon edellyttämien johdinautojen määrään lisätään 3 varavaunua, saadaan kokonaisajoneuvomääräksi 27 johdinautoa.

Vertailu- ja johdinautovaihtoehto eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Koska työssä on päädytty siihen, että kaikkia linjoja ajetaan niveljohdinautoilla ja vuoroväli on silti sama kuin vertailulinjoissa, on osalla linjoista ruuhka-ajan ulkopuolella selvästi nykyistä enemmän paikkatarjontaa.

Vaihtoehdossa on 55 000 linjakm/verkkokm, kun huomioidaan vain linjaliikenteen verkko. Kun myös varikkosiirtymien verkko huomioidaan, on vaihtoehdossa 47 000 linjakm/verkkokm. Seuraavassa taulukossa on esitetty tutkitun linjastokokonaisuuden liikennöintikustannusten ja kalustotarpeen muutokset vaihtoehdossa A- verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+.

Taulukko 12. Vaihtoehdon A- liikennöintikustannukset ja kalustotarve verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+. Taulukossa on esitetty vain edellä olevassa tarkastelussa mukana olevan linjaston tiedot.

| | Vertailuvaihtoehto 0+ | Johdinautolinjastovaihtoehto A- | Muutos |
|---|-----------------------|---------------------------------|---------|
| Liikennöintikustannukset [eur/vuosi] | 5 542 000 | 5 854 000 | 312 000 |
| kalustotarve | | | 0 |
| - bussit | 26 | 0 | -26 |
| - raitiovaunut | 0 | 0 | 0 |
| - johdinautot | 0 | 24 | 24 |

3.5 Vaihtoehto B: Vahvat keskustalinjat ja niitä tukevat heilurilinjat

Vaihtoehdon B linjat on valittu seuraavan ryhmittelyn kautta (ryhmittely on osin päällekkäinen):

- tiheästi liikennöidyt keskustalinjat 14, 14B, 16B ja 18
- Hernesaarta palvelevat linjat 14B ja 16B
- Kalasatamaa palvelevat linjat 18 ja 68
- Kruunuvuorenrantaa palvelevat heilurilinjat 16B, 39 ja 40
- Koskelan varikkoa sivuavat linjat 57 ja 71

Raitioliikenteen kokonaiskehittämissuunnitelmassa on esitetty, että Kruunuvuorenrannan, Kalasataman ja Hernesaaren yhteydet keskustaan hoidetaan raitiovaunuilla. Siten tämä linjastovaihtoehto B muodostaa osin vaihtoehdon suunnitelluille raitiovaunuverkoston laajennuksille. Vaikka johdinautoliikenne näillä alueilla aloitetaisiinkin, raitiovaunuliikenne kasvaa nykyisestä Jätkäsaaren ja Ilmalan laajennusten myötä.

Linja 57 kannattaa muuttaa johdinautolinjaksi, sillä sen reitin kautta on Koskelasta mahdollista päästä useiden johdinautolinjojen päätepysäkeille suoraa reittiä. Pelkkien matkustajamäärien perusteella linjaa ei ole kannattava muuttaa johdinautolinjaksi. Linjan 57 ruuhka-ajan vuoroväliä on mahdollista jonkin verran pidentää, kun siirrytään 2-akselisesta kalustosta nivelkalustoon.

Hernesaarta palvelevat linjat 14B ja 16B, kuten vaihtoehdossa A. Kalasataman uusia asuinalueita palvelevat vaihtoehdossa linja 18 ja linja 68. Linja 18 jatkettaisiin Kruununhaasta Tervasaarta sivuten Kalasataman alueelle. Päätepysäkki olisi Hämeentien ympäristössä. Tällöin linja palvelisi myös Kalasataman alueen pohjoisosia ja tarjoaisi täsmällisen liityntäyhteyden metroon. Lisäksi linja 68 palvelee nykyisen kaltaisesti Kalasatamaa.

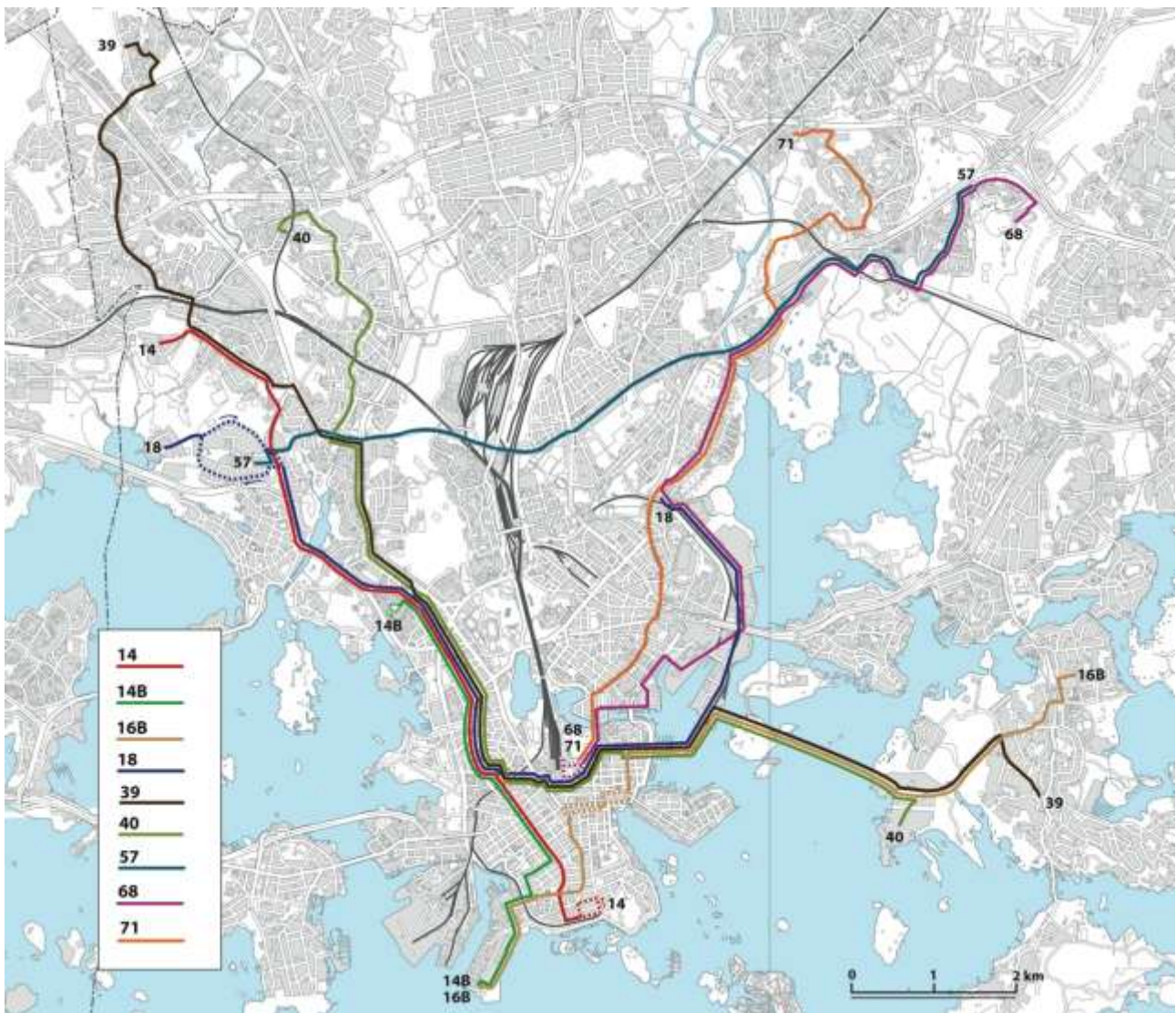
Kruunuvuorenrantaa palvelevat linjat 16B, 39 ja 40, jotka jatkettaisiin keskustan läpi kulkeviksi heilurilinjoiksi. Linja 16B yhdistää uusia merkittäviä asuin- ja työpaikka-alueita keskustaa sivuten. Olisi mahdollista, että linja 16B liikennöitäisiin Esplanadien sijasta Mannerheimintien ja Kaivokadun kautta. Molemmissa reittivaihtoehdoissa pitäisi järjestää joukkoliikenteen kaistaetuuksia, koska katuosuudet ovat Helsingin hitaimpia.

Linjalla 39 on merkittävästi yhteistä osuutta muiden suunniteltujen johdinautolinjojen kanssa. Lisäksi linjan kysyntä ja tarjonta on jo nykytilanteessa merkittävää. Linjaa 40 vahvistetaan yhdistämällä linjat 40 ja 41. Tällöin on löydettävissä Mannerheimintien suunnasta linja, jota on perusteltua ajaa nivelkalustolla, ja linjalla ei ole esikaupunkialueella kovin pitkää reittiosuutta, jolla ei olisi muuta johdinautoliikennettä. Linjojen 40 ja 41 muutoksen seurauksena linjan 43 reitti muutettaisiin Huopalahdessa linjan 41 nykyiselle reitille. Linjan 41 tarjonnan siirrosta linjalle 40 seuraa, että Pelimannintien päätepysäkin ympäristössä kävelyetäisyydet lähimmälle pysäkillä pitenevät 400 metriin. Hämeenlinnanväylältä poistuu linjan 43 reittiosuus, mutta väylän ympäristössä palvelevat edelleen mm. linjat 42 ja 63. Reittimuutoksen myötä linjan 43 reitti hidastuu. Keskustaan suuntau-

tuvilla matkoilla vaihtoyhteys junaan Huopalahdessa ja Kannelmäessä tarjoaa nopean yhteyden keskustaan. Myös linja 42 olisi tarjonnan ja kysynnän puolesta sopiva heiluripari Kruunuvuorenrannan linjoille. Linjalla on kuitenkin pitkä osuus Hämeenlinnanväylällä, mikä asettaa vaatimuksia kaluston huippunopeudelle.

Suunnitellun Kruunuvuorenrannan sillan vuorokautiseksi matkustajamääräksi on arvioitu 21 000–23 000 matkustajaa/arkivrk. Tällöin sillalla on 1 150 matkustajaa aamuhuipputuntina (aht) ruuhkasuuntaan. Kun nivelbusseilla liikennöidään neljän minuutin vuorovälillä, on kapasiteetti 1 260 matkustajaa huipputuntina ruuhkasuuntaan. Nivelbussin mitoittavana paikkamääränä on käytetty 84 matkustajaa. Kruunuvuorenrantaan voisi olla perusteltua liikennöidä tuplanivelillä. Keskustan länsipuolella matkustajamäärät eivät kuitenkaan puolla tuplanivelien käyttöä. Lisäksi linjojen hännillä vuoroväli pitenisi.

Linjasto on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 5. Vaihtoehto B johdinautolinjasto.

Johdinautolinja 40 esitetään siirrettäväksi Mannerheimintieltä Topeliuksenkadulle ja Runeberginkadulle. Linjojen keskittäminen on perusteltua, jotta rakennettavien ajojohtimien määrää voidaan vähentää.

Verkoston laajuus on 68,1 km. Tästä 61,2 km liikennöidään molempiin suuntiin ja 6,9 km vain yhteen suuntaan.

Seuraavassa taulukossa on esitetty johdinautolinjaston ruuhkan sekä päivän vuorovälit ja kierrosajat. Vertailuvaihtoehtossa on oletettu, että uudet Hernesaaren, Kalasataman ja Kruunuvuorenrannan asuin- ja työpaikka-alueet on rakennettu. Tällöin uusien alueiden joukkoliikenne hoidettaisiin esimerkiksi raitiovaunuilla. Johdinautoliikenteen toteuttamisvaihtoehtossa on tarkasteltu tilannetta, jossa uudet alueet ovat valmistuneet.

Taulukko 13. Linjaston ruuhkan sekä päivän vuorovälit ja kierrosajat vertailutilanteessa 0+ ja johdinautovaihtoehtossa B.

| Linja | Reittikuvaus | Ruuhkan vuoroväli | | Ruuhkan kierrosaika | | Päivän vuoroväli | | Päivän kierrosaika | |
|-------|--|-------------------|---------|---------------------|-------|------------------|------|--------------------|-----|
| | | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B |
| 14 | Eira-Pajamäki | 8,5–8,8 | 12 | 93–97 | 96 | 15 | 20 | 90 | 100 |
| 14B | Hernesaari-Meilahti | 15 | 15 | 60 | 60 | 15 | 20 | 60 | 60 |
| 16 | Hernesaari-Hakaniemi | 17,5 | * | 88 | * | 22 | * | 88 | * |
| 16B | Hernesaari-Yliskylä | - | 12 | - | 96 | - | 15 | - | 105 |
| 18 | (Kalasatama-) Kruununhaka-Munkkivuori | 13,3 | 12 | 92–93 | 120 | 15 | 15 | 90 | 120 |
| 39 | (Reiherintie-) Kamppi-Malminkartano | 10,7-10,9 | 12 | 96-97 | 144 | 18 | 15 | 90 | 135 |
| 39A | Kamppi-Malminkartano | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 40 | (Koirasaari-) Kamppi/ Elielinaukio-Pohjois-Haaga | 12,3-12,5 | 12 | 74-75 | 120 | 18 | 15 | 72 | 120 |
| 41 | Kamppi-Kannelmäki | 15 | - | 90 | - | 18 | - | 90 | - |
| 43 | Elielinaukio-Hakuninmaa | 10 | 10 | 90 | 100 | 18 | 15 | 90 | 105 |
| 57 | Viikki-Munkkivuori | 10,0-11,3 | 13,3-15 | 80-90 | 80-90 | 17,5 | 17,5 | 70 | 70 |
| 68 | Rautatientori-Viikki | 14,3–15,0 | 12 | 86–90 | 96 | 16 | 15 | 80 | 90 |
| 71 | Rautatientori-Pihlajamäki | 7,1–7,5 | 12 | 78–83 | 84 | 11 | 15 | 77 | 90 |
| 71V | Rautatientori-Pukinmäki | 26,3–28,0 | - | 79–84 | - | - | - | - | - |

* Linja korvataan linjalla 16B Hernesaaren ja Kruunuvuorenrannan välillä.

Linjoja 16B, 18, 39, 40, 68 ja 71 liikennöitäisiin ruuhka-aikoina 12 minuutin välein ja arkisin päivällä 15 minuutin välein. Muina aikoina vuoroväli olisi 20 minuuttia. Siten yhteisillä osuuksilla linjat tarjoavat vuoroväliltään erittäin hyvän palvelutason. Pitempien vuorovälien ongelmana olisi, että vuorovälit linjojen hännillä muodostuisivat pitkiksi. Kruunuvuorenrannan kysyntä on arvioitu melko suureksi ja se edellyttää tiheitä vuorovälejä. Ruuhka-ajan tiheet vuorovälit ovat ongelmallisia, koska linjojen peräkkäin ajamisen riski kasvaa.

Linjan 39A liikenne on toistaiseksi säilytetty tarkastelussa erillisenä. Voisi olla mahdollista, että Malminkartanossa peruslinjasta poikkeava reitti ajettaisiin ilman ajojohtimia. Vaihtoehtoisesti linjan reitille pitäisi rakentaa myös ajojohtimet tai laajentaa linjan 45 liikennöintiäkoja.

Linjojen vuorovälit johdinautoliikenteeseen siirtymisen jälkeen ovat laskennallisia. Tavoitteena on ollut tuoda esille, millä tavoin kalustokoon muutokset vaikuttavat suoritteisiin. Ruuhka-aikoina mitoittavana tekijänä on ollut paikkamäärä. Muuna aikana tarjontaa ei ole supistettu kapasiteetin mukaisesti riittävän palvelutason säilyttämiseksi. Seuraavassa taulukossa on esitetty linjaston automäärät, linjakilometrit, kalustotyyppi ja liikennöintikustannukset.

Taulukko 14. Linjaston ruuhkan automäärät, linjakilometrit ja liikennöintikustannukset vuodessa sekä kalustotyyppi vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa B.

| Linja | Ruuhkan automäärä | | Linjakm/vuosi | | Kalustotyyppi | | Liikennöintikustannukset €/a | |
|-----------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|---------------|--------------|------------------------------|-------------------|
| | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B |
| 14 | 11 | 8 | 544 000 | 437 000 | 2-aks | nivel | 1 998 000 | 1 852 000 |
| 14B | 4 | 4 | 247 000 | 223 000 | 2-aks | nivel | 949 000 | 999 000 |
| 16 | 5 | * | 433 000 | * | 2-aks | * | 1 276 000 | 631 000 * |
| 16B | - | 8 | - | 606 000 | - | nivel | - | 2 383 000 |
| 18 | 7 | 10 | 480 000 | 717 000 | teli | nivel | 1 769 000 | 2 854 000 |
| 39 | 9 | 12 | 493 000 | 844 000 | teli | nivel | 1 655 000 | 2 977 000 |
| 39A | 0 | 0 | 127 000 | 210 000 | teli | nivel | 252 000 | 488 000 |
| 40 | 6 | 10 | 433 000 | 834 000 | 2-aks | nivel | 1 402 000 | 2 891 000 |
| 41 | 6 | - | 427 000 | - | 2-aks | - | 1 427 000 | - |
| 43 | 9 | 10 | 688 000 | 750 000 | 2-aks | diesel-2-aks | 1 960 000 | 2 317 000 |
| 57 | 8 | 6 | 411 000 | 371 000 | 2-aks | nivel | 1 315 000 | 1 294 000 |
| 68 | 6 | 8 | 607 000 | 680 000 | 2-aks | nivel | 1 651 000 | 2 219 000 |
| 71 | 11 | 7 | 793 000 | 603 000 | 2-aks | nivel | 2 353 000 | 2 012 000 |
| 71V | 3 | - | 156 000 | - | 2-aks | - | 346 000 | - |
| Yhteensä | 85 | 83 (73**) | 5 839 000 | 6 275 000** | | | 18 353 000 | 22 917 000 |

* Linja korvataan linjalla 16B Hernesaaren ja Kruunuvuoren rannan välillä. Linjan liikennöintikustannukset vastaavat Hakaniemen, Kalasataman ja Herttoniemen väliä, joka korvataan muulla linjalla.

** Linjaa 43 ajetaan myös johdinautovaihtoehdossa diesel-busseilla. Siten niveljohdinautoja on vaihtoehdossa 73.

Kun taulukon luvuista vähennetään diesellinjan 43 suoritteet, saadaan B-vaihtoehdon johdinautojen ajosuoritteeksi 5 526 000 km/v ja automääräksi 73. Kun tähän lisätään 8 vara-autoa, saadaan johdinautojen kokonaismääräksi 81 kpl. Johdinautolinjojen liikennöintikustannukset ovat 20 600 000 €/v.

Vertailu- ja johdinautovaihtoehdot eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Koska työssä on päädytty siihen, että kaikkia linjoja ajetaan niveljohdinautoilla ja vuoroväli on silti sama kuin vertailulinjoissa, on osalla linjoista ruuhka-ajan ulkopuolella selvästi nykyistä enemmän paikkatarjontaa.

Vaihtoehdossa B Hernesaaren, Kalasataman ja Kruunuvuoren rannan uusien asuin- ja työpaikka-alueiden joukkoliikenne on järjestetty johdinautoilla raitiovaunujen sijaan. Vertailuvaihtoehdossa liikenne on hoidettu raitiovaunuin. Vaihtoehdot kuvaavat loppuvaiheen tilannetta, kun alueet ovat rakentuneet. Tämä on tarkoituksenmukaista sen vuoksi, että johdinautoverkon laajuuden mitoittaa Koskelan varikon kapasiteetti.

Seuraavissa taulukoissa on esitetty vastaavat suoritteet vertailuvaihtoehdossa mukana olevilla raitiovaunulinjoilla. Kalasataman raitiolinjat on laskelmassa esitetty alkaviksi Kaivokadulta, koska niiden mahdollinen toinen päätepiste voi olla esimerkiksi Jätkäsaarella. Tästä syntyvien lyhyiden kierrosaikojen vuoksi vaunupäivät eivät ole kokonaislukuja, koska linjat todellisuudessa jatkaisivat pidemmälle. Raitiolinjoja 6 ja 8 ajetaan puolestaan yhteisellä vaunukierrolla, minkä vuoksi vaunupäivät eivät ole linjalla 6 kokonaislukuja.

Taulukko 15. Raitiolinjat, joille on suunniteltu muutoksia vaihtoehdossa B. Linjaston ruuhkan sekä päivän vuorovälit ja kierrosajat vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa B.

| Linja | Reittikuvaus | Ruuhkan vuoroväli | | Ruuhkan kierrosaika | | Päivän vuoroväli | | Päivän kierrosaika | |
|-------|---------------------------------------|-------------------|---------|---------------------|-------|------------------|------|--------------------|----|
| | | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B |
| 2 | ...-Kaivokatu-Merihaka-Kalasatama (M) | 12 | - | 36 | - | 15 | - | 35 | - |
| 6 | (Hernesaari-) Hietalahti-Arabia | 7,2-7,4 | 7,2-7,4 | 88-90 | 75-77 | 10,3 | 10,3 | 90 | 77 |
| 10A | Koirasaari-Pikku Huopalahti | 15 | - | 105 | - | 20 | - | 107 | - |
| 10B | Reiherintie-Pikku Huopalahti | 15 | - | 105 | - | 20 | - | 107 | - |
| 10C | Yliskylä-Pikku Huopalahti | 15 | - | 105 | - | 20 | - | 107 | - |
| A | ...-Kaivokatu-Kalasatama | 12 | - | 48 | - | 15 | - | 50 | - |

Taulukko 16. Raitiolinjat, joille on suunniteltu muutoksia vaihtoehdossa B. Muuttuvan raitiovaununlinjaston ruuhkan vaunumäärät, linjakilometrit sekä liikennöintikustannukset vuodessa ja kalustotyyppi vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa B.

| Linja | Ruuhkan vaunumäärä | | Linjakm/vuosi | | Kalustotyyppi | | Liikennöintikustannukset €/a | |
|-----------------|--------------------|-------------|------------------|----------------|---------------|----------|------------------------------|------------------|
| | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B | 0+ | B |
| 2 | 3 | - | 186 000 | - | nivelrv | - | 1 298 000 | - |
| 6 | 12,2 | 10,4 | 579 000 | 492 000 | nivelrv | nivelrv | 4 522 000 | 3 848 000 |
| 10A | 7 | - | 452 000 | - | nivelrv | - | 3 037 000 | - |
| 10B | 7 | - | 249 000 | - | nivelrv | - | 2 001 000 | - |
| 10C | 7 | - | 260 000 | - | nivelrv | - | 2 024 000 | - |
| A | 4 | - | 138 000 | - | nivelrv | - | 1 161 000 | - |
| Yhteensä | 40,2 | 10,4 | 1 864 000 | 492 000 | - | - | 14 043 000 | 3 848 000 |

Vaihtoehdossa on 81 000 linjakm/verkkokm. Linjastopoikkeamat – linjojen 55, 65N ja 71V yhdistäminen perusreittiin – ovat toteuttavissa ilman olennaisia palvelutasomuutoksia. Hiljaisena aikana liikennöitävän linjan 39A liikennöintiä on tarpeen jatkossa tutkia tarkemmin. Seuraavassa taulukossa on esitetty tutkitun linjastokokonaisuuden liikennöintikustannusten ja kalustotarpeen muutokset vaihtoehdossa B verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+.

Taulukko 17. Vaihtoehdon B liikennöintikustannukset ja kalustotarve verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+. Taulukossa on esitetty vain edellä olevassa tarkastelussa mukana olevan linjaston tiedot.

| | Vertailuvaihtoehto 0+ | Johdinautolinjastovaihtoehto B | Muutos |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------|
| Liikennöintikustannukset [eur/vuosi] | 32 396 000 | 26 765 000 | -5 631 000 |
| kalustotarve | | | |
| - bussit | 85 | 10 | -75 |
| - raitiovaunut | 40 | 10 | -30 |
| - johdinautot | 0 | 73 | 73 |

Linjan 68 matkustajamäärät kasvavat Kalasataman alueen rakentuessa. Tämän vuoksi linjan tarjontaa on kasvatettu. Linja hidastuu, kun reitti siirtyy Kalasataman alueen uusille kaduille ja Kalasataman matkustajamäärät kasvavat. Sivun ajoajan on arvioitu pitenevän 4-5 minuuttia. Jatkosuunnittelussa olisi tämän vuoksi perusteltua tutkia myös vaihtoehtoa, jossa linja 68 liikennöi suoraan Hämeentietä. Tällöin keskustan ja Viikin väliset yhteydet ovat nopeammat asiakkaiden toiveiden mukaisesti. Mahdollisesti tällöin olisi myös mahdollista yhdistää linjan 68X tarjonta linjalle 68.

3.6 Vaihtoehto C: poikittaislinjat

Vaihtoehtoon C linjoiksi on valittu poikittaislinjoja, joita liikennöidään seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- linja 57 jatkettuna Kontulaan nivelkalustolla
- tiedelinja 506 nivelkalustolla siten, että linjaa liikennöidään myös viikonloppuisin
- Jokeri 1, linja 550 tuplanivelkalustolla siten, että lähtömäärä on 10 % nykyistä korkeampi

Poikittaislinjastovaihtoehtoon rungon muodostavat Jokeri 1 (linja 550) ja Tiedelinja 506. Seuraavalla kilpailuttamiskierroksella Jokeri 1 on tarkoitus kilpailuttaa siten, että kalustona käytetään tuplanivelbussia. HKL:n suunnitteluohjeen mitoituksessa käytetään rekisteröityä paikkamäärää vähemmän mitoitusta matkustusmukavuuden parantamiseksi. Todennäköinen suunnitteluohjeen kaltainen paikkamäärä olisi tuplanivelbussilla 110–120 paikkaa, joista 55 on istumapaikkoja. Sen vuoksi myös johdinautovaihtoehtossa lähtökohtana olisivat tuplanivelbussit. Linjan matkustajamäärien on ennakoitu kasvavan siten, että tarjontaa on tarpeen kasvattaa 10 prosentilla. Täsmällisyyden parantamiseksi olisi tehtävä erityistoimenpiteitä, koska se on jo nykytilanteessa ongelmana.

Tiedelinjan 506 kapasiteetin kasvattaminen ja viikonloppuliikenteen aloittaminen nojaa Keski-Pasilan tulevaan voimakkaaseen maankäytön kasvuun. Linjan 57 muuntaminen johdinautolinjaksi mahdollistaa sen, että Koskelasta on mahdollista päästä johdinautolinjojen päätepysäkeille ajojohdinverkostoa pitkin. Linjaa 57 on suunniteltu jatkettavan Kontulaan poikittaisliikenteen kehittämissuunnitelman mukaisesti. Linjan kapasiteetin kasvattaminen nivelkalustolla ajettavaksi on perusteltua, koska Kontulaan jatkamisen seurauksena matkustajamäärien on ennakoitu kasvavan.

Linjasto on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 6. Vaihtoehtoon C johdinautolinjasto.

Jokerilla on Kehä I:llä reittiosuuksia, joilla nopeusrajoitus on 80 km/h. Espoon puolella nopeusrajoitukset nousevat Kehä I:llä, kun nykyisiä valo-ohjattuja tasoliittymiä korvataan eritasoliittymillä. Maailmalla on käytössä johdinautolinjoja, joilla ajonopeus on 80 km/h. Pääsääntöisesti johdinautoilla ajetaan kuitenkin alemmilla nopeuksilla. Sopivia poikittaislinjoja johdinautoiksi muutettaviksi olisivat lisäksi Pasilan tason linjat 58, 58B ja 59 sekä Jokeri 2. Pasilan tason linjojen ongelmaksi saattaa muodostua korkea nopeusrajoitus Itäväylällä, jos johdinautot liikkuvat muuta liikennettä hitaammin. Jokeri 2 puolestaan sijaitsee erillään muusta linjastosta.

Poikittaislinjastossa varikkosiirtymät ovat osin erittäin pitkiä. Sen vuoksi on tarpeen arvioida erillisen varikon rakentamista johdinautoille tai tehokkaan apumoottorin rakentamista johdinautoihin.

Linjaston kokonaispituus on 54,5 km. Terminaaleja lukuun ottamatta osuudet ovat kaksisuuntaisia.

Seuraavassa taulukossa on esitetty vertailulinjaston ja johdinautolinjaston ruuhkan ja päivän vuorovälit sekä kierrosajat. Taulukossa nykytilanne vastaa vuoden 2016 tilannetta, jossa johdinautoliikennettä ei ole toteutettu. Huomattavaa on, että vertailulinjastossa kalusto on johdinautokaluston tapaan nivel- ja tuplanivelajoneuvoja. Mitoituksessa on sekä johdinautovaihtoehdossa että vertailuvaihtoehdossa arvioitu kysynnän kasvavan Keski-Pasilan ja linjan 57 osalta Kontulan jatkon vuoksi.

Taulukko 18. Linjaston ruuhkan sekä päivän vuorovälit ja kierrosajat vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa C. Vuorovälit ovat molemmissa samat johtuen samanlaisista ajoneuvoista.

| Linja | Reittikuvaus | Ruuhkan vuoroväli | | Ruuhkan kierrosaika | | Päivän vuoroväli | | Päivän kierrosaika | |
|-------|--------------------------|-------------------|-----|---------------------|-----|------------------|----|--------------------|-----|
| | | 0+ | C | 0+ | C | 0+ | C | 0+ | C |
| 57 | Kontula-Munkkivuori | 10 | 10 | 100 | 100 | 15 | 15 | 90 | 90 |
| 506 | Viiikki-Pohjois-Tapiola | 15 | 15 | 150 | 150 | 20 | 20 | 140 | 140 |
| 550 | Itäkeskus-Westendinasema | 4,5 | 4,5 | 135 | 135 | 8 | 8 | 128 | 128 |

Seuraavassa taulukossa on esitetty linjaston automäärät, linjakilometrit, kalustotyyppi ja liikennöintikustannukset.

Taulukko 19. Linjaston ruuhkan automäärät, linjakilometrit sekä liikennöintikustannukset vuodessa ja kalustotyyppi vertailuvaihtoehdossa 0+ ja johdinautovaihtoehdossa C.

| Linja | Ruuhkan automäärä | | Linjakm/vuosi | | Kalustotyyppi | | Liikennöintikustannukset €/a | |
|-----------------|-------------------|----|---------------|-----------|---------------|------------|------------------------------|------------|
| | 0+ | C | 0+ | C | 0+ | C | 0+ | C |
| 57 | 10 | 10 | 618 000 | 618 000 | nivel | nivel | 2 018 000 | 2 055 000 |
| 506 | 10 | 10 | 828 000 | 828 000 | nivel | nivel | 2 619 000 | 2 639 000 |
| 550 | 30 | 30 | 2 832 000 | 2 832 000 | tuplanivel | tuplanivel | 7 897 000 | 8 083 000 |
| Yhteensä | 50 | 50 | 4 278 000 | 4 278 000 | 0 | 0 | 12 534 000 | 12 777 000 |

Kun johdinautojen määrään lisätään 5 vara-autoa, saadaan johdinautojen kokonaismääräksi 55 kpl.

Vaihtoehdossa on 79 000 linjakm/verkkokm. Poikittaislinjavaihtoehdon ongelmana on, että pääsääntöisesti kullakin reittiosuudella kulkee vain yksi linja. Potentiaalisimmat lisäykset matkustajamäärän ja tarjonnan puolesta voisivat olla linjat 58, 58B, 59 ja 570 (Jokeri 2). Nämäkin linjat eivät parantaisi linjakilometrien/verkkokilometrien suhdelukua merkittävästi. Seuraavassa taulukossa on esitetty tutkitun linjastokokonaisuuden liikennöintikustannusten ja kalustotarpeen muutokset vaihtoehdossa C verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+.

Taulukko 20. Vaihtoehtoon C liikennöintikustannukset ja kalustotarve verrattuna vertailuvaihtoehtoon 0+. Taulukossa on esitetty vain edellä olevassa tarkastelussa mukana olevan linjaston tiedot.

| | Vertailuvaihtoehto 0+ | Johdinautolinjastovaihtoehto C | Muutos |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------|
| Liikennöintikustannukset [eur/vuosi] | 12 534 000 | 12 777 000 | 243 000 |
| kalustotarve | | | |
| - bussit | 50 | 0 | -50 |
| - raitiovaunut | 0 | 0 | 0 |
| - johdinautot | 0 | 50 | 50 |

3.7 Muut tutkitut linjastovaihtoehtot

Työssä on tutkittu myös muita linjastovaihtoehtoja. Keskeisimpiä näkökantoja linjojen soveltumises-
ta johdinautoilla liikennöitäväksi on esitetty seuraavassa.

Keskustalinjat 15, 15A, 23, 24 ja 53

Keskustalinjat liikennöivät nykyisen raitiovaunuverkon alueella. Siten linjat voisivat hyödyntää nykyi-
sen raitiovaunuverkon sähkönsyöttöasemia. Lisäksi osa linjoista kulkee kaduilla, joilla kokonaislii-
kennemäärät ovat vähäisiä ja joille ei jäisi dieselbussiliikennettä, jos linjat muutettaisiin johdinautolin-
joiksi. Tällöin katujen melu- ja päästöarvot alenisivat huomattavasti. Linjojen matkustajamäärät ovat
kuitenkin melko alhaisia. Tämän vuoksi linjojen vuorovälit ovat pitkiä. Lisäksi linjoilla on vain vähän
yhteisiä reittiosuuksia muiden linjojen kanssa. Linjat eivät myöskään liikennöi Koskelan varikon
läheisyydessä. Tämän vuoksi on arvioitu, ettei linjoja ole taloudellisesti perusteltua muuttaa joh-
dinautolinjoiksi.

Linjat 51, 52, 52A, 62, 64, 66 ja 67

Esikaupunkilinjat 62–67 olisivat sopivia johdinautolinjoja, jos linjastoa päätetään laajentaa. Linjat
sivuavat melko läheltä Koskelan varikkoa Mäkelänkatua pitkin. Linjojen reitille on mahdollista päästä
Koskelan varikolta linjan 57 reittiä pitkin.

Linjoilla 62–67 on yhteiset reittiosuudet Rautatientorin ja Käpylän aseman välillä. Linjoja 66 ja 67
liikennöidään tiheästi ja linjojen matkustajamäärät ovat suuria. Siten linjoilla voitaisiin siirtyä nivelka-
luston käyttöön. Lisäksi linjaa 64 liikennöidään teliautoilla. Jos linjat 66 ja 67 liikennöitäisiin joh-
dinautoilla, olisi luontevaa liikennöidä johdinautoilla myös linjaa 62, jolla on pitkälti samat reittiosuu-
det. Esikaupunkialueilla linjat liikennöivät kaduilla, joille ei jäisi dieselbussiliikennettä, jos linjat muu-
tettaisiin johdinautoilla liikennöitäviksi. Tällöin katujen melu- ja päästöarvot alenisivat huomattavasti.
Linjat palvelevat alueita, joilla ei ole raskaan raideliikenteen verkkoa. Siten linjat ovat melko pitkiä,
matkustajien keskimatkat pitkiä ja matkustajamäärät suuria.

Linja 51 voisi olla perusteltua muuttaa johdinautolinjaksi, jos sekä linjaa 66 että linjaa 39 liikennöitäi-
siin johdinautoilla. Tällöin linjan reitti voitaisiin muuttaa Kalliossa Hämeentielle. Näiden edellytysten
jälkeen linjalle ei tarvitsisi rakentaa merkittävästi uusia ajojohdinosuuksia.

Linja 52 voisi olla perusteltua muuttaa johdinautolinjaksi tilanteessa, jossa linjoja 18, 51, 55, 64, 65
ja 68/71 liikennöitäisiin johdinautoilla. Tällöin linjalle ei tarvitsisi rakentaa merkittävästi uusia ajojoh-
dinosuuksia. Linjan 52A muuttaminen johdinautolinjaksi ei sen sijaan ole perusteltua, koska linjaa
liikennöidään vain ruuhka-aikaan melko harvalla vuorovälillä ja linjalla olisi Patolan ja Malmin välillä
reittiosuus, jolle ei ole suunniteltu muita johdinautolinjoja.

3.8 Johdinautoliikenteen ja polkupyöräpaikkojen yhdistäminen sekä johdinautoliikenteen vaikutus matkustajamääriin

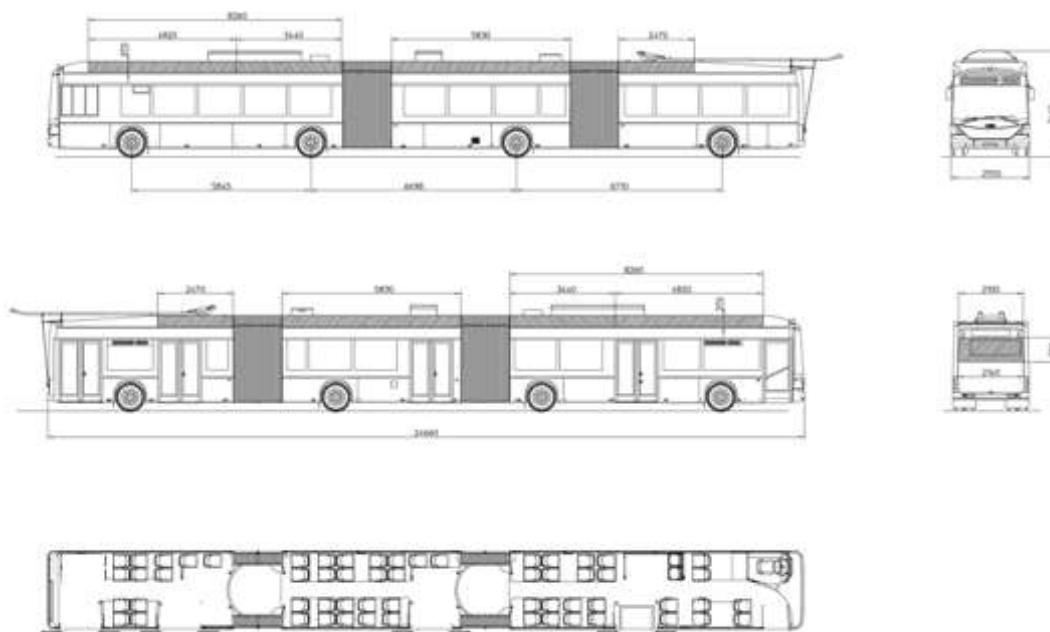
Helsingin kaupungin tavoitteena on nostaa pyöräilyn osuus kaikista matkoista 12 %:iin vuoteen 2015 mennessä. Tämän tavoitteen tueksi työssä on selvitetty mahdollisuutta, että johdinautoissa sallittaisiin polkupyörien kuljettaminen. Tämä olisi mahdollista nivelauton viimeisen oven takasillalla. Salzburgissa on käytössä tällainen järjestely (kuva 7).



Kuva 7. Pyöräkuljetuspaikka nivelbussin takasillalla Salzburgissa. (Kuva Artturi Lähdetie)

Jos johdinautoissa on mahdollista kuljettaa polkupyöriä, se vähentää istumapaikkoja. Vähentämistä voidaan kuitenkin korvata laittamalla pyöräpaikkojen yhteyteen ns. klaffi-penkkejä. Pyörien omistajat voivat istua penkeillä ja muut matkustajat voivat käyttää niitä silloin, kun polkupyöriä ei kuljeteta. Klaffi-penkkien matkustusmukavuus on luonnollisesti muita penkkejä huonompi. Klaffi-penkit olisivat osin kuopassa, koska muut penkit ovat yleensä korokkeella (ns. podesteri) bussin alustaan sijoitettujen teknisten laitteiden vuoksi.

Polkupyöräpaikkojen vaikutus mitoituskapasiteettiin on kuitenkin melko vähäinen. Pääkaupunkiseudun palvelutaso-ohjeissa yhden istumapaikan ala on 0,378 m² ja yhden seisomapaikan ala 0,333 m² eli 3 henkilöä/ m². Hessin tuplanivelen sisustusratkaisuja on esitetty seuraavassa kuvassa. Nivelauton takaosassa voi olla joko yhdet tai kahdet pariovet. Jos autossa on polkupyöräpaikkoja, käytännössä autossa olisi oltava kahdet pariovet. Tällöin takimmaiseta ovet ovat aivan auton takaosassa. Johdinautojen sähkömoottorin pienen koon vuoksi nivelautoon on mahdollista sijoittaa kaksi istumapaikkaa kohtaan, jossa dieselkalustossa on moottori.



Kuva 8. HESS LightTram 3 tuplanivelauton sisätilakuva. (kuva Carrosserie HESS AG).

Jos johdinautoissa on mahdollista kuljettaa polkupyöriä, ovat vaikutukset mitoituskapasiteettiin seuraavat: Yllä olevan kuvan mukaisesti, on nivelvaunuun sijoitettava uudet pariovet taakse. Lisäksi on poistettava kaksi takimmaista istumapaikkariviä. Tästä seuraa 9 istumapaikan vähennys. Toisaalta polkupyöräpaikkojen ollessa vapaina, mahtuu siihen seisomaan enemmän kuin yhdeksän henkeä. Jos oletetaan, että autossa matkustaa keskimäärin yksi polkupyörä sekä sen kuljettaja ja toisen polkupyöräpaikan tilalla on tällöin mahdollista seisoa, kokonaispaikkavähennys on noin neljä paikkaa.

Polkupyöräpaikkojen vuoksi linjojen vuorovälejä pitäisi tihentää vastaavan paikkamäärän saavuttamiseksi. Linjastossa A- johdinautolinjoiksi esitetyillä linjoilla 14 ja 18 liikennöintikustannusten kasvu olisi noin 1,1 %. Mikäli pyöräpaikat otetaan käyttöön, tulisi pohtia sääntöjä polkupyörän kuljettamiseen.

Joukkoliikenteen laatutekijöitä käsitelleen tutkimuksen mukaan istumapaikkojen saatavuus on matkustajille tärkein liikennöintikaluston laatutekijä. Istumapaikkojen saatavuuden painoarvo oli noin 31 % liikennöintikalustoa käsitelleen teeman sisällä. Liikennöintikaluston osuus koko joukkoliikenteen laadun painoarvosta oli puolestaan noin 17 %. Istumapaikkojen osuus kokonaislaadusta oli noin 5 %. Koetun matka-ajan osuus kokonaislaadusta oli noin 6,5 %. (LVM 66/2007.) Jos autoissa otetaan käyttöön polkupyöräpaikat, istumapaikkojen määrä vähenisi siten 9–13 paikkaa riippuen ovi- ja istumapaikkaratkaisuista. Siten niveljohdinautossa olisi yhtä vähän istumapaikkoja kuin nykyisin tavanomaisesti käytössä olevassa 2-akselisessa dieselbussissa. Vastaavan istumapaikkatarjonnan lisäys merkitsisi siten 5,5 prosentin liikennöintikustannusten lisäystä. Edellä mainittujen argumenttien johdosta ainakaan tässä vaiheessa ei esitetä, että johdinautoihin toteutettaisiin erillisiä pyöränkuljetuspaikkoja.

4 Infrastrukturi

4.1 Katuinfrastrukturi

Helsingin seudulla on ollut liikenteessä vuoteen 2007 asti nivelautoja (linjat 21V ja 143). Tämän vuoksi nivelkaluston palauttaminen tuottaa ongelmia vain uusimpien bussipysäkkien ja terminaalien osalta. Pääkaupunkiseudulla on suuntauksena ollut, että nivelkalustosta on luovuttu ja isoimpana yksikkönä on siirrytty käyttämään telikalustoa. Tämän vuoksi uusissa suunnitteluratkaisuissa mitoitussajoneuvona on käytetty teliautoa. Muutos on näkynyt uusimmissa toteutetuissa terminaaleissa Elielinaukiolla ja Kampissa, joissa lähtölaiturit ovat nokkalaitureita. Nivelkalustolle nokkalaiturit eivät ole sopivia varsinkaan, jos laitureiden välissä on ajoesteitä. Uusissa pysäkeissä on ollut lähtökohtana, että pysäkin pituus on 32 metriä. Tarkoituksena on ollut mitoittaa pysäkki kahdelle 15 metrin teliautolle. Jos liikenteessä on nivelbusseja (maksimipituus 18,75 metriä), eivät uudet pysäkit enää kykene välittämään kahta bussia kerralla jolloin joukkoliikenne hidastuu ja luotettavuus heikkenee. Nivelbussien palauttaminen vaatii siis uusimpien pysäkkien pidentämistä. Katugeometrian kannalta nivelkalusto on kuitenkin nykyistä telikalustoa parempaa paremman kääntyvyytensä vuoksi.

HSL:n hallitus on elokuussa 2010 hyväksynyt uudet liikenteen kilpailuttamisperiaatteet ja tässä yhteydessä yhdeksi dieselkaluston peruskooksi on määrätty nivelbussi. Lisäksi parhaillaan käynnissä olevassa Jokeri-linjan kehittämisselvityksessä valmistaudutaan mm. tuplanivelkalustoon vuonna 2013 alkavissa sopimuksissa. Näiden näkökohtien perusteella bussiliikenteen infrastruktuurissa on syytä vastaisuudessa varautua nykyisiä 15-metrisiä telibusseja pidempään kalustoon.

Katuinfrastruktuuriin tarvittavat muutokset nivelautojen palauttamiseksi tutkittiin koeajamalla vaihtoehdon A- linjastot ja osa linjaston A linjoista tuplanivelbussilla (kuva 9). Arvotus tehtiin kuitenkin nivelbussin mittakaavassa eli kuinka paljon muutoksia katuinfrastrukturi vaatisi, jotta linjastoja voitaisiin ajaa taas nivelbusseilla. Linjaston B kustannukset on arvioitu laskemalla keskimääräinen kilometrikustannus linjastosta A ja laskemalla samalla kilometrikustannuksella linjaston B kustannukset. Linjastossa C on käytetty samaa menetelmää muiden kuin linjan 550 kohdalla, jonka tulokset perustuvat linjalla tuplanivelen testiajoista saatuihin todellisiin kokemuksiin.



Kuva 9. Tuplanivelbussi linjan 18 kääntöpaikalla Talissa. (Kuva Artturi Lähdetie).

Katuinfrastruktuurin muutostkustannukset linjastoittain ovat seuraavat:

- Linjasto A, 125 000 €
- Linjasto A-, 62 000 €
- Linjasto B, 140 300 €
- Linjasto C, 112 300 €

Taulukko 21. Havaitut päämuutoskohteet katuinfrastrukturissa.

| Linja(t) | Kohde | Ongelma | Toimenpide |
|---------------|------------------------------------|--|---|
| 14 | Pajamäen päätepysäkki | Nivelauto ei mahdu kiveyksen viereen. Alueelle ei mahdu kahta nivelautoa, kuten nykyisin kaksi 2-akselista bussia. | Jatkosuunnittelussa tutkitaan kolmea vaihtoehtoa: 1) onko riittävä toimenpide linjojen 14 ja 59 päätepysäkkien vaihtaminen 2) myös linjan 14 lähtöpysäkki sijoitetaan kadun varteen ja 3) kääntöpaikan geometriaa muuttamalla mahdollistetaan nivelauton pituinen lähtöpysäkki. |
| 14, 14B | Kamppi (M) | Nykyinen muista linjoista erillään oleva pysäkki on liian lyhyt nivelille | Jos Kampintorin linjat siirtyvät ajamaan Jaakonkadun kautta nykyiseen Espoon suunnan terminaaliin, mahtuvat johdinautolinjat raitiovaunujen kanssa yhteiselle pysäkillä. |
| 14,14B ja 16B | eteläisten kau-punginosien pysäkit | Pysäköintipaikkojen välissä olevat pysäkit ovat osin liian lyhyitä. | Niemekepysäkkien rakentaminen. Pysäkkialueiden pidentäminen ei ole suositeltava vaihtoehto, koska kadunvarsipysäköintipaikkoja olisi tarpeen karsia silloin enemmän. |
| 14, 18 | Haartmanninkatu | Liian lyhyt pysäkkialue | Pysäkkialueen pidentäminen |
| 18 | Ulvilantie | Osin liian lyhyet pysäkit | Pysäkin pidentäminen noin kuudella metrillä. |
| 550 | Maaherrantie | Liian lyhyt pysäkkialue | Pysäkkialueen pidentäminen noin kuudella metrillä. |
| 550 | Useat pysäkit | Useat pysäkit on rakennettu 32 metrin mittaisiksi. Pysäkkien toimivuus heikkenee, kun pysäkillä mahtuu vain yksi tuplanivel. | Tutkitaan mahdollisuudet pysäkkialueiden pidentämiseen siten, että pysäkillä mahtuisi samanaikaisesti yksi tuplanivel ja yksi teliauto. |

4.2 Ajojohdot ja sähkönsyöttöasemat

4.2.1 Ajojohdot

Johdinautot tarvitsevat ajovirran saamiseksi yläpuolisia ajojohtoja, joissa on myös vaihteita ja ris-teämiä. Johdinauton ajojohto koostuu kahdesta ajolangasta sekä ajolangan ripustusjärjestelmästä, johon kuuluvat ajolangan kiinnikkeet, eristimet, poikittaiset ripustusvaijerit sekä seinä- tai pylväskiin-nikkeet. Ajojohtojen tavanomainen asennuskorkeus on 5,5 metriä kadun pinnasta. Johdinauto ei voi käyttää raitiovaunun kanssa yhteisiä ajojohtoja, sillä johdinauton paluuvirta syötetään toista ajolan-kaa pitkin toisin kuin raitiovaunussa, jossa kiskot toimivat paluuvirran kuljettimena. Johdinauton ajojohto asennetaan joustaviin heilurimaisiin kiinnikkeisiin, millä kompensoidaan lämpötilan muutos-ten vaikutukset ajolankojen mekaaniseen jännitykseen (roikkuminen).



Kuva 10. Joustavasti ripustettu johdinauton ajolanka Solingenissa. (Kuva Artturi Lähdetie).

Ajojohdot kiinnitetään joko pylväiden tai seinäkiinnitysten avulla. Kiinnitystapa riippuu aina kohteesta. Tiheästi rakennetussa kivi kaupungissa voidaan käyttää pääasiassa seinäkiinnityksiä, jotka ovat pylväskiinnityksiä halvempia rakentaa eivätkä vaadi kadulle pylviä. Seinäkiinnikkeillä rakennetut ajohdot on varustettu rakennusten runkoon välittyvää värähtelyä (melua) vaimentavilla joustimilla. Seinäkiinnikkeiden kanssa ajohdot ripustetaan aina kadun ylittävään poikittaiseen kannatusvaijeriin. Pylväskiinnityksessä ajojohto ripustetaan joko kahden pylvään väliseen poikittaiseen tukivaijeriin tai vain yhden pylvään avulla käyttäen kääntöortta. Ajojohdon ripustuksessa on mahdollista hyödyntää osittain olemassa olevia raitiovaunun ajohdon seinäkiinnikkeitä, poikittaisvaijereita sekä pylviä.

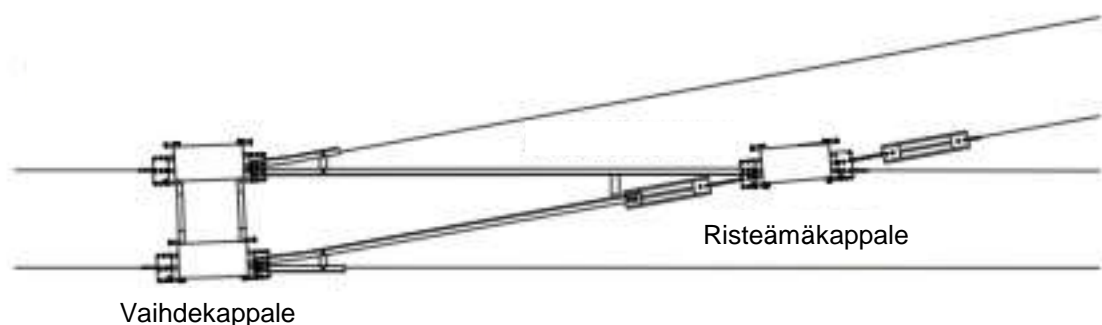
Suunnitelluille johdinautolinjastoille on laskettu erilaisten kiinnikkeiden tarpeet sen perusteella, millaisessa ympäristössä johdinautojen reitit kulkevat. Taulukossa 22 on esitetty tarvittavien erilaisten kiinnityspisteiden määrä sekä tarvittava ajolangan pituus. Ajolangan pituus on laskettu huomioiden eri vaihtoehtojen yksi- ja kaksisuuntaiset ajohdot.

Taulukko 22. Kiinnitysten ja ajolangan määrä eri linjastovaihtoehtoissa.

| Linjastovaihtoehto | | A | A- | B | C |
|--------------------------------------|-----|------|-------|-------|-------|
| Pylväät ja perustukset | kpl | 2988 | 1 505 | 3 636 | 3 296 |
| Seinäankkurointi | kpl | 1200 | 807 | 1 667 | 484 |
| Kannatusvaijerit (poikittaisjätteet) | kpl | 2792 | 1 541 | 3 535 | 2 520 |
| Ajolankaa | km | 224 | 110 | 258 | 220 |

4.2.2 Vaihteet ja risteämät

Johdinauton ajojohtoon on rakennettava sähköisesti ohjattavat vaihteet niihin kohtiin linjastoa, joissa reitit erkanevat toisistaan. Samaten niihin kohtiin linjastoa, jossa reitit yhdistyvät tarvitaan sähköistä vaihdetta yksinkertaisempi mekaaninen liittymisvaihde. Kuvassa 11 on esitelty johdinauton ohjattava vaihde sekä siihen liittyvä ajolankojen risteämäkappale.



Kuva 11. Kahden johdinautoreitin haarautumiseen tarvittava vaihdejärjestely. (Kummer+Matter)

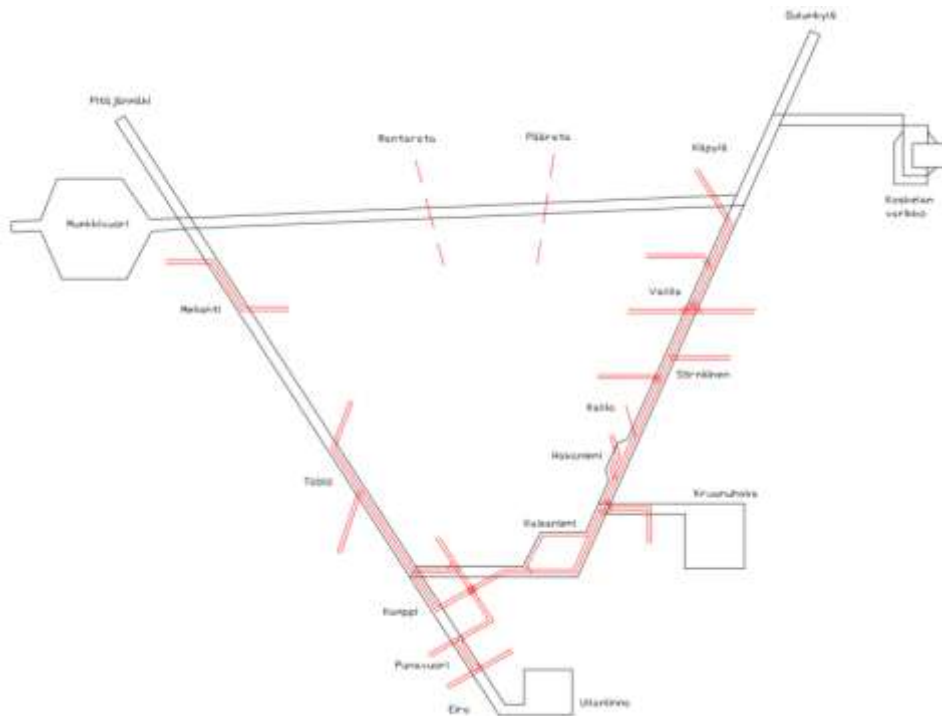
Mahdollista virroittimien automaattista nostoa varten eri linjastolle on sijoitettu ohjauskouruja, joiden avulla virroittimet kiinnittyvät ajojohtoon. Ohjauskourut mahdollistavat virroitinaisojen laskemisen ja automaattisen kiinnittämisen esim. silloin, kun jokin osa reitistä ei ole onnettomuuden tai korjaustöiden vuoksi käytettävissä.

Kaikissa kohdissa, joissa johdinautolinjasto risteää joko itsensä tai raitiovaunun ajojohdon kanssa tarvitaan risteysrakenne. Taulukossa 23 on laskettu eri linjastovaihtoehtojen tarvitsemat vaihteet ja risteämäkappaleet. Kuvassa 12 on esitetty linjastovaihtoehdon A- ja raitiotien risteämäkohdat.

Taulukko 23. Risteämien ja vaihteiden lukumäärä eri linjastovaihtoehtoissa.

| Linjastovaihtoehto | | A | A- | B | C |
|------------------------------------|-----|----|----|----|----|
| Johdinauton vaihteita | kpl | 35 | 18 | 44 | 12 |
| Johdinauto/johdinauto -risteyksiä | kpl | 24 | 14 | 26 | 6 |
| Johdinauto/raitiovaunu -risteyksiä | kpl | 59 | 22 | 54 | 25 |
| Virroitinaisan ohjauskourut | Kpl | 20 | 5 | 5 | 5 |

Johdinautoliikenne ei tarvitse kiskoliikenteelle välttämätöntä turvalaitejärjestelmää. Ainoastaan variakoilla tarvitaan työturvallisuuden takia sähköön syötön lukitsemiseksi turvalaitejärjestely.



Kuva 12. Johdinautolinjaston A- ja raitiotien ajojohdon risteämäkohdat. Johdinautolinjasto on esitetty mustalla ja raitiotielinjasto punaisella siltä osin kuin se risteää johdinautolinjaston kanssa

4.2.3 Sähkönsyöttöasemat

Johdinautojen ja raitiovaunujen on osin mahdollista hyödyntää yhteisiä tasavirran sähkönsyöttöasemia. Linjalähdöt tulee johdinautolle ja raitiotielle kuitenkin tehdä erillisiksi paluuvirtavaltavontaan liittyvistä syistä. Tasavirtasyöttöasemat ovat perusrakenteeltaan yhdenmukaiset raitiotien kanssa.

Taulukossa 24 on esitetty eri linjastovaihtoehtojen tarvitsemat johdinauton sähkönsyötön linjalähtöjen määrä. Taulukossa on myös esitetty tarvittavien kokonaan uusien syöttöasemien määrä. Uusia sähkönsyöttöasemia tarvitaan etenkin niille osin linjastoa, jossa ei nykyisin ole raitiotietä. Uusia syöttöaseman paikkoja olisivat esim. linjastovaihtoehtossa A Munkkivuori, Viikki ja Hernesaari.

Sähkö siirretään syöttöasemalta ajojohdolle syöttökaapeleilla. Ajojohtojärjestelmä on jaettu syöttö pisteiden mukaisesti sähköisiin ryhmiin huomioiden mahdollisuus syöttää sähköä kullekin ryhmälle kahdelta eri syöttöasemalta. Tätä järjestelyä varten ajojohtoon on asennettava ryhmitys eristimiä sekä kauko-ohjattavia erottimia. Näiden määrät on esitetty taulukossa 24.

Taulukko 24. Syöttöasemien ja linjalähtöjen määrä eri linjastovaihtoehdoissa.

| Linjastovaihtoehto | | A | A- | B | C |
|--|-----|------|-----|-----|-----|
| Tarvittavat uudet syöttöasemat ilman kiinteistöä | kpl | 5 | 1 | 6 | 6 |
| Linjalähdön katkaisija ja rele | kpl | 37 | 16 | 35 | 24 |
| Syöttökaapelit | km | 10,6 | 3,2 | 9,4 | 5,6 |
| Syöttöpisteet ja erottimet | kpl | 96 | 48 | 105 | 72 |

4.2.4 Kustannukset

Sähköjärjestelmien kustannukset muodostuvat suunnittelukustannuksista, ajojohdon materiaalikustannuksista (pylväät, johtimet ja ripustukset), vaihteiden ja niiden ohjauslaitteiden kustannuksista, syöttöasemien ja linjalähtöjen materiaalikustannuksista, asennustyön kustannuksista sekä käyttöönottoon liittyvästä perehdyttämisestä. Yllä olevien materiaalien tarvemäärien laskelmien perusteella on taulukkoon 25 koottu kustannukset eri linjastovaihtoehdoissa. Taulukossa on lisäksi esitetty kustannukset verkoston laajuutta kohden (eur/km).

Taulukko 25. Infrastruktuurikustannukset linjastoittain.

| | A | A- | B | C |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ajojohdot | | | | |
| Suunnittelu ja projektinjohto | 750 000 | 370 000 | 864 000 | 735 000 |
| Materiaalitoimitukset | 14 625 875 | 7 515 000 | 17 368 000 | 13 520 000 |
| Työkustannukset | 9 555 500 | 4 887 000 | 11 354 000 | 9 035 000 |
| Käyttöönotto ja koulutus | 150 000 | 150 000 | 150 000 | 150 000 |
| Yhteensä | 25 081 375 | 12 922 000 | 29 736 000 | 23 440 000 |
| Syöttöasemat | | | | |
| Suunnittelu ja projektinjohto | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 |
| Tarvemäärät | 7 700 000 | 2 400 000 | 8 300 000 | 7 200 000 |
| Käyttöönotto ja koulutus | 60 000 | 60 000 | 60 000 | 60 000 |
| Yhteensä | 7 810 000 | 2 510 000 | 8 410 000 | 7 310 000 |
| Katuinfrastruktuuri | | | | |
| Muutostyöt | 125 000 | 62 000 | 140 000 | 112 000 |
| Kaikki yhteensä (€) | 33 017 000 | 15 494 000 | 38 286 000 | 30 862 000 |
| Verkoston laajuus (km) | 58 | 30 | 68 | 55 |
| Kustannukset, eur/km | 574 000 | 515 000 | 562 000 | 566 000 |

Infrastruktuurikustannukset ovat eri linjastovaihtoehdoissa kokonaisuudessaan noin 0,5 miljoonaa euroa kilometriä kohden. Uuteen ympäristöön rakennettavan johdinautoverkoston infrastruktuuri-kustannukset koostuvat seuraavista osista:

- ajojohdot 250 000 €/km, kaksisuuntaisena 500 000 €/km
- sähköjakeluinfrastruktuuri 50 000 €/km
- ajojohtojen kunnossapito 2500 €/km/vuosi

4.3 Lainsäädäntö ja lupakäytännöt

Suomessa ei ole tällä hetkellä liikenteessä johdinautoja, minkä takia lainsäädäntöön liittyviä tekijöitä on selvitetty Liikenne- ja viestintäministeriöstä.

Liikenneneuvos Kari Saaren mukaan johdinautot ovat nykyainsäädännön mukaan autoja siinä missä muutkin linja-autot, mm. bensiinikäyttöiset, dieselkäyttöiset, maakaasukäyttöiset ja sähkökäyttöiset, eli niitä koskevat autojen tekniset vaatimukset sekä autojen rekisteröintivaatimukset.

Autoja koskevat tekniset vaatimukset on säädetty ajoneuvolaissa (n:o 1090/2002, viimeksi muutettu lailla n:o 226/2009) ja sen nojalla annettussa autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista annettussa liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa (n:o 1248/2002, viimeksi muutettu asetuksella n:o 256/2009).

Kansainvälisesti, erityisesti saksankielisillä alueilla, johdinauto rinnastetaan lainsäädännössä joko junaan tai raitiovaunuun yläpuolisten ajojohtojen takia. Tämän takia joissakin maissa, esimerkiksi Sveitsissä, johdinautolla ei tarvitse olla rekisterikilpeä.

4.4 Kaupunkikuvallinen tarkastelu

Mikäli johdinautojärjestelmä palautetaan Helsinkiin, on sillä vaikutusta myös kaupunkikuvaan. Johdinauto vaatii yläpuoliset ajojohdot sekä sähkönsyöttöasemia. Erityisesti ajojohdoilla ja niitä kannattavilla rakenteilla on vaikutusta kaupunkikuvaan.

Helsingissä on raitiovaunujen myötä totuttu yläpuolisiin ajojohtoihin kantakaupungissa. Siitä huolimatta ei ole tarkoituksenmukaista lisätä tarpeettomasti yläpuolisia johtoja ja pylviä. Niin kaupunkikuvallisesti kuin kunnossapidonkin kannalta tulee johdinautojen ajojohtosuunnittelussa käyttää raitiovaunujen kanssa samoja seinäkiinnikkeitä ja pylviä. Samojen ajojohtojen käyttäminen ei ole mahdollista nykyisten sähköturvallisuusvaatimusten vuoksi, mutta johdinauton ajojohdot on mahdollista ripustaa samoista rakenteista raitiovaunujen kanssa. Johdinautolinjaston lisääminen Helsingissä alueille, joilla jo kulkee raitiovaunu, tarkoittaa siis kahden tai neljän yläpuolisen ajolangan lisäämistä.

Kuvassa 13 kulkevat sekä johdinauton että raitiovaunun ajojohtimet molempiin suuntiin. Myös katuvalaistus on ratkaistu yläpuolisten vaijerien avulla.



Kuva 13. Johdinauton ja raitiovaunun yläpuoliset ajojohdot Zürichissä. (Kuva Raimo Mättö).

Johdinautolinjaston ajojohdotusta suunniteltaessa tulee kaikkialla pyrkiä ensisijaisesti seinäkiinnityksiin. Jos se ei ole mahdollista, tulee pylväät suunnitella kaupunkikuvaan sopiviksi ja yhteiskäyttöisiksi. Pylväiden kokoon ja pylväsvälin suuruuteen pystytään vaikuttamaan niin materiaalivalinnoilla kuin ripustustekniikalla. Yleisesti käytetty pylväsväli on 20–25 metriä, mutta huolellisella suunnittelulla ja erikoisemmilla ratkaisuilla on mahdollista päästä suoralla noin 40 metrin pylväsväleihin ja painokiristyksellä vielä tätäkin suurempiin.

Ympäristön huomioon ottava huolellinen suunnittelu jokaisessa työvaiheessa on erityisen tärkeää kaupunkikuvan kannalta, jotta yleisilmeestä saadaan kaupunkiin sopiva ja eleetön. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon esim. kaupungin jo laatima ohjeistus kaupunkikalusteista, varusteista ja rakennelmista.

Suunnitellulla linjastolla kaupunkikuvallisesti haasteellisimmat kohdat ovat Kiasman ja Kluuvien välinen alue, Pitkäsilta (ei pylväitä sillalle), Hämeentie, Topeliuksenkatu (seinäkiinnitykset mahdollisia vain toiselle puolelle), Töölöntorin alue sekä Esplanadi ja sen ympäristö.

Kuten jo aikaisemmin todettiin, suurimmat kaupunkikuvalliset vaikutukset ovat alueilla, joilla ei kulje raitiovaununlinjaa. Tätä varten työssä on laadittu Pohjois-Esplanadista havainnekuva, johon sijoitettiin yläpuoliset ajojohdot havainnollistamaan niiden kaupunkikuvallista vaikutusta.



Kuva 14. Ajojohtimet Esplanadilla.

Kuvasta on havaittavissa, että ajojohdot on kiinnitetty valaistuksen kanssa yhteisiin pylväisiin. Esplanadi on kaupunkikuvallisesti erittäin herkkää aluetta, jolloin on järkevää yhdistää valaistus- ja ajojohtopylväät. Mikäli johdinauto kulkee Esplanadilla, joudutaan erittäin todennäköisesti rakentamaan uudet pylväät, jotka ovat tarpeeksi jäykät kannattelemaan ajojohtoja. Huolellisella suunnittelulla pystytään ottamaan huomioon pylväiden kaupunkikuvallinen sopivuus Esplanadin ympäristöön. Lamput ovat tällä hetkellä tiheämmin kadunvarrella kuin ajojohdot teknisesti vaatisivat. Riittävä katuvalaistus on kuitenkin ensisijaisen tärkeää, joten jos Pohjois-Esplanadille laitetaan ajojohdot, olisi syytä tutkia vaihtoehtoa, jossa ajojohdot olisi kiinnitetty vain joka toiseen pylvääseen tai käytettäisiin kääntöorsiratkaisua. Kuvassa 15 on yhdistetty valaisin- ja ajojohtopylväs. Kääntöorsilla toteutettu ripustus mahdollistaa pylväät vain toiselle puolelle katua.



Kuva 15. Yhdistetty valaisin- ja ajojohtopylväs ja kääntöorsiripustus Eberswaldissa. (Kuva Raimo Mättö).

Yläpuolisten ajojohtojen vaikutus katukuvaan on suurin kaarteissa ja risteämäkohdissa, jolloin ajojohdot vaativat visuaalisesti raskaampia erityisrakenteita. Seuraavassa kuvassa on esitetty risteys, jossa johdinautolinja jakaantuu kahdeksi (nk. vastavaihe). Lisäksi kuvassa näkyvät raitiovaunun ajojohdot ja johdinauton lankojen ja raitiovaunun ajolangan risteys. Rakenteen yläpuolella on erityinen trapetsirakenne tukemassa näitä erityisrakenteita. Tällaiset risteykset ovat melko harvinaisia. Helsingissä vastaavanlainen risteys voisi olla Mannerheimintien ja Kaivokadun risteys.



Kuva 16. Johdinauton vastavaihte (linjan haarautuminen kahdeksi), raitiotien ja johdinauton risteys ja johdinautolinjojen risteys. (Kuva Raimo Mättö).

Seuraavassa kuvassa on esitetty kaksisuuntaisen johdinautolinjaston tiukka kaarre. Kuvasta on huomattavissa kaarteissa olevat vahvistimet tukemassa ajojohdon kaarretta. Vastaavanlainen kaarre voisi olla Helsingissä esimerkiksi Rautatientorin ja Kaivokadun risteyksessä.

Lisää kuvia ja tarkempaa tietoa ajojohdoista, vaihteista ja muista yläpuolisista rakennelmista on koottu liitteeseen 1.



Kuva 17. Johdinautolinjaston tiukka kaarre. (Kuva Raimo Mättö).

Yläpuolisten ajojohtojen ja pylväiden lisäksi johdinauton sähkönsaannin takaamiseksi tarvitaan syöttöasemia. Syöttöasemat sijoitetaan pääasiassa maan alle tai rakennusten sisään, jolloin niillä ei ole vaikutusta kaupunkikuvaan. Helsingissä on jo lukuisia sähkönsyöttöasemia raitiovaunujen sähkönsaannin takaamiseksi. Johdinautolinjastossa A- on mahdollista käyttää kantakaupungissa raitiovaunujen kanssa samoja syöttöasemia, jolloin niistä ei synny vaikutusta kaupunkikuvaan. Linjasto-vaihtoehto A vaatii viisi uutta sähkönsyöttöasemaa. Kuva linjaston A vaatimista sähkönsyöttöasemista on nähtävissä liitteessä 1. Linjasto vaatii viisi uutta syöttöasemaa, joista ainoastaan Viikissä ja Pitäjänmäellä sijaitsevat voidaan joutua sijoittamaan maan päälle. Munkkivuoreen tuleva sähkönsyöttöasema on mahdollista sijoittaa suunnitellun metroaseman valmiiksi louhittuun luolaan, Punavuoren sähkönsyöttöasema Hernesaareen rakentuvien talojen yhteyteen ja Ilmalan syöttöasema on mahdollista sijoittaa Länsi-Pasilaan luolaan. Yleisesti voidaan todeta, että katutasoon sijoitettavat sähkönsyöttöasemat vaikuttavat eniten esikaupunkien kaupunkikuvaan, sillä kantakaupungissa sähkönsyöttöasemaverkko on jo tiheä ja syöttöasemat sijaitsevat maan alla.

Mikäli Helsingissä joudutaan sijoittamaan sähkönsyöttöasema maan päälle, tulee se suunnitella kaupunkikuvaan sopivan ilmeen saamiseksi kaupungin ohjeistuksen mukaan. Alla on esitetty mahdollinen hahmotelma sähkönsyöttöaseman ulkonäöstä. Maanpäällisen sähkönsyöttöaseman koko on noin 6 x 10 metriä. Korkeudeltaan asema on noin 2,5 metriä.



Kuva 18. Hahmotelma maanpäällisen sähkösyöttöaseman ulkonäöstä.

5 Johdinautolinjastovaihtoehdon valinta

5.1 Linjastovaihtoehdon valintaperusteet

Tarkasteltavan linjastovaihtoehdon valintaa voidaan perustella ainakin taloudellisen tehokkuuden, joukkoliikennejärjestelmän työnjaon ja ympäristönäkökohtien perusteella.

Kalliin infrastruktuuri-investoinnin taloudellisen tehokkuuden mittarina voidaan pitää tunnuslukua linjakm/verkkokm vuodessa, missä verkkokilometri tarkoittaa ajojohdinverkoston laajuutta. Toisena taloudellisena arviointikriteerinä voidaan pitää investoinnin suuruutta, sillä investointi johdinautojärjestelmään kilpailee muusta joukkoliikenteen julkisesta rahoituksesta. Rahoituksen saaminen on aina vaikeaa, joten pienemmällä investoinnilla toteutettu hanke on todennäköisempää saada läpi kuin suurempaa investointia edellyttävä. Joukkoliikenteen liikenteellisen hoidon operatiivisen tehokkuuden kannalta johdinautolinjaston maantieteellinen ja liikenneverkollinen sijoittuminen suhteessa varikon sijaintiin on tärkeää. Mitä pienempi on ns. varikkosiirtymien ja muun tyhjänä ajon osuus johdinautojen ajosuoritteesta, sitä pienemmät ovat liikennöintikustannukset linjakilometriä kohden.

Joukkoliikennejärjestelmän kannalta on kysymys eri joukkoliikennemuotojen – bussin, johdinauton ja raitiovaunun – tarkoituksenmukaisimmasta tehtäväjaosta kantakaupungissa. Tähän vaikuttavat mm. aikaisemmat päätökset joukkoliikenteen kehittämisestä, esim. raitiotieverkon laajentamisesta.

Johdinautoliikenteellä tavoitellaan vähäisempää energiankulutusta, paikallispäästöjä ja melua dieselbussiliikenteeseen verrattuna. Tältä kannalta katsoen merkitystä on sillä minkälaisessa katuymppäristössä johdinautot liikennöivät ja kuinka suuren ihmisjoukon ympäristön laatua johdinautoliikenteeseen siirtyminen parantaa. Lisäksi kaupunkikuvalliset tekijät vaikuttavat siihen, millaisina johdinautoliikenteen ympäristövaikutukset koetaan.

5.2 Kustannusten yhteenveto

Linjastovaihtoehdojen kustannukset muodostuvat liikennöintikustannuksista, materiaalikustannuksista, katuinfrastruktuurin kustannuksista ja rakennusaikaisten töiden kustannuksista. Liikennöintikustannusten muodostuminen on esitetty tarkemmin aiemmin luvussa 3.

Alla olevassa taulukossa materiaalikustannuksien kuoletusajaksi on oletettu 25 vuotta ja korkokannaksi 5 %, jotta on saatu laskettua niiden vuotuinen kustannus. Linjastokustannuksien osalta tulee huomioida, että vaihtoehdon C kalustokustannukset on laskettu myös tuplanivelten osalta yksinivelajoneuvolle. Varikon kustannusten on oletettu olevan tässä tarkastelussa kaikille samat, mikäli pitkällä tähtäimellä on kuitenkin tarkoitus siirtyä vaihtoehtoa A- laajempaan johdinautolinjastoon.

Taulukko 26. Johdinautoliikenteen kustannukset vuositasolla.

| | A | A- | B | C |
|---------------------------|------------|-----------|------------|------------|
| Liikennöinti (€/a) | 16 626 000 | 5 854 000 | 19 968 000 | 12 777 000 |
| Sähköinfra (€/a) | 2 345 000 | 1 095 000 | 2 707 000 | 2 182 000 |
| Katuinfrastruktuuri (€/a) | 9 000 | 4 000 | 10 000 | 8 000 |
| Yhteensä | 18 980 000 | 6 953 000 | 23 317 000 | 14 967 000 |

5.3 Linjastovaihtoehtojen kustannusvertailu

Seuraavaan taulukkoon on koottu liikenteen taloudellisen tehokkuuden keskeiset tunnusluvut.

Taulukko 27. Liikenteen taloudellisen tehokkuuden tunnusluvut.

| | A | A- | B | C |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Johdinautojen määrä | 75 | 26 | 81 | 55 |
| Verkon laajuus (km) | 57,5 | 30,1 | 68,1 | 54,5 |
| Linjakm/verkkokm | 77 200 | 47 487 | 81 126 | 78 503 |
| Liikennöintikust. (M€/a) | 16,2 | 5,8 | 20,6 | 12,8 |
| Infrastruktuurikust. (M€) | 33,2 | 15,5 | 38,3 | 30,9 |
| Infrakust./verkkokm (M€) | 0,58 | 0,51 | 0,56 | 0,57 |

Ajojohtoverkon hyödyntämisen kannalta tehokkaimmalta näyttää linjasto B, 81 100 linjakm/verkkokm, joskin linjastot A ja C ovat tässä suhteessa lähes samanarvoiset. Vaihtoehto A- on vaihtoehdon A esivaihe ja on tässä suhteessa kustannustehottomin, koska aloitusvaiheessa on jouduttu tekemään kalliita perusinvestointeja verkkoon, mutta liikenteen volyymi on vielä vähäinen.

Linjasto B on investointina selvästi kalliimpi kuin muut, koska sen verkosto on laajin. Sähköinfrastruktuurin yksikkökustannuksiltaan (infrakust./verkkokm) vaihtoehto A- on muita edullisempi, mm. koska uusia sähkönsyöttöasemia tarvitaan muita vaihtoehtoja vähemmän. Linjastoissa B ja C on kuusi, linjastossa A viisi ja linjastossa A- yksi uusi syöttöasema.

Liikennöintikustannuksiltaan B on muita vaihtoehtoja kalliimpi.

5.3.1 Liikennejärjestelmän taloudellisuus

Liikenteen operatiivisen tehokkuuden kannalta vaihtoehto B on tehokkain. Infrastruktuurikustannuksiltaan A, B ja C (€/verkkokm) ovat lähellä toisiaan A-:n ollessa edullisin.

Liikennetuotannon järjestämisen kannalta on syytä vertailla linjastojen sijaintia suhteessa käytettävään varikkoon. Vertailu on tehty Koskelan varikon suhteen (ks. luvut 6 ja 7). Linjasto A (kuva 3) on suunniteltu nykyisen keskusta- ja esikaupunkilinjaston perusteella ja esikaupunkilinjat on valittu niin, että niitä voidaan järkevästi liikennöidä Koskelan varikolta. Linjasto A ja siten myös A- ovat Koskelasta käsin hyvin liikennöitävissä.

Linjastossa B (kuva 5) kolme linjaa päättyy Laajasaloon ja siirtoajot varikolta linjan päihin hoidetaan Kruunuvuoren siltaa pitkin. Linjasto B:tä voidaankin tyhjänä ajon kannalta pitää huonompana vaihtoehtona kuin linjasto A:ta.

Linjasto C (kuva 6) on pitkien linjojen muodostama poikittaislinjasto, joka poikkeaa tarkoitukseltaan ja luonteeltaan linjastoista A ja B, jotka ovat melko kompakteja keskusta- ja esikaupunkilinjastoja. Siirtoajojen kannalta linjasto C on vaihtoehtoista huonoin, koska sen hallisivut ovat pisimmät.

5.3.2 Linjastovaihtoehtojen roolit

Linjastossa A johdinautoliikenne korvaa nykyistä bussiliikennettä ja tarjoaa siten ympäristöhyötyjä kantakaupungin ja joidenkin esikaupunkien alueilla. Hernesaaren uuden asuinalueen joukkoliikenne hoidetaan johdinautoilla.

Linjasto B perustuu pitkälti Kruunuvuoren sillan yli Laajasaloon johdettaviin heilurilinjoihin. Tämä liikenne on alun perin suunniteltu hoidettavaksi raitiovaunuilla, joilla sillan rakentamista on myös

perusteltu. Tässä mielessä johdinautoliikenne Kruunuvuoren sillan yli on selvässä ristiriidassa raitio- liikenteen kehittämissuunnitelmien kanssa.

Linjastoon C kuuluu Jokeri-linja (550), jonka kehittämisestä pikaraitiotieksi on vuonna 2009 valmistunut alustava yleissuunnitelma. Myös linjan 506 eli ns. tiedelinjan kehittämisestä myöhemmin pikaraitiotieksi on ollut suunnitelmia. Jokeri-linjan osalta voidaan katsoa, että johdinautosuunnitelmat ovat ristiriidassa pitkään vireillä olleiden suunnitelmien kanssa. Toisaalta Jokerin tapauksessa yhtenä mahdollisena vaihtoehtona voidaan pitää linjan liikennöimistä välivaiheessa johdinautoilla ennen pikaraitioliikenteeseen siirtymistä.

5.3.3 Linjastojen ympäristönäkökohdat

Lähipäästöjen kannalta voidaan todeta, että linjastot A ja B painottuvat kantakaupunkiin, jossa liikenteen päästöjen ja melun vähentämisellä on suurimmat myönteiset vaikutukset ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. Tältä kannalta katsoen linjaston C ympäristöhyötyjä ei voida pitää yhtä suurina, vaikka linja 506 kulkeekin osan matkastaan kantakaupungissa, jossa asukastiheys on suuri. Ympäristövaikutukset linjastolle A on arvioitu tarkemmin luvussa 10.

Kaupunkikuvalliselta kannalta tilanne on päinvastainen. Linjastojen A ja B myötä Helsingin keskustaan muodostuu raitio- ja johdinautoliikenteen risteyskohtia keskeisille paikoille, joissa risteävien ajojohtimien muodostama kaupunkikuvallinen haitta saattaa korostua. Linjaston C kaupunkikuvalliset vaikutukset ovat lievemmat ja jakaantuvat laajemmalle alueelle.

5.4 Yhteenveto

Vertailun perusteella tarkempien selvitysten perustaksi valittava linjasto ei ole lopullinen, vaan se todennäköisesti muuttuu, kun suunnittelu etenee yksityiskohtaisemmille tasoille. On kuitenkin tarkoituksenmukaista esittää tässä yhteydessä sellainen linjasto, joka on taloudellinen ja tarjoaa merkittäviä ympäristöhyötyjä dieselbussiliikenteeseen nähden ja jonka toteutettavuuden esteenä ei ole muiden joukkoliikennemuotojen kehittäminen.

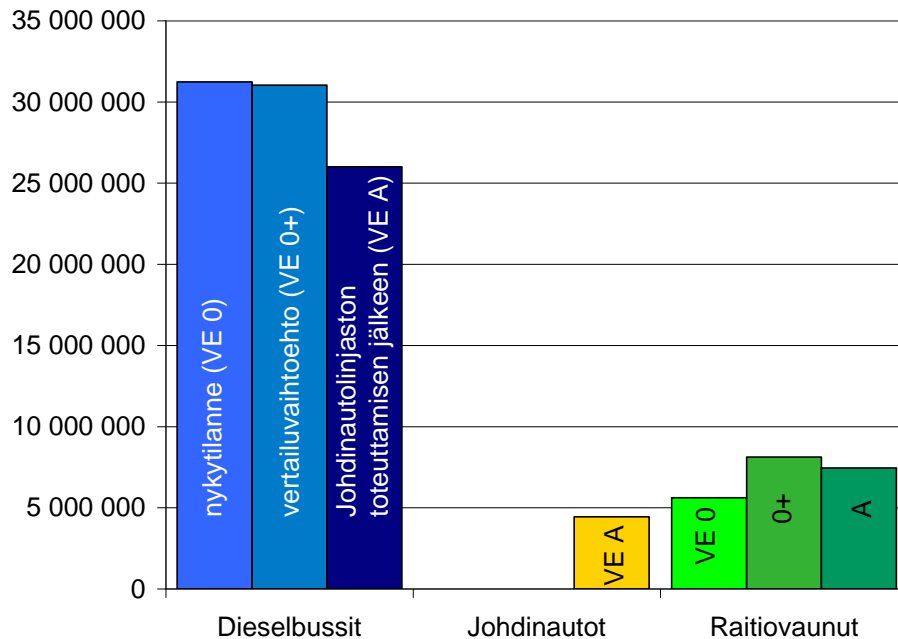
Jatkotarkasteluita varten on tarkoituksenmukaisinta valita linjasto A. Se kulkee kantakaupungissa, jolloin johdinauton ympäristöhyödyt nousevat parhaiten esille. Linjastolla ei myöskään ole merkittäviä päällekkäisyyksiä raitiolinjaston kanssa, jolloin johdinauto- ja raitiolinjaston kehittäminen samanaikaisesti toisiaan tukeviksi olisi mahdollista. A-linjasto on myös mahdollista toteuttaa luontevasti vaiheittain, ja linjastolla on lyhyet siirtymät varikolta linjalle.

Linjasto C tai osia siitä voidaan nähdä johdinautolinjaston mahdollisena laajennusvaiheena. Linjaston B Kruunuvuorta ja Laajasaloa koskevat ratkaisut taas saattavat tulla esille, jos myöhemmissä suunnitteluvaiheissa päädytään johdinautoja suosivaan ratkaisuun tällä suunnalla.

5.5 Johdinautojärjestelmän käyttöönoton vaikutukset dieselbussi- ja raitioliikenteeseen

Aiemmin on esitetty, että johdinautolinjasto aloitettaisiin vaihtoehtojen A- ja A toteuttamisesta. Vaihtoehdossa A- muutettaisiin vain nykyisiä ensisijaisesti kantakaupungin alueella tiheästi liikennöiviä bussilinjoja johdinautolinjoiksi. Vaihtoehdossa A korvataan raitiolinja 1 johdinautolinjan 65 reittimuuтокsella. Lisäksi Hernesaaren ja Kalasataman uusille alueille liikennöitäisiin johdinautoin. Seuraavassa kuvassa on esitetty, millaisia olisivat dieselbussien, johdinautojen ja raitioliikenteen vuosittaiset suoritteet nykytilanteessa (Ve-0), vertailuvaihtoehdossa (Ve-0+), jossa johdinautoliikennettä ei ole aloitettu, ja johdinautolinjastovaihtoehdon A toteuttamisen jälkeen.

Bussi-, johdinauto- ja raitiovaunuliikenteen suoritteiden (km) muutokset



Kuva 19. Dieselbussien, johdinautojen ja raitiovaunujen suoritteet (km/vuodessa) nykytilanteessa (VE0), vertailutilanteessa, jos johdinautoliikennettä ei toteuteta (VE0+) ja johdinautolinjastovaihtoehdon (VEA) toteuttamisen jälkeen.

Kuvassa on esitetty vain Helsingin sisäisten linjojen suoritteet. Uuden maankäytön aiheuttamat tarjonnan lisäykset on huomioitu vain Jätkäsaaren, Hernesaaren, Kalasataman ja Kruunuvuorenrannan alueilta, joiden liikenne on aiottu hoitaa raitiovaunuilla vertailuvaihtoehdossa 0+. Muita maankäytön muutosten aiheuttamia tarjonnan lisäyksiä ei ole huomioitu. Esimerkiksi Kuninkaan-
kolmion ja Östersundomin myötä bussiliikenteen suoritteet kasvavat jonkin verran, mutta niitä ei ole kuvassa huomioitu. Länsimetron myötä Lauttasaaren suunnan bussilinjojen suoritteet laskevat vertailuvaihtoehdossa nykytilanteeseen nähden.

Kuvasta voidaan havaita, että johdinautolinjastovaihtoehto A vähentäisi merkittävästi dieselbussien ajosuoritteita. Johdinautoliikenteen suoritteet eivät kuitenkaan kasva yhtä merkittävästi. Keskeisenä syynä on se, että johdinautojen myötä siirryttäisiin isompikapasiteettisempiin nivelautoihin. Vaikka johdinautolinjastovaihtoehto A toteutettaisiin, raitioliikenteen suoritteet kasvaisivat edelleen merkittävästi nykyisestä uusien alueiden raitioliikenteen myötä.

6 Johdinautovarikon perusratkaisu

6.1 Yleistä

Esiselvityksen yhteydessä tutkittiin alustavasti Töölön, Ruskeasuon ja Koskelan varikoiden soveltuminen johdinautovarikoksi. Selvitys osoitti, että nykyvarikoista potentiaaliset varikot johdinautoille ovat Ruskeasuon ja Koskelan varikot, joita on selvitetty tässä työssä tarkemmin.

6.2 Nykyiset bussivarikot

6.2.1 Ruskeasuon ja Koskelan varikot

Ruskeasuon bussivarikko on tällä hetkellä Helsingin Bussiliikenne Oy:n käytössä. Koskelan varikko on vapautui hankeselvityksen aikana. Varikkojen kapasiteetti on 354+78 bussipaikkaa, minkä lisäksi Koskelan paikkamäärää voidaan lisätä, jos terveystarvoston pikkubussit, karting-rata ja yksityinen autokorjaamo siirretään pois varikkorakennuksesta.

Helsingin Bussiliikenne Oy:n (HelB) kannalta Ruskeasuon on päävarikko, johon on sijoitettu yhtiön pääkonttori sekä erityistä palosuojasta edellyttävät maakaasubussien korjaustoiminnot sekä maakaasubussien tankkauslaitteet.

Ruskeasuon korjaamon korjauspaikat on mitoitettu pituudeltaan enintään telibusseille. Ilman isompia muutostöitä ainoastaan kaksi vastakkaista korjauspaikkaa voidaan yhdistää yhdeksi nivelautojen korjauspaikaksi. Muutoin nivelbussien laajempi korjaaminen Ruskeasuolla edellyttää merkittäviä muutostöitä korjaamohallissa sekä korjaamokapasiteetin pienenemistä, koska yksi nivelautojen korjauspaikka muodostettaisiin aina kahdesta kiinteärunkoisen bussin vastakkaisesta korjauspaikasta.

Johdinautojen tuominen Ruskeasuolle toisi sinne kolmannen bussityypin diesel- ja maakaasubussin lisäksi, mikä hankaloittaisi käytännön toimintoja ja edellyttäisi normaalitarvetta enemmän varastotiloja tarveaineita ja varaosia varten. Varikon toimistotiloja hallitsevat HelB:n ohella kuljettajia kouluttava JAKK sekä salibandytoimijat. Luontevien tilojen löytäminen HelB:stä erillisen yhtiön liikennetyönjohtoa varten on vaikeaa. Myös hallinnon tiloja on tähän tarkoitukseen liian vähän.

Koskelan varikolla on nykyistä 78 bussin kapasiteettia vastaavat henkilökunnan tauko- ja sosiaalityilat sekä liikennetyönjohtoon tilat, korjaamo ja kaksi harjapesukonetta. Korjaamon kuudesta korjauspaikasta kolme on nivelautoille soveltuvia pitkiä paikkoja. Jos terveystarvoston sairausautoyksikkö siirtyisi pois Koskelasta, vapautuisi varikkorakennuksesta sekä hallinnon tiloja että sisäkäilytystiloja johdinautoja varten.

HelB suhtautuu yllä esitettyihin näkökohtiin viitaten ehdottoman kielteisesti johdinautoliikenteen sijoittamiseen Ruskeasuolle. HelB luopui Koskelan varikosta vuoden 2011 alussa. Näin ollen Koskelan varikko olisi johdinautojen käytettävissä.

6.2.2 Ruskeasuon varikko

Ruskeasuon varikko uudistettiin vuosina 2006–2008 tehdyllä uudisrakentamisella. Tässä yhteydessä purettiin vanhat varikkorakennukset ja luovutettiin noin kolmannes tontista pois. Henkilöautoilla on 304 pysäköintipaikkaa ylätasolla sijaitsevalla pysäköintikannella.

Bussit pysäköidään piha-alueella sekä pysäköintikannen alla sijaitsevilla, bussikohtaisilla sähkölämmityspaikoilla. Bussipaikkoja on 354.

Dieselbussit tankataan ja pestään uudessa vuorokausihuoltorakennuksessa ilta- ja yöaikaan. Vuorokausihuoltorakennuksessa on kolme linjaa tankkausta varten sekä kaksi läpiajettavaa pesukonelinjaa. Maakaasubussit tankataan pikatankkauksella erillisellä maakaasutankkausasemalla, jolla on yhteinen paineenkorotusasema Hakamäenkujalla sijaitsevan Gasum Oy:n kaupallisen maakaasutankkausaseman kanssa. Bussien maakaasutankkausaseman kapasiteetti on noin 80 bussia. Vuorokausihuollossa voidaan huoltaa tilausajautojen wc:t ja varustella bussit tilausajojen varusteilla. Pesukoneiden pesuvesi kierrätetään ja puhdistetaan uudelleenkäyttöä vasten Tammermatic Oy:n Biojet-laitteistolla. Dieseltankit, kaksi kappaletta 80 kuutiometrin tankkeja, on upotettuina varikkotontin itäosan korotetun pysäköintipenkereen alle ja samoin yksi 10 kuutiometrin ureasäiliö. Vuorokausihuollossa tarvittavat moottoriöljyt, jäähdytysneste, tuulilasipesuneste ja harjapesuaine on varastoitu vuorokausihuoltorakennuksessa säiliötilassa.

Bussikorjaamolla on 32 korjauspaikkaa, joista 6 paikkaa on vuokrattu Scan-Auto Oy:lle. HelB:llä on 26 korjaamopaikkaa käytössä. Korjauspaikkojen pituus on 20 m ja leveys joko 5,5, 6,5 m tai 7,3 m. Korjaamon mitoitus on suunniteltu kaksiakselisten ja telibussien korjaamoksi, ei nivelbusseille.

Bussit siivotaan viiden bussipaikan kokoisella osastolla, jossa jokaisella paikalla on talvitöitä varten huoltokuilut, jotka mahdollistavat paikkojen monipuolisen käytön. Alustapesua varten on oma paikka korjaamon pohjoispäädyssä, samoin neljä nosturilla varustettuja maakaasubussien korjauspaikkaa. Öljynvaihtohuollot ja pikakorjaukset tehdään kahdella huoltokuilupaikalla. Kuudella paikalla on nosturit isoja korjauksia varten. Testausta ja katsastusta varten on läpiajettava linja, jossa on kaksi korjauspaikkaa. Koritöitä ja maalausta varten on 6 korjauspaikkaa. Maalaus suoritetaan omassa kammiossa työturvallisuus- ja palosyistä johtuen. Korityöosastolla on erillinen nosturirata ikkunalasien vaihtoja varten.

Varaosavarastot on hajasijoitettu työpisteiden lähelle automaattivarastoihin tai hyllypaikoille, jotta asentajilla on lyhyet noutomatkat. Aggregaattikorjaamolla on oma nurkkaus korjaamolla ja se palvelee HelB:n kaikkia korjaamoita. Bussien korjauspaikat on järjestelty siten, että bussit peruutetaan nosturipaikoille, jotta autojen pääkomponentit sisältävät takaosat ovat keskikäytävälle päin. Tällöin asentajat ovat töissä keskikäytävän varressa, jonne on sijoitettu työnjohto, pesukoneet ja tarvittavat aputyötilat varaosineen tehokkuuden lisäämiseksi.

Koska bussikorjaamolla korjataan maakaasuautoja, on sen turvallisuusjärjestelmä kattava ja monipuolinen. Bussikorjaamon yläpuolella sijaitsee liikuntaviraston hallinnoima salibandyhalli, jossa on viisi kenttää. Täydellä 200 barin säiliöpaineella olevat maakaasubussit voidaan korjata korjaamon luoteisnurkassa sijaitsevilla neljällä korjauspaikalla. Muualla korjaamossa voi maakaasun säiliöpaine olla enimmillään 100 baria. Mikäli maakaasua vuotaa korjaamotilaan, havaitsee kunkin korjauspaikan yläpuolelle sijoitettu kaasuanturi vuodon ja käynnistää tehostetun ilmanpoiston korjaamolta pysäköintikannen alapuolitse ulkoilmaan, ja samanaikaisesti katkaistaan sähköt korjaamolta kaasuräjähdyksvaaran poistamiseksi. Yläpuolella sijaitsevassa salibandyhallissa kuuluttaa automaattinen kuulutuslaite poistumaan tiloista, samoin neljässä kerroksessa eteläpäädyssä sijaitsevasta HelB:n konttoritilasta. Pelastuslaitokselle menee automaattinen maakaasuhälytys. Korjaamohallin yläosa bussien kattopintojen yläpuolelta ylöspäin on ATEX-tilaa.

Varikolla on oma varavoima-asema, jonka dieselgeneraattori syöttää sähkön kaikille niille laitteille, joiden avulla saadaan bussit tankattua ja korjattua pitkäänkin jatkuvan sähkökatkon tai poikkeustilan aikana. Varikon väestösuoja on yhteinen HKR:n kanssa.

Bussikorjaamon vapaa korkeus on 7,6 m. Korkeusmitta mahdollistaisi johdinautojen kulkemisen ja korjaamisen korjaamotilassa. Koska yllämainitun selostuksen mukaisesti korjaamon yläosa on ATEX-tilaa, ei siellä voi olla kipinöiviä sähkölaitteita johdinautojen sähköjärjestelmiä varten.

Ruskeasuon varikkotontin pinta-ala on 86 439 m². Varikkorakennuksen pinta-ala on 16 168 m² ja vuorokausihuoltorakennuksen 899 m². Liitteessä 2 on kuvat korjaamo- ja vuorokausihuoltorakennuksista sekä pihapiirustus.

6.2.3 Koskelan varikko

Koskelan varikon pihalla on nykytilassa pysäköintitilat 69 bussille ja sisällä 9 bussille eli yhteensä 78 bussille. Näistä voi pihalla olla 25 nivelbussia, joten kaksiakselisille jää 53 pysäköintipaikkaa.

Mikäli ulkopuolisille vuokratut tilat otetaan omaan käyttöön, saa Koskelaan mahtumaan 48 nivelbussia ja 72 kaksiakselista bussia, yhteensä 120 bussia.

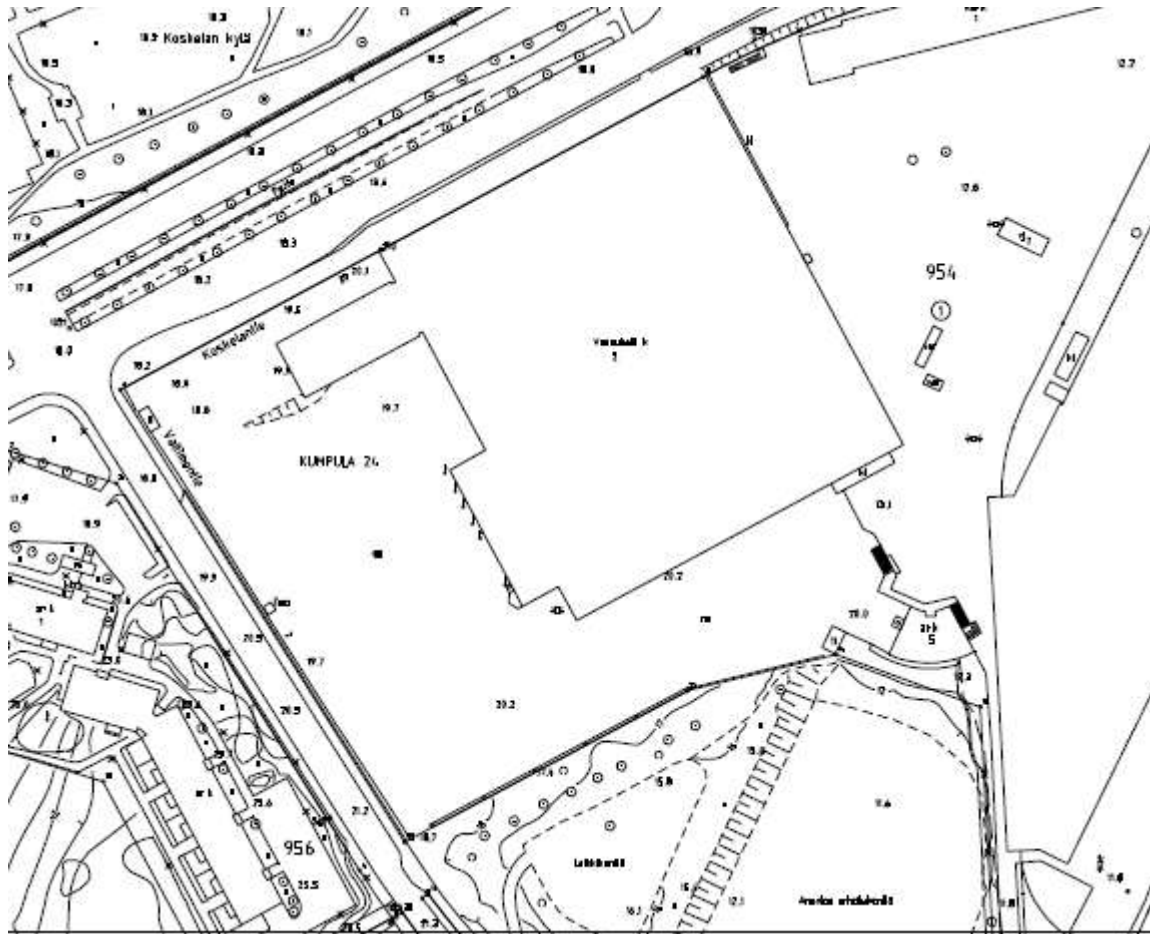
Jos käytetään pelkkää nivelbussikalustoa Koskelassa, niin nykytilassa sinne mahtuisi 53 nivelbussia pysäköintipaikoille ja 3 bussia korjaamolle sisään. Jos ulkopuolisille vuokratut tilat otetaan omaan käyttöön, mahtuu Koskelaan 80 bussia pysäköintipaikoille (sisään ja ulos) ja kahdeksan korjauspaikoille.

Koskelan varikolla on kuusi korjauspaikkaa rinnakkain ja niistä kolmelle korjauspaikalle voi ajaa nivelautoilla ja kolmelle kaksiakselisilla autoilla. Lisäksi korjaamon laajennusosaan on rakennettu kaksi läpiajettavaa pesulinjaa sekä ohituslinja.

Ulosajon puolella on katsastuksia ja testausta varten testauslinja, jota voi käyttää myös korjauspaikana. Varikolla on varaosavarasto korjaamotilan yhteydessä sekä apukorjaustilat.

Koskelan varikon vapaa korkeus on matalimmillaan 4,2 m, mikä mahdollistaa johdinautojen kulun korjaamon sisätiloissa ja ovista.

Koskelan bussivarikko on osa Koskelan yhdistettyä raitiovaunu- ja bussivarikkoa ja siten bussivarikolla ei ole omaa tonttia. Bussivarikkorakennuksen pinta-ala on 4 673 m².



Kuva 20. Koskelan bussivarikko.

6.2.4 Töölön ja Vallilan raitiovaunuvarikot

Töölön varikon käyttömahdollisuutta arvioitiin jo esiselvityksessä ja Vallilan varikon käyttömahdollisuutta tämän työn yhteydessä. Töölön varikolle mahtuu 32 ja Vallilan varikolle 24 raitiovaunua.

Vallilan varikolle on suunnitelmissa maanalainen lisätila raitiovaunuvarikon käyttöön.

Molempien varikoiden rakennukset ovat rakennushistoriallisesti suojeltuja ja niiden ympäristö on täyteen rakennettu. Varikoiden ovet ovat myös liian kapeat eivätkä siten sovellu bussikalustolle. Varikot jätetään johdinautohankkeessa tämän tarkemmin tutkimatta, koska ajoneuvot eivät mahdu ovista sisään.



Kuva 21. Vallilan varikko

6.2.5 Johdinautovarikon valinta

Työryhmä kartoitti huolellisesti Koskelan ja Ruskeasuon varikot. Töölön ja Vallilan varikot todettiin jo toteutettavuusselvityksen yhteydessä soveltumattomiksi johdinautovarikoiksi, minkä takia ne tutkittiin hyvin pintapuolisesti.

Työryhmä totesi, että nykyisistä varikoista parhaiten johdinautovarikoksi soveltuva on Koskelan varikko. Koskela on tilojensa puolesta sopivan kokoinen ja muunnettavissa kustannustehokkaasti johdinautoille soveltuvaksi. Suurena erona Ruskeasuohon on, että Koskelassa nivelautot eivät tuota ongelmia. Työn aikana testattiin käytännön kokeella, että myös tuplanivelbussi mahtuu varikon tiloihin ja huoltopilttuisiin. Helsingin Bussiliikenne Oy on luopunut Koskelan varikon käytöstä vuoden 2011 alusta lukien.

Ruskeasuolla on tällä hetkellä hyvin toimiva bussivarikko, jonka haltija ei ole halukas muuttamaan toimintaa. Myös maakaasubussien ja sähköä vaativien johdinautojen yhdistäminen saman varikon alle vaatisi lisämuutoksia turvallisuuden takaamiseksi. Näin ollen Koskela on siis paras vaihtoehto johdinautovarikoksi.

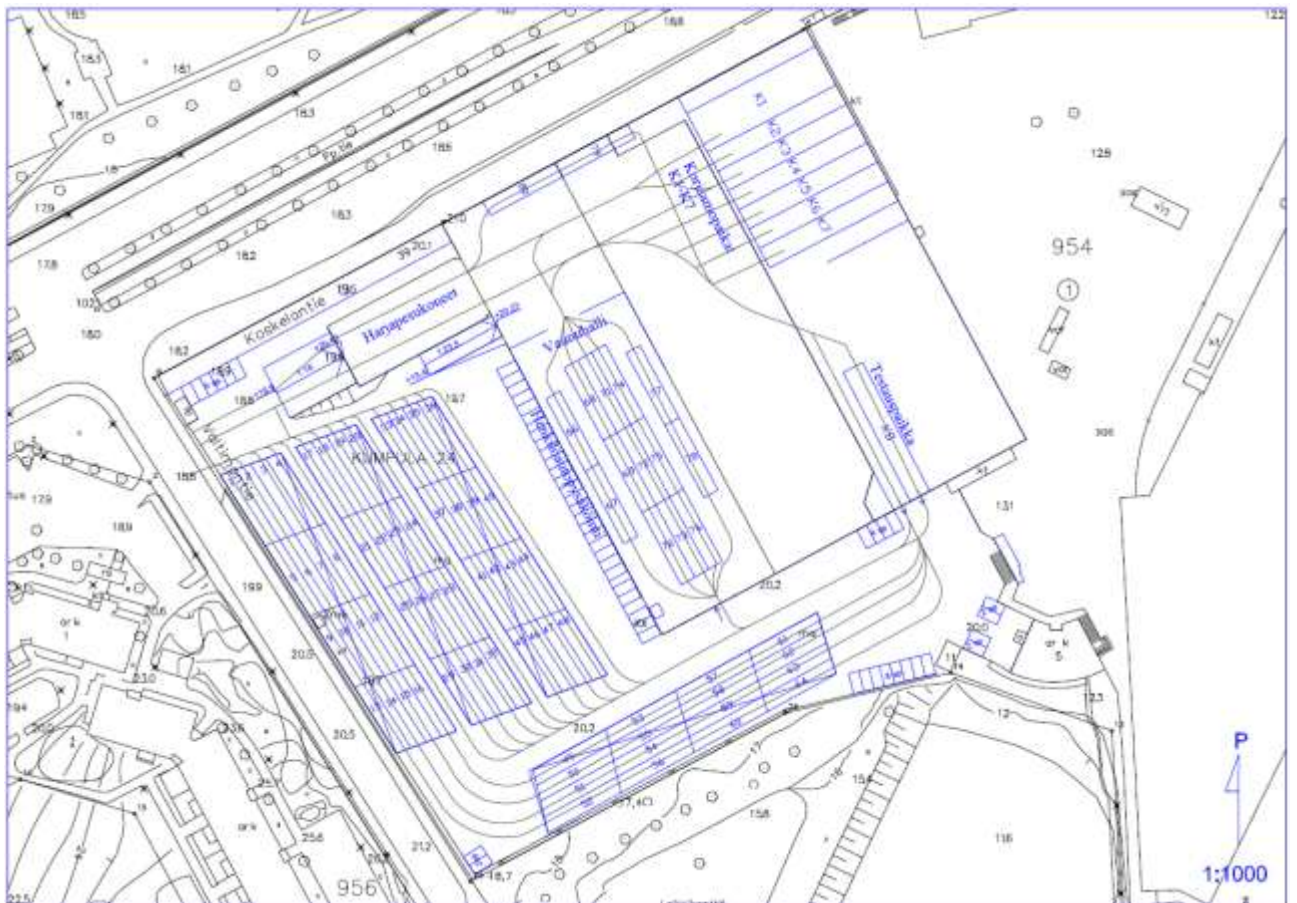
7 Johdinautovarikon hankesuunnittelu

7.1 Koskelan varikon toiminnallinen ratkaisu

Koskelan bussivarikolle on mahdollista pysäköidä 64 niveljohdinautoa pihapiirustuksen mukaisesti neljän erilliskatoksen alle. Katokset ovat mitoitukseltaan keskenään samanlaisia, jotta niiden mahdollisessa hankinnassa saavutettaisiin taloudellista etua.

Sisätiloihin voi pysäköidä 15 niveljohdinautoa ja näiden lisäksi korjauspaikkoja on vielä 8 kappaletta. Parhaimmillaan on siis mahdollista säilyttää varikon alueella 87 niveljohdinautoa, mikäli kaikki varikolla olevat tilat ovat johdinautojen käytössä. Myös linjastovaihtoehdossa C esitetyt 33 tuplanivellin- ja -autoa mahtuisivat Koskelan varikolle.

Alla olevassa pihapiirustuksessa on esitetty varikolle suunnitellut niveljohdinautojen pysäköintipaikat ajojohtoineen. Yhden nivelbussin pysäköintipaikan koko on $3,75 \times 19,5$ metriä.



Kuva 22. Koskelan varikko pysäköintipaikkoineen.

Johdinautovarikolla tulee olla periaatteessa samat perustoiminnot kuin bussivarikolla. Varikolla on oltava korjauspaikat niin ajoneuvoille kuin sähköjärjestelmälle, pesupaikka ja testauspaikka. Johdinauton sähköjärjestelmä testataan noin 7500 ajokilometrin välein ja kerran vuodessa tehdään suurempi perusteellinen testaus. Koska johdinauton sähköjärjestelmät sijaitsevat ajoneuvon katolla, tulee varikolla olla mahdollisuus päästä ajoneuvon katolle turvallisesti. Tähän käytettävä laitteisto on

samanlaista kuin raitiovaunupuolella. Työturvallisuuden vuoksi sähköjärjestelmän tulee olla kytkettävissä helposti ja luotettavasti pois päältä, jotta huoltotoimenpiteet on mahdollista toteuttaa turvallisesti.

Vierailuilla korjaamoilla on ollut korjauspaikkakohtainen sähkökytkin, jolla asentaja voi lukita työnsä ajaksi ajoneuvon virrattomaksi.



Kuva 23. Johdinautovarikko Genevessä (kuva Artturi Lähdetie).

Johdinautojen pesemiseen voidaan hankkia johdinautoille suunniteltu harjapesukone, joita valmistavat suomalainen Tammermatic Oy ja saksalainen Otto Christ Ag. Saksassa Solingenin varikolla johdinautot käyttävät samaa pesukonetta dieselbussien kanssa, mutta niitä varten on koneessa oma pesuohjelmansa.

Johdinauton aisoissa olevat hiilet vaihdetaan noin 3 päivän välein. Toimenpide on yksinkertainen ja nopea tehtävä eikä edellytä erityistoimenpiteitä varikkosuunnittelulta.

Johdinautovarikolla on oltava ajojohtojärjestelmä, jotta ajoneuvot voivat liikkua varikolla muun kuin apumoottorin varassa. Yksisuuntaisia ajojohtoja tarvitaan koko varikkoalueella noin 3600 metriä, joiden lisäksi tarvitaan 24 sähköistä vaihdetta ja 22 mekaanista vaihdetta. Lisäksi tarvitaan 11 syöttöpistettä erottimiseen ja syöttöasema.

Sveitsissä johdinautojen ulkoseisontapaikat ovat katettuja. Kattamisen tarkoituksena on suojata katolla olevia sähkölaitteita. Kattaminen ei kuitenkaan ole välttämättä täysin pakollista, sillä esimerkiksi Tallinnassa ja Saksan Solingenissa johdinautot seisovat ulkona ilman katosta. Tällöin lohko- ja sisälämmitin ovat suositeltavia, jotta ajoneuvo ja näin katolla olevat sähköjärjestelmät pysyvät kuivina eikä kosteutta pääse syntymään. Kosteus on suurin ongelma sähköjärjestelmien toimintakyvyssä. Johdinautoissa renkaat kuluvat hieman dieselbusseja nopeammin johtuen niiden paremmasta kiihtyvyydestä.



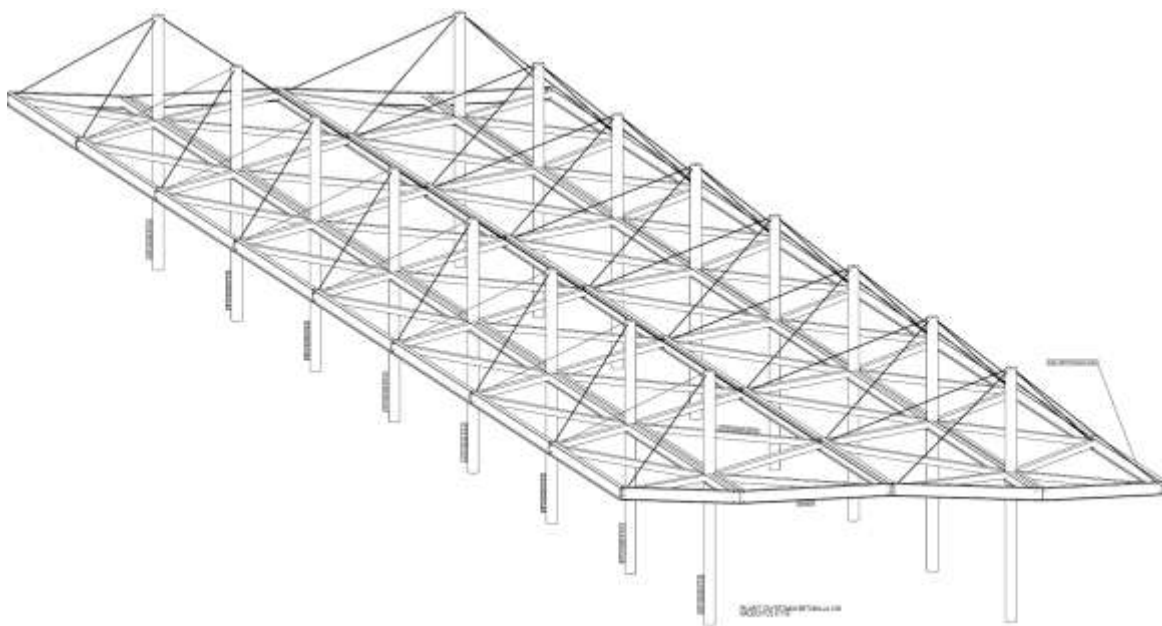
Kuva 24. Johdinauto varikolla Zürichissä (Kuva Raimo Mättö).

7.1.1 Varikkopiha

Edellisen kohdan piirustuksen mukaan pihalla on 64 pysäköintipaikkaa niveljohdinbusseille neljän katoksen alla. Katosten välissä on ajoväylät pysäköintipaikkojen ohittamista varten ja varikon sisään liikkumiseen.

Pihapiirustuksessa on näytetty, että nyt Karting-Centerin käytössä oleva toimisto-osa puretaan ja lisääntynyt piha-alue käytetään henkilökunnan henkilöautojen pysäköintipaikkana. Lisäksi henkilöautojen pysäköintipaikkoja on piha-alueen koilliskulmauksessa johdinautojen ajoväyliä ulkopuolella sekä sisäänajoportin vasemmalla puolella. Yhteensä henkilöautopaikkoja on varikon pihassa noin 52 kpl.

Pysäköintikatokset ovat teräsrakenteisia umpikatoksia, joiden alla on vapaa korkeus 4,5 m. Katoksen kattorakenteet tukeutuvat pilareihin vetotangoilla. Pilarit ovat törmäystä kestäviä betonitäytteisiä teräspilareita, halkaisijaltaan 350 mm. Ajojohdot kulkevat katosten alapinnassa. Katokset maalataan tehtaalla kauttaaltaan tumman harmaiksi, jotta ne sopeutuvat paremmin ympäristöön.



Kuva 25. Ulkokatos.

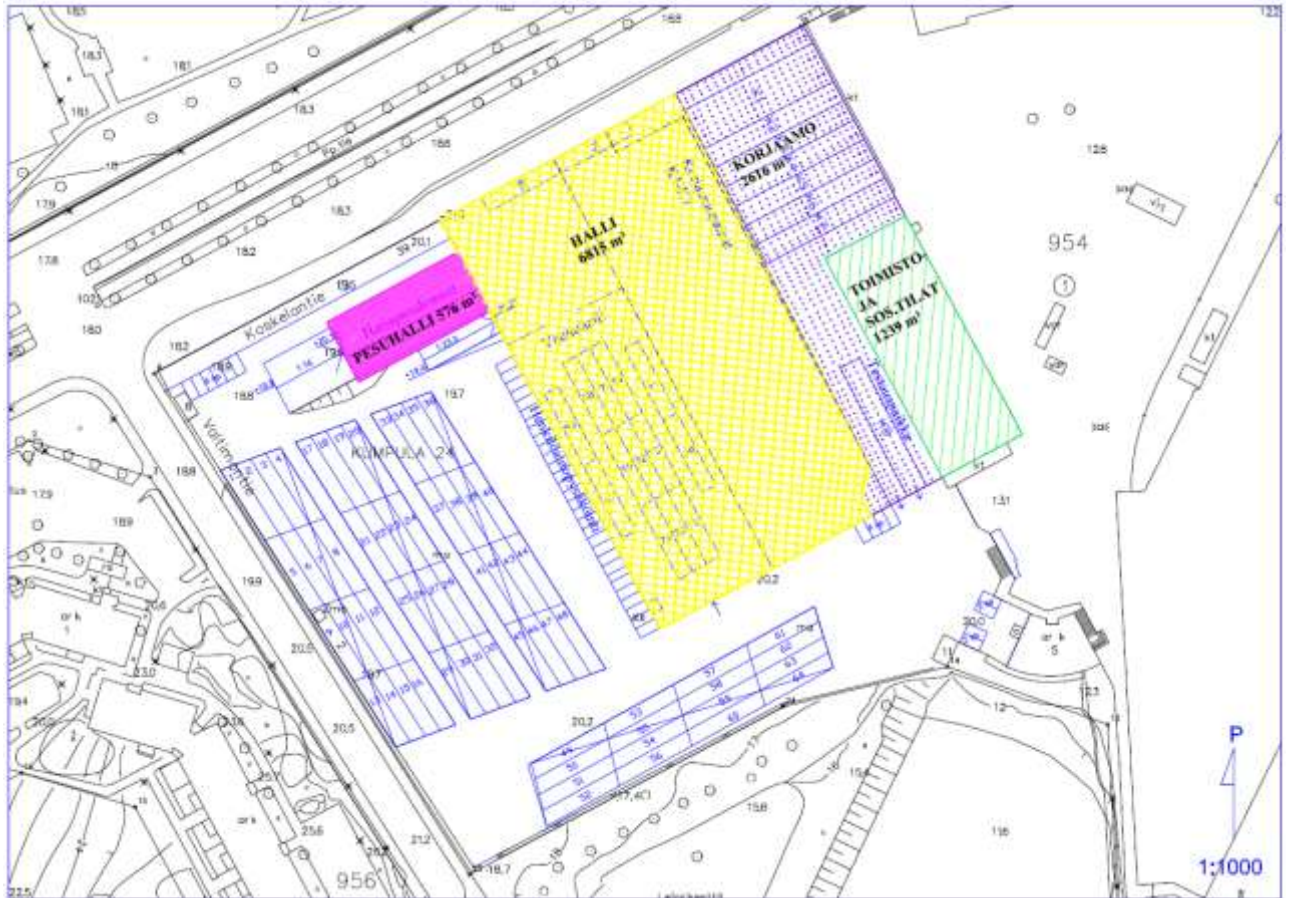
7.1.2 Varikkorakennus

Varikkona toimiva C-rakennus on rakennettu 1950-luvulla. Rakennus on ulkopuolisilta osin suojeltu, kolmiosisainen ja kaarihalleista koostuva rakennus, jonka päämitat ovat 110 m * 97 m. Rakennuksen lounaisnurkkaan on 1990-luvun alussa rakennettu pesuhalliossa, joka on kooltaan 576 m².

C-rakennuksen osassa 1 sijaitsevat HelB:n bussikorjaamo, henkilökunnan sosiaalitilat ja toimistot. Rakennuksen osissa 2 ja 3 on bussivarikon läpiajotila osaan 1 sekä Karting-Centerin tiloja. Pesuhalliosassa on kaksi harjapesukonetta rinnakkain. Kellarikerroksessa on lähinnä varastotilaa.

C-rakennuksen kaarihallien osat 1, 2 ja 3 ovat omia palo-osastojaan, jotka on eroteltu toimistaan automaattitoimisilla palo-ovilla (A30-luokka). Rakenteiden paloluokka on A120. Palo-ovien mitat ovat 4000 mm * 4000 mm. Korkeus 4000 mm määrää ajojohdinten korkeuden C-rakennuksen sisällä ajoalueilla ja se on riittävä.

Korjaamopaikoilla voi ajojohtimet sijoittaa korkeammalle, jotta bussit voidaan nostaa ylös korjaustyön ajaksi. Tällöin ajojohtimen korkeus lattiasta on 5500 mm ja niiden pituus korjauspaikoilla on noin 5 m bussien takaosassa korjauspaikalla.



Kuva 26. Johdinautovarikon tilat.

Liitteessä 2 on taulukkomuodossa lueteltu Koskelan C-rakennuksen tilaohjelma huoneittain. Taulukkoon on merkitty huoneittain tarvittavat muutostyöt nykytilanteeseen nähden. Merkittäviä muutoksia ei tarvitse tehdä, koska varikkorakennus on jo nyt bussitoimintojen käytössä.

Ajojohdot on lisättävä varikkorakennuksen sisälle sekä sijoitettava yksi sähkönjakeluasema johdinautotoimintoja varten.

7.1.3 Laite- ja rakennuskustannukset

Tilaohjelman sisältämien muutostöiden pohjalta on laadittu kustannusarvio C-rakennuksen sisällä ja piha-alueella tehtäville muutoksille. Tilaohjelman sisältämistä muutostöistä laaditaan erillisessä liitteessä esitettävä aikataulu.

Taulukkoon 28 on koottu sähkötekniset ja muut johdinautojen työskentelyyn vaadittavat erikoislaitteet, joiden yhteiskustannus on noin 3,8 miljoonaa euroa. Näistä nostolava-autoa ei välttämättä tarvita, jos toimitaan samassa organisaatiossa HKL Raitiliikenteen kanssa. Taulukossa 29 on eritelty rakennettavan katoksen osat. Sen kustannusarvio on 1,7 miljoonaa euroa. Yhteensä koko varikon muutuskustannukset ovat 5–5,5 miljoonaa euroa, riippuen nostolavainvestoinnista.

Muita, kuten kunnossapitokustannuksia, ei tässä ole laskettu, koska käyttövoimalla ei ole olennaista vaikutusta niihin. Esimerkiksi johdinauton oletetaan joutuvan yhtä usein kolareihin kuin dieselbussin, jolloin käyttövoima ei muuta jo olemassa olevia huoltokustannuksia.

Taulukko 28. Varikolla tarvittavien varusteiden kustannusarvio.

| | Kustannukset (€) |
|------------------------|------------------|
| Ajojohdot | 2 500 000 |
| Syöttöasema | 600 000 |
| Nostolava-auto | 500 000 |
| Glykooliruiskutusauto | 80 000 |
| Ylätyötasanne | 40 000 |
| Erikoismittauslaitteet | 30 000 |
| Harjapesukone | 60 000 |
| Yhteensä | 3 810 000 |

Taulukko 29. Katoksen kustannusarvio.

| Rakennusosa-arvio | kg | m2 | m3 | €/m2 | €/m3 | €/kg | yhteensä (€) |
|--|--------|-------|------|-------|--------|------|------------------|
| Purkaminen | | | | | | | |
| "Lippaosuuden" purku | | 450 | 3600 | | 15,50 | | 55 800 |
| Maaosat | | | | | | | |
| Perustusten maankaivu | | 5070 | | 6,70 | | | 33 969 |
| Sadevesiviemäröinti | | 5070 | | 3,00 | | | 15 210 |
| Perustusten täyttö | | 5070 | | 12,80 | | | 64 896 |
| Alueen salaojitus | | 10850 | | 0,60 | | | 6 510 |
| Yhteensä | | | | | | | 120 590 |
| Päällysteet | | | | | | | |
| Liikennealueen pintarakenteet asfaltti | | 10850 | | 22,00 | | | 238 700 |
| Raskas liikenne lisähinta | | 10850 | | 5,60 | | | 60 760 |
| Asfaltin poistaminen | | 10850 | | 1,30 | | | 14 105 |
| Yhteensä | | | | | | | 313 565 |
| Perustusrakenteet | | | | | | | |
| Mv Anturat (hintaluokka 5) | | 5070 | | 16,00 | | | 81 120 |
| Runkorakenteet | | | | | | | |
| Teräspilarit | 63300 | | | | | 3,00 | 189 900 |
| Pilareiden betonitäyte | | | 65 | | 140,00 | | 9 100 |
| Vetotangot+mutterit | 47500 | | | | | 3,00 | 142 500 |
| Teräspalkit | 130000 | | | | | 2,50 | 325 000 |
| Kantava profiilipelti | | 5070 | | 56,00 | | | 283 920 |
| Yhteensä | | | | | | | 950 420 |
| Kaikki yhteensä | | | | | | | 1 521 495 |
| Korjauslisä 10% | | | | | | | 152 150 |
| YHTEENSÄ | | | | | | | 1 673 600 |

7.2 Kaupunkikuvallinen tarkastelu

Koskelan varikkorakennus on suojeltu, joten sen ulkonäköä ei saa vapaasti muuttaa. Varikon muuttaminen johdinautovarikoksi ei vaadi muutoksia rakennuksen ulkonäköön. Kaupunkikuvallisesti merkittävin vaikutus on mahdollinen ulkopysäköintialueen katosrakenne. Sen suunnittelussa on otettu huomioon katoksen mahdollisimman vähäinen vaikutus varikon ulkonäköön. Alla olevassa kuvassa edellä esitelty ristikkokatos on sovitettu suunnitellulle paikalleen Koskelan bussivarikon pihalle.



Kuva 27. Johdinautojen katos Koskelan varikolla.

Koskelan varikon raitiovaunupuolella on käynnissä uudistustyöt. Raitiovaunu- ja bussivarikko ovat samaa yhtenäistä aluetta, jonka takia ne tulisi myös suunnitella yhdessä. Tämän takia tässä työssä ei ole suunniteltu ja kommentoitu bussivarikon ulkoasua tarkemmin vaan se on jätetty tehtäväksi myöhemmin, jos johdinautojen käyttöönottoon päädytään. Tällöin suositellaan, että koko Koskelan varikkoalueelle luodaan yhtenäinen ilme, jossa raitiovaunuvarikon tällä hetkellä suunnitteilla olevat muutostyöt on otettu huomioon.

8 Kaluston hankintaperiaatteet

8.1 Tekniset määrittelyt

Tässä luvussa esitetään sellaiset kalustoa koskevat vaatimukset ja ominaisuudet, jotka on tarpeellista tuoda esille, koska ne eivät täsmenny yleisten normien ja vaatimusten kautta.

Saksalaisella kielialueella, jossa liikenteenharjoittajien yhteistyöorganisaationa on Saksan paikallisliikenneliitto VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen), käytetään yleisesti määritteenä VDV-yhteensopivaa. Tällä viitataan VDV:n ohjeistoon, joka kattaa julkisen liikenteen kaikki sektorit ja tekniikat.

Kumipyöräkaluston osalta yleiset määritykset ovat ohjeistossa VDV Schriften 230 (09/2001) Rahmenempfehlungen für Stadt-Niederflur-Linienbusse (SLIII). Tämä ohje asettaa yleiset vaatimukset bussin rakenteille, materiaalien palosuojaukselle, polttoaineen kulutukselle, melumittausten arvoille jne., joten minimissään voisi dieselbussin tilata viittaamalla mainittuun ohjeeseen.

Tämän pääohjeen jatko-osa VDV Schriften 230/1 (03/2008) Rahmenempfehlung für Niederflur-Gelenktrrolleybusse (NGT) antaa perusvaatimukset johdinauton rakenteelle ja toiminnoille.

EU:ssa on voimassa busseja koskeva yleinen yhteentoimivuusvaatimus E/ECE/324 (E/ECE/TRANS/505) 30.1.2009. Se asettaa vähimmäis- ja rajaavat vaatimukset yleisille ominaisuuksille. Tämän ohjeiston liitteenä on suppeahko luettelo johdinautoja koskevista erityisvaatimuksista.

Perinteisissä johdinautomaissa on hyvin yksityiskohtaiset ohjeet maakohtaisissa laeissa, asetuksissa ja niihin verrattavissa asiakirjoissa. Erityisen käyttökelpoisia varsinaisen hankinnan kannalta ovat kansalliset asetukset:

- Sveitsin SR 734.42,
- Italian CEI 9-4 ja
- Saksan CLC-TS 50502.

Ne niveltyvät suoraan ylempään lainsäädäntöön ja antavat erittäin selkeät ohjeet käytännön toimintojen näkökulmasta.

Varsinaisia hankinta-asiakirjoja varten HKL:n on mahdollista saada liikennelaitosten yhteistoiminnan puitteissa varsin syvällistä tietoa sellaisilta Keski-Euroopan liikenneyhtiöiltä, jotka ovat hiljattain hankkineet uutta kalustoa.

8.2 Erityisiä näkökohtia ja vaatimuksia

Selvityksen tuloksena on syntynyt käsitys Helsinkiin sopivan johdinautokaluston toivottaviksi ominaisuuksiksi. Alla oleva luettelo ei vielä pyri olemaan täysin kattava, vaan tuo esille merkittävimpiä linjauksia.

Ajosähköjärjestelmä: 750 V tasavirta (DC) on vakiintunut kaupunkiliikennekäytössä sopivaksi järjestelmäksi. Kaluston tehovaatimusten kasvaessa (esim. tuplanivel ja ilmastointi), pystyy 750 V jännitetaso vastaamaan näihin vaatimuksiin olennaisesti paremmin kuin 600 VDC, joka olisi vaihtoehtoisesti valittavissa. Olennaista sähköjärjestelmän toiminnan ja taloudellisuuden kannalta on so-

veltaa uusinta säätötekniikkaa, mm. raskaiden sähkökuormien vuorottelu, ja dynaamisesti liikennekäyttöön soveltuvia energiapuskureita kuormituspiikkien leikkaamiseen.

Ajosähkön saanti, virroitin: Virroitin on ongelmattoman toiminnan kannalta eräs tärkeimmistä osista. Sen tulee hoitaa jatkuva sähköinen yhteys ajolankoihin virransaannin varmistamiseksi ja kipinöinnin välttämiseksi. Tämä edellyttää, että virroitimen pää pystyy seuraamaan ajolankaa jopa 70 km/h (20 m/s) nopeudessa mahdollistaen samalla yli 4 metrin vapaan siirtymän ajolangan molemmin puolin. Virroitimen ominaisuuksiin vaikuttaa voimakkaasti sen materiaali (alumiini, lasikuitu, hiilikuitu jne.) ja joustavuus, pään rakenne, virroitinhiilen laatu ja rakenne sekä ohjausjärjestelmän toiminta. Koska virroitimen hiili tarkistetaan päivittäin ja vaihdetaan varsin usein, on sen huollon helppouteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Johdinauton ominaisuuksia on myös automaattinen ajolangan napaisuuden tunnistus ja vaihto.

Virroitimen ja sen rakenteiden sekä osien suhteen ei markkinoilla ole yksikäsitteisesti parasta ratkaisua. Niinpä useimmat liikennelaitokset toistaiseksi räätälöivät ja kehittävät oman ratkaisunsa parhaan näkemyksensä mukaisesti yhteistyössä jonkun yrityksen kanssa.

Apumoottoriratkaisu: Johdinauto on ehdottomasti varustettava apuvoimalähteellä (diesel, akku, superkondensaattori, polttokenno jne.), mutta tekniikka kannattaa valita mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa alan nopean kehityksen vuoksi.

Ajoneuvossa sijaitseva energiavarasto tarkastellaan hankintavaiheessa yhdessä apumoottori-tekniikan kanssa.

Huippunopeus: 70 km/h.

Jarrutusenergian talteenotto: Jarrutuksessa vapautuva energia kannattaa ensisijaisesti käyttää lämmitykseen ja muihin ajoneuvossa oleviin apulaitteisiin (mm. ovikäytöt). Toissijaisesti tulisi syöttöverkon kyetä vastaanottamaan vapautuva energia ja puskuroimaan eli varastoimaan hetkellisesti tai siirtämään se välittömästi hyötykäyttöön. Itse ajoneuvoon tapahtuva puskurointi on hätävararatkaisu, mutta mahdollisesti perusteltavissa, jos apuvoimakin perustuu samaan teknologiaan.

Kaksi vetävää akselia ja jarrutuksessa kaksi generaattoria on osoittautunut talvisissa olosuhteissa ylivoimaisesti parhaimmaksi ja on jarrutusenergian talteenoton kannalta erinomainen ratkaisu. Tällä tekniikalla myös renkaat kestävät olennaisesti paremmin kuin yhdellä vetävällä akselilla, koska kiihtyksen vääntö jakaantuu kahdelle akselille ja neljälle rengasparille. Perinteinen moottori ja voimansiirto vaikuttavat varsin toimivilta verrattuna napamoottoreihin, jotka eivät ole vielä saavuttaneet riittävää teknistä kypsyyttä. Niiden suhteen on myös muistettava suuren jousittamattoman massan aiheuttama erityisongelma.

Kuljettajan tilan ilmastointi: Kuljettajan tila on ilmastoitava.

Matkustajan tilan ilmastointi: Uudet bussit ja raitiovaunukalusto ilmastoidaan, joten samaa linjaa toteutettaneen myös johdinautossa.

Ikkunat: Kaksinkertaiset lasit ja tuuletusikkunat 4 kpl. Tuuletusikkunoiden tarve ja käyttö on ainakin jossain määrin sidoksissa ilmastointiin.

Ovet: Käytetään kaksoisovia ovijärjestyksellä 2+2+2. Kaksilehtisen oven vapaa aukko on vähintään 1200 mm. Tilankäytön ja matkustajien mukavuuden ja turvallisuudenkin kannalta on eduksi, että

ovet aukeavat ulospäin sivuille. Ovet on varustettava turvalaitteilla, jotka estävät matkustajien jäämisen sulkeutuvien ovien väliin.

Poistumisovien kohdalla on oltava valo, joka valaisee myös poistumisoven ulkopuolisen alueen.

Ovien ei tule aueta automaattisesti, vaan oveen sijoitetusta matkustajien käyttämästä aktiivisesta painonapista; avustusta varten pitää olla erillinen nappi. Oviaalueella on talvella syytä olla ilmavirtausverho matkustustilan lämpimyyden säilyttämiseksi.

Pyörätuoliramppi: Keskiovellä on manuaalinen ramppi. Ramppi pitää eristää sähköturvallisuuden takia.

Lattia: Matala lattia on oltava ainakin etu- ja keskiovien välisellä alueella, eikä tällä alueella saa olla porrasta. Keskisillalta takaosaan nousevien portaiden askelkorkeus ei saa ylittää 250 mm.

Matkustamon käytävän leveyden on oltava auton etu- ja keskioven välillä kapeimmalta kohdalta vähintään 550 mm.

Avarat erillistilat ovien tuntumassa lastenvaunuja, pyörätuoleja ja mahdollisesti polkupyöriä varten. Tila on varustettava pyörätuolille sekä vähintään kolmella klaffi-istuinpaikalla; vapaa pituus vähintään 1950 mm.

Sisätilan tukitangot: Tangot tulee sijoittaa avaran oloisesti. Oviaalueilla tulisi tankoja välttää sujuvan liikkumisen takaamiseksi (lastenvaunut, pyörätuolit ja isommat matkatavarat ym.). Tangoissa on oltava siisti ja käteen hygieeniseltä ja miellyttävältä tuntuva pinta.

Liikuntaesteisten liikkumisen helpottamiseksi vammaispaikkojen kohdalle seinään on asennettava kahva sekä vaaka- ja pystytankoja, ellei paikan edessä olevassa istuimessa ole tarkoitukseen sopivaa kahvaa tai muuta apuvälinettä. Ajoneuvoon on asennettava kahvoja ja tukitankoja niin, että niitä käyttäen pääsee liikkumaan sisääntulo-ovelta poistumisovelle. Mikäli vammaispaikat on sijoitettu niin, ettei niiden edessä ole seuraavan penkin selkänojaa, on paikkojen eteen sijoitettava tukitanko. Ovet on varustettava liikuntavammaisille soveltuvilla kahvoilla.



Kuva 28. HESS-tulpanivelbussin sisätila. (Kuva Artturi Lähdetie).

Istuimet: Istuimet tulee mieluummin ankkuroida seinään kuin lattiaan, koska se helpottaa sisätilojen puhdistusta. Istuinten on oltava selkä- ja istumaosaltaan pehmustetut sekä kangasverhoillut. Istumapaikkamäärän on oltava vähintään 52 + 3 klaffi-istuinta ja kokonaispaikkamäärän vähintään 100.

Sisävalaistus: Valaistuksen on oltava sellainen, että jokaisella istumapaikalla pystyy vaivatta lukemaan normaalia tekstiä (valaistusvoimakkuus 100 – 200 lux).

Melutaso: Sisämelulla on matkustajien arvostuksen kannalta erityisen suuri merkitys. Kalustosta johtuvan melun voimakkuus ei kuljettajan ja auton keski- ja takaosassa istuvan matkustajan pään kohdalla saa ylittää missään käyttötilanteessa 75 dB (A) arvoa. Yleisohjeena on aiemmin mainittu VDV 230/1 03/08. Erityisen tärkeää on välttää vaihtelevien taajuuksialueiden ulinoita ja jyrinöitä. Ulkomelu on pyrittävä saamaan mahdollisimman alhaiseksi.

Linjanumero/kilpi: Edessä, takana ja oikealla sivulla etu- ja keskioven välissä on oltava valaistu ja selvästi erottuva linjakilpi. Etulinjakilvessä linjanumeron korkeuden on oltava vähintään 280 mm. Taka- ja sivulinjakilvissä linjanumeron korkeuden on oltava vähintään 160 mm. Linjakilvessä käytettävä tekniikka ja sen liittäminen itc-verkkoon on syytä harkita ajankohdan tekniikan mahdollisuuksien mukaisesti.

Sisäpuoliset informaationäytöt: Samanlaiset matkustajanäytöt kuin raitiovaunuissa ja metroissa.

Valvontakamerat ja niiden näytöt: Sisätilan kameroiden kuva on välitettävä myös keskusvalvomon. Kaikkien kameroiden on näytävä kuljettajan näyttöruudulla. Erityisen huolella on säädettävä takapyörien näyttö, jotta kuljettajalla olisi kulku hyvässä hallinnassa.

Matkustamotilan tallentava kameravalvonta, joka kattaa etuoven alueen (kamera kuvaa kyytiin nousevat matkustajat ja rahastustapahtumat), keskioven alueen (kamera kuvaa keskiovesta poistuvat

matkustajat ja matkustamoa) ja takaoven alueen (kamera kuvaa takaovesta poistuvat matkustajat ja matkustamon takaosaa).

Kaluston ulkoasu: Kaluston maalaus/teippaus on suunniteltava Helsingin seudun joukkoliikennejärjestelmään soveltuvaksi. Lisäksi on pohdittava, halutaanko johdinauton ulkoasu muuten muokata Helsinkiin sopivaksi.

Muuta: Kuljettajan työrauhan varmistamiseksi on kuljettajatilaa varustettava muunneltavalla turvaohjaamolla siten, että kuljettajan on pystyttävä myymään lippuja ja muutenkin palvelemaan matkustajia.

8.3 Vaatimukset itsenäisen liikkumisen ja apumoottorin suhteen

Tällä tekniikan alalla on kehitys erityisen voimakasta, mutta mitään erityistä läpimurtoa ei ole nähtävissä.

Vakiintunut näkemys on, että johdinautoissa on oltava järjestelmä, joka mahdollistaa ainakin rajallisen liikkuvuuden myös ilman ajojohtoyhteyttä. Johdinauton tulee kyetä väistämään satunnaisia liikenne-esteitä apumoottorin voimin. Tavoitetasona esitetään vaatimus useamman kilometrin vapaasta ajomatkasta kohtuullisella nopeudella.

Esimerkkinä viimeisimmistä kehitystrendeistä on Eberswaldissa 21.8.2010 esittelyajossa ollut superkondensaattoreilla ja akuilla varustettu MAN-niveljohdinauto, jolle luvataan noin 4 km:n vapaa liikkuvuus (järjestelmän paino noin 1000 kg).

Eräänlaiseksi standardiratkaisuksi on muotoutunut 50 – 100 kW dieselaggregaatti sarjahybridiratkaisuna.

Autonomisen liikkumisen tavoitetaso on tarkoituksenmukaisinta tarkentaa vasta kaluston hankintavaiheen loppupuolella. Esimerkkinä tästä on Schaffhausenin meneillään oleva uuden johdinauto-toimituksen tilanne: toimittajaksi valittiin HESS/Vossloh-Kiepe jo vuoden 2010 huhtikuussa, mutta syyskuussa 2010 apuvoimaratkaisu on edelleen avoinna.

Paloturvallisuus: Johdinautossa on oltava toimiva automaattinen moottorin palonsammutusjärjestelmä, joka on säännöllisesti vuosittain huollettava ja huollot on dokumentoitava. Moottori- ja lisälämmitintila on varustettava sammutusaukoin.

8.4 Hankintaperiaatteista

Johdinauto on edelleen erittäin voimakkaan ja nopean kehityksen kohteena. On epätodennäköistä, että tekniikka vakiintuisi niin paljon, että hankinta kannattaisi toteuttaa yksinkertaisena tarjouskilpailuna. Parhaaseen tulokseen johtaa todennäköisimmin neuvottelumenettely, jota on käytetty mm. Zürichissä. Erityinen ongelma johdinauton hankinnassa on kahden eri tekniikan yhdistäminen onnistuneesti: bussin mekaniikka ja sähköinen järjestelmä. Markkinoilla on havaittavissa jonkinlaista kumppaneiden vakiintumista, mutta vielä ei olla teolliseksi sarjatuotannoksi vakiintuneessa toimintamallissa.

Raitiovaunukaluston uushankinnassa Helsingissä edetään samoin periaattein kuin Zürichissä. Prosessista on HKL:lla seikkaperäinen kuvaus.

Tällaisen hankintaprosessin tärkeimpiä vaiheita ovat:

- Osallistumishakemus TED-tietokannassa julkaistun hankintailmoituksen kautta.
- Osallistumishalukkuutensa esittäneiden yritysten seulonta. Tätä varten on välttämätöntä vaatia jokaiselta halukkaaksi ilmoittautuneelta konseptitasoinen kuvaus tarjottavaksi ajattelemastaan kalustosta.
- Valittujen tarjoajien kanssa kartoittavat neuvottelut, joissa haetaan tilaajan näkökulmasta kelvollinen konsepti.
- Esivalituille tarjoajille lähetetään täsmennetty tarjouspyyntö. Tarjouspyynnössä esitetään selkeästi myös valintakriteerit.
- Tarjousten ja toimittajien arviointi sekä toimittajan valinta.
- Toimituskokoonpanon tarkentaminen valitun toimittajan tai ryhmittymän kanssa.
- Nykyisessä markkinatilanteessa lienee mahdollista pitää prosessissa lopulliseen valintaan saakka useampia toimittajia ja ryhmittymiä mahdollisimman toimivan kilpailun varmistamiseksi.

9 Johdinautoliikenteen organisointi ja sääntelyvaihtoehdot

9.1 Liikenteen organisoinnin vaihtoehdot

Työssä on tutkittu kolmea vaihtoehdoista organisaatiomallia:

Kaupungin omana toimintana

Mikäli liikenne on organisoitu Helsingin kaupungin omana toimintana, niin tällöin luultavammin jokin HKL:n yksikkö omistaisi kaluston, toimisi kaupungin varikolla ja hoitaisi liikenteen kaupungin omana tuotantona. On myös mahdollista, että HSL-kunnat, tai osa näistä, omistaisivat yhdessä liikenteestä vastaavan kuntayhtymän tai liikelaitoksen tai osakeyhtiön.

Kalustoyhtiömalli

Kalustoyhtiömallissa kaupunki omistaisi sekä varikon että kaluston, mutta liikenteen operointi järjestettäisiin tarjouskilpailun kautta.

Liikennöitsijämalli

Liikennöitsijämallissa kaupunki omistaisi vain varikon ja infrastruktuurin. Tarjouskilpailun voittanut liikennöitsijä hankkisi kaluston ja vastaisi liikennöinnistä.

Nykyisin oman toiminnan mallia käytetään raitioliikenteessä ja liikennöitsijämallia tavallisessa bussiliikenteessä. Liikennöitsijämalli tosin poikkeaa nykyisin bussiliikenteessä käytössä olevasta mallista siten, että tavanomaisesti varikon omistaa myös joko liikennöitsijä itse tai muu ulkopuolinen taho. Vähintäänkin varikot ovat liikennöitsijäkohtaisia. Johdinautoliikenteessä voidaan kuitenkin olettaa, että kilpailua ei synny, jos malli edellyttäisi liikennöitsijän omistamaa varikkoa. Toisaalta kyseinen varikko on jo kaupungin omistuksessa. Kalustoyhtiömalli on pieneltä osin käytössä Helsingin seudun lähijunaliikenteessä, mutta sen merkitys kasvaa, kun uutta Sm5-lähijunakalustoa hankitaan.

9.2 Kansainväliset organisointimallit

Keski-Euroopan johdinautojärjestelmät on lähes poikkeuksetta toteutettu kaupungin oman toiminnan mallilla. Johdinautot ovat usein osana kaupungin tai seudun omistamaa joukkoliikenneyhtiötä, joka on tehnyt pitkäaikaisen käyttöoikeussopimuksen liikenteen hoidosta kaupungin tai seudun tilaajaviranomaisen kanssa. Poikkeuksen muodostavat Arnheim (42 johdinautoa neljällä linjalla) ja Landskrona (4 johdinautoa yhdellä linjalla), joissa toimitaan kalustoyhtiömallin mukaisesti. Liikennöitsijämallin mukaisia ratkaisuja ei havaittu.

Johdinautoliikenne on Euroopassa organisoitu siis lähes kokonaan oman toiminnan mallin mukaisesti. Tämä on johdonmukainen seuraus siitä, että etenkin Keski- ja Itä-Euroopassa paikallisliikenne on perinteisesti ollut julkisen sektorin itse tuottamaa. Toisaalta kuitenkin kilpailuttaminen ja markkinoiden vapauttaminen on tällä vuosituhannella lisääntynyt merkittävästi sekä bussi- että junaliikenteessä. Siihen nähden johdinautoliikenteen organisointi on muuttunut erittäin vähän. Syynä tähän voidaan arvioida olevan johdinautoliikenteen operoinnin ja erillisen infrastruktuurin välinen kiinteä yhteys. Toisin kuin esimerkiksi junaliikenteessä, johdinautojärjestelmissä on aina vain yksi liikennöitsijä.

9.3 Johdinautoliikenteen erityispiirteet organisoinnin kannalta

Johdinautokalusto on harvinaisempaa ja pitkäikäisempää kuin dieselbussikalusto. Johdinautojen hyvästä kestävyydestä johtuen niiden jälleenmyyntihinnat Keski-Euroopassa ovat kohtuulliset, mutta toisaalta markkinat ovat pienet. Kukaan toimija ei voi laskea kalustopolitiikkaansa sen varaan, että osan vaunuista voisi hankkia käytettynä.

Johtuen vaunujen pitkästä 20–25 vuoden käyttöiästä niille on syytä tehdä 10–15-vuotiaina laajempi peruskorjaus, jossa uusitaan kulunut sisustus lähinnä siisteys- ja imagosyistä sekä päivitetään vanhat sähkötekniset komponentit uusiin. Sähköjärjestelmän päivittäminen on tarpeen varaosien saannin varmistamiseksi.

Helsinkiin kaavailtu järjestelmä on laajuudeltaan 60–120 autoa, joka on 5–10 % HSL-alueen nykyisestä paikallis- ja lähiliikennekalustosta. Johdinautot ovat erikoiskalustoa, jolle ei ole muita markkinoita Suomessa ja joka todennäköisesti ajetaan loppuun Helsingin seudun liikenteessä. Kaluston omistuksen järjestäminen ja muut sopimusehdot voivat tällöin muodostua seuraaviksi eri malleissa:

Omana tuotantona operoitaessa sopimusjärjestelyn HSL:n ja HKL:n johdinautoyksikön välillä tulee sisältää ehdot kirjanpidossa poistamattoman kaluston lunastamisesta, jos sopimusta ei sen päättymisen jälkeen jatketa. Näin siksi, että EU-säädösten sallima pisin sopimuskausi on 15 vuotta. Käytännössä sopimuksen uudistaminen tulee voida tehdä edellisen sopimuksen jälkeen joustavasti neuvottelumenettelyllä.

Kalustoyhtiömalli mahdollistaa kaluston pitoaikaa selvästi lyhyemmän, esim. 7–10 vuoden liikennöintisopimuksen. On kuitenkin tarkoituksenmukaista kilpailuttaa liikenteen operointi yhtenä kokonaisuutena, jotta ainoalla johdinautovarikolla on vain yksi toimija. Kalustoyhtiön tulee sopimuksin varmistaa ja koordinoita, että isot peruskorjaukset johdinautoihin tehdään riittävän kattavina ja ajallaan.

Liikenteen tilaaja tai kalustoyhtiö omistaa kaluston, jota se vuokraa operaattoreille.

Liikennöitsijämallissa liikennöintisopimuksen pitää olla pitkä, käytännössä enintään 15 vuotta, jotta voittanut liikennöitsijä saa sopimuksen alussa hankkimansa kaluston mahdollisimman suuressa määrin kuoletettua sopimuskauden aikana. Toisaalta sopimuksen tulee sisältää ehdot kirjanpidossa poistamattoman kaluston lunastamisesta, jos sopimusta ei sen päättymisen jälkeen jatketa.

Tämä malli merkinnee sitä, että pääosa johdinautoista hankitaan yhtenä suurena hankintana ja ajetaan loppuun sopimuskauden ja sen jatkokauden aikana. Tämä taas tarkoittaa sitä, että järjestelmän toimintavarmuus ja koettu matkustusmukavuus saattavat heikentyä sopimuksen loppupuolella, kun kaikki autot ovat vanhoja.

9.4 Sähköinfrastruktuuri organisoinnin kannalta

Bussiliikenteessä vastuu liikenneväylien ylläpidosta on eriytetty liikenteen operoinnista. Metro- ja raitioliikenteessä yleensä kunnallinen tai seudullinen toimija vastaa sekä liikennepalveluiden tuottamisesta että ao. joukkoliikennemuodon erityisinfrastruktuurista.

Koska johdinautoliikenteen tekninen toimintavarmuus riippuu sekä vaunujen teknisestä kunnosta että ajojohtojen ja sähkönsyöttöjärjestelmän toimivuudesta, on tarkoituksenmukaista, että näistä vastaavat toimijat ovat yhteisen johdon alaisena. Näin ei muodostu tilannetta, jossa eri johdon alla toimivat organisaatiot työskentelevät ja osaoptimoivat omaa toimintaansa ja kokonaisuus kärsii.

Itsenäinen liikenneoperaattori voi esimerkiksi säästää virroittimien hiilissä, jolloin infrastruktuurin haltijan vastuulla olevat ajolangat vastaavasti kuluvat nopeammin.

Omassa tuotannossa vastuu kalustosta ja väylän erityisinfrastruktuurista voidaan luontevasti sijoittaa yhteen organisaatioon raitiotien ja metron kanssa, jolloin kokonaisvastuu järjestelmän teknisestä toimivuudesta toteutuu.

Kalustoyhtiömallissa kalustoyhtiönä toimiva organisaatio voi periaatteessa vastata osittain kaluston korjaustoiminnasta sekä väylien sähköinfrastruktuurista, jolloin yhtenäinen vastuu teknisestä toimivuudesta periaatteessa toteutuu. Liikenteen operointi on kuitenkin erillisen johdon alla. Koska liikenteen operatiivisen toiminnan ratkaisut vaikuttavat etenkin kaluston kestävyys- ja kulumiseen, ei tätä mallia voida pitää kokonaisvastuun kannalta yhtä hyvänä kuin edellistä. Etenkin poikkeustilanteissa, kun osa kalustosta on rikki tai sähkönsyöttöjärjestelmässä on vajaatoimintaa, kiireellisten korjaustoimenpiteiden priorisointi on perusteltua tehdä liikenteen työnjohdon toimesta, koska se osaa arvioida parhaiten toimenpiteiden tärkeysjärjestyksen matkustajille aiheutuvan haitan kannalta.

Liikennöitsijämallissa lähtökohtana on liikenteen operoinnin ja infrastruktuurin erottaminen toisistaan. Liikenteen operointi ja kaluston omistus on tarjouskilpailun voittaneen operaattorin vastuulla ja väylien johdinautoinfrastruktuuri taas kuuluu julkiselle vallalle. Liikenteen kilpailuttaminen niin, että johdinautoliikenteen erityisväyläinfrastruktuurin hoito ja ylläpito kuuluu sopimuksen piiriin, on toki mahdollista. Tällöin on kuitenkin todennäköistä, että tarjouksia jättäisivät konsortiot, jonka olisivat muodostaneet liikennöitsijät ja rakennus- tai kunnossapitoyritykset yhdessä.

9.5 Henkilöstökysymykset

Organisointimalli vaikuttaa henkilökunnan palkkaukseen ja työehtoihin. Johdinautokuljettajiin voidaan soveltaa joko kunnallista työehtosopimusta (KVTES) paikallisine täydennyksineen tai auto- ja kuljetusalan valtakunnallista ns. AKT-ALT -TES:siä. Ratkaisu perustuu lähes varmasti KVTES:iin, jos liikennehenkilökunta palkataan kaupungin palvelukseen, kuten oman tuotannon mallissa. Sen sijaan kalustoyhtiö- ja liikennöitsijämalleissa operaattori on todennäköisesti osakeyhtiö, jossa luultavammin noudatetaan AKT-ALT -TES:siä.

Noudatettavalla sopimuksella on merkitystä kuljettajien rekrytoinnin kannalta. Nykyisen AKT-ALT -TES:n peruspalkat ovat 19–24 % korkeammat kuin HKL:n raitioliikenteen palkat työkokemuksesta riippuen. Toisaalta HKL:n KVTES-pohjaisen talokohtaisen sopimuksen lisät ovat niin hyvät, että ne kurovat peruspalkkojen eron lähes kiinni. Sekä Helsingin seudun yksityisten yritysten bussinkuljettajien että raitiovaunukuljettajien keskimääräinen toteutunut palkkataso oli keväällä 2010 hieman alle 2900 €/kk ilman ylityökorvauksia eron ollessa 30 €/kk (1 %) bussinkuljettajien hyväksi. Käytännössä hajonta molempien ryhmien sisällä on suuri ja nämä erot perustuvat erilaisiin palkanlisiin. Koska KVTES-pohjaisessa sopimuksessa erilaisten lisien osuus kokonaispalkasta on AKT-ALT-sopimusta suurempi, toteutuneiden palkkojen hajonta on todennäköisesti suurempi raitiovaunukuljettajien keskuudessa kuin bussinkuljettajien keskuudessa.

Koska johdinautojen kuljettajiksi rekrytoidaan linja-autonkuljettajia, sisältää oman tuotannon malli ja KVTES-pohjainen kuljettajasopimus riskin siitä, että uusia nuoria kuljettajia on vaikea rekrytoida. Jos taas johdinautokuljettajien peruspalkkoja oman tuotannon mallissa nostetaan, siitä seuraa todennäköisesti paine korottaa vastaavasti myös raitiovaunukuljettajien palkkoja.

Toisaalta johdinautoliikenteestä on kuitenkin mahdollista rakentaa itsenäinen dieselbussiliikenteestä poikkeava raitioliikenteen kaltainen vahva brändi. Jos tämä onnistuu, voidaan johdinautoliikenteessä päästä raitioliikenteen kaltaiseen tilanteeseen, jossa kuljettajiksi halukkaita riittää kunnallisesti tuotettuun ja ei-kilpailutettuun joukkoliikennejärjestelmään, vaikka samanaikaisesti kilpailutettuun bussiliikenteeseen ei saada riittävästi kuljettajia.

9.6 Toiminnan synergiat ja joustavuus

Johdinautoliikenteellä on tuotantotoimintana synergioita sekä bussi- että raitioliikenteen kanssa. Seuraavassa taulukossa on hahmotettu näitä synergioita.

Taulukko 30. Johdinautoliikenteen tuotannolliset synergiat.

| Tuotannontekijä tai -prosessi | Bussiliikenne | Raitioliikenne |
|------------------------------------|---------------|----------------|
| Kuljettajien rekrytointi | ++ | 0 |
| Kuljettajien koulutus | ++ | + |
| Liikennetyönjohto | + | + |
| Ajokaluston kunnossapitotyö | + | + |
| Ajokaluston tarvikkeet ja varaosat | + | + |
| Ajoenergian hankinta | 0 | ++ |
| Infrastruktuurin rakentaminen | (+) | (+) |
| Infrastruktuurin ylläpito | 0 | ++ |

++ = paljon synergioita
 + = jonkin verran synergiaa
 0 = ei synergiaa

Taulukon perusteella voidaan todeta, että synergioita on sekä bussi- että raitioliikenteen kanssa. Synergiat bussiliikenteen kanssa liittyvät liikenteen operatiiviseen hoitoon ja henkilökuntaan, kun taas synergiat raitioliikenteen kanssa liittyvät energiaan ja infrastruktuuriin. Infrastruktuurin rakentamisessa bussiliikenteen synergiat liittyvät pysäkkeihin ja raitioliikenteen synergiat ajojohdin- ja sähkönsyöttöjärjestelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen.

Molempia synergioita voidaan pitää merkittävänä. Näiden synergioiden perusteella voidaan puoltaa ainakin oman tuotannon mallia, jossa toteutuvat synergiat vahvemmin raitioliikenteen kanssa, mutta myös kalustoyhtiö- ja liikennöitsijämalleja, joissa toteutuvat synergiat bussiliikenteen kanssa.

Toimintamallin joustavuutta on syytä tarkastella sitä kautta, kuinka erilaiset pitkän sopimuksen aikana tapahtuvat muutokset voidaan ottaa huomioon ennakolta ja toteuttaa, kun niiden aika on. Vähäiset liikenteen muutokset edellyttävät pientä joustoa, kun taas suuret volyymin muutokset, varikkoja koskevat järjestelyt, liikennekentän muutokset tai muutokset liikennetuotannon tukiprosesseissa voivat edellyttää suurta joustoa.

Kun yksityinen operaattori saa kalustoyhtiö- tai liikennöitsijämallissa urakan tiukan tarjouskilpailun jälkeen, on selvää, että katetta haetaan myös sopimuskauden varrella tulevista lisätöistä.

Tähän voidaan jossain määrin varautua tarjouspyynnössä, joko ilmoittamalla siinä lisätöihin liittyviä ehtoja tai pyytämällä ennakoon lisätöistä/lisäsuoritteista omat hinnat tai hinnoitteluperiaatteet. On kuitenkin selvää, että kaikkia 15 vuoden aikana eteen tulevia tilanteita ei tarjouspyynnössä voida ennakoida.

Oman tuotannon mallissa kunnallisen operaattorin kanssa tilanne on periaatteessa helpompi, koska neuvotteluhaluukkuuteen voidaan vaikuttaa omistajaohjauksella ja toiminnan kirjanpito on omistajan käytössä vertailulaskelmien tekemiseen.

On todennäköistä, että pienet volyymien muutokset (max. +15 % liikenteen lisäys) ilman varikkojen lisäystä voitaneen hoitaa tarjouspyynnön ja sopimuksen mukaisin ehdoin melko mekaanisesti. Sen sijaan volyymien merkittävä kasvattaminen edellyttää neuvotteluita, joihin voi liittyä kustannusriski, ellei muutoksia ole osattu ottaa huomioon tarjouspyynnössä.

9.7 Eri organisointimallien mahdollisia seurausvaikutuksia

Oman tuotannon mallissa sekä liikennöitsijämallissa kilpailu operoinnista on vähäistä; edellisessä sitä ei ole ollenkaan ja jälkimmäisessä kilpailuttaminen tapahtuu harvoin, noin 15 vuoden välein. Harva kilpailuttamisfrekvenssi vahvistaa ensimmäisen tarjouskilpailun voittajan asemaa seuraavissa kilpailuissa ja hankaloittaa vastaavasti markkinoille pyrkivien uusien toimijoiden mahdollisuuksia, koska toiminnan erikoisosaaminen on keskittynyt vain yhdelle operaattorille. Kalustoyhtiömallissa kilpailuttaminen voi tapahtua useammin ja jos varikoita on useampia, voidaan liikennettä kilpailuttaa muutaman vuoden välein, jolloin voidaan puhua aidoista markkinoista.

Kilpailuttaminen antaa markkinahinnan liikennöinnille kalustoyhtiö- ja liikennöitsijämalleissa, mutta oman tuotannon mallissa liikenteen hinta määräytyy neuvottelemalla. Näin voidaan arvioida, että oman tuotannon mallissa saattaa esiintyä muita malleja enemmän operatiivista tehottomuutta. Toisaalta oman tuotannon mallissa kustannusten muodostumista voidaan seurata yksityiskohtaisesti kirjanpidon kautta.

Kaluston kuntoon organisaatiomallilla ei ole välttämättä suoraan vaikutusta. 10–15-vuotiaille autoille tehtävä peruskorjaus voidaan määritellä ja edellyttää sopimuksissa kaikissa tapauksissa. Voidaan kuitenkin olettaa, että kaluston itse omistavalla operaattorilla oman tuotannon mallissa on suurempi intressi pitää hyvää huolta ajokalustosta, kuin vuokrakalustolla ajavilla yksityisillä operaattoreilla kalustoyhtiömallissa. On myös todennäköistä, että tiukassa taloudellisessa asemassa olevalla operaattorilla, jonka saama korvaus on määräytynyt markkinoilla, on vähemmän resursseja osoittaa kaluston kunnossapitoon kuin sellaisella operaattorilla, jonka hinta on määräytynyt neuvottelemalla.

Resurssien optimaalinen kohdentaminen operoinnin, ajokaluston ja väyläinfrastruktuurin suhteen edellyttää, että päätöksentekijöillä on näiden tilasta riittävä tieto. Tämä voi toteutua käytännössä vain, jos liikenteen operointi ja väyläinfrastruktuurin kunnossapito ovat saman organisaation ja johdon vastuulla. Tältä kannalta katsoen oman tuotannon malli on tarkoituksenmukainen.

Kuljettajien rekrytointi saattaa oman tuotannon mallissa osoittautua hankalaksi, jos peruspalkkojen ero kunnallisen ja yksityisen TES:n välillä on suuri yksityisen sektorin hyväksi. Toisaalta HKL:n raitioliikenteen vahva brändi dieselbussiliikenteeseen verrattuna viittaa selvästi myös johdinautoliikenteen mahdollisuuteen rekrytoida kuljettajia helpommin kuin dieselbussiliikenteessä.

Liikennöintimuutosten tekeminen ja toiminnan laajentaminen on helpompaa toteuttaa oman tuotannon mallissa kuin muissa malleissa. Muutoksiin on kuitenkin mahdollista varautua myös kilpailuteuissa järjestelmissä, kunhan tarjouspyyntöön ja sopimukseen sisällytetään muutoksia koskevia kohtia riittävän kattavasti.

10 Ympäristönäkökohdat

Ympäristönäkökohdat ovat keskeinen peruste sähkökäyttöisen joukkoliikenteen lisäämiselle kaupunkiliikenteessä. Tähän lukuun on koottu johdinauto-, raitiotie- ja bussiliikenteen ympäristövaikutuksia koskevia tietoja, joita on käytetty luvun 11 vaikutusarvioinnissa.

10.1 Johdinauton ympäristöhyödyt

Johdinauton sähkökäyttöisyyden ansiosta sen ympäristövaikutukset ovat muihin katuverkossa kulkeviin joukkoliikennemuotoihin (dieselbussi, hybridibussi ja raitiovaunu) verrattuna pienemmät. Tämä johtuu täydestä sähkökäyttöisyydestä ja kiskottomuudesta. Sähkökäyttöisyyden takia johdinautosta ei lähde moottoriääniä ja se on lähipäästötön kuten raitiovaunu. Raitiovaunuun verrattuna johdinautosta puuttuvat kiskot ja niistä aiheutuvat runkoäänet. Rengasmelu nousee hallitsemammaksi tekijäksi vasta suuremmilla nopeuksilla, joita kaupunkiliikenteessä ei juurikaan saavuteta. Rengasmelua syntyy niin ikään mukulakivikaduilla, joita esiintyy vanhojen kaupunkien keskustoissa. Kantakaupungin mukulakivikaduilla raitiovaunut saattavat olla siten suorilla osuuksilla johdinautoa meluttomampia. Tiukoissa kaarteissa raitiovaunusta syntyy johdinautoa enemmän melua.

10.2 Päästöt ja niiden kehitys

Jokainen liikennemuoto kävelyä ja pyöräilyä lukuun ottamatta tuottaa päästöjä. Tämän hetkiset päästömäärät eri kulkumuodoille on tiedossa, mutta tulevaisuuden arvoihin vaikuttaa tekniikan kehittyminen eri aloilla ja energian hankintaan liittyvät valinnat. Seuraavissa luvuissa esitetty päästöarvojen kehitys on tehty parhaimman saatavilla olevan tietämyksen perusteella.

10.2.1 Sähkökäyttöinen liikenne

Sähkökäyttöinen joukkoliikenne, kuten johdinautot, mahdollistaa käytetyn energian alkuperän vaihtamisen ja valitsemisen suhteellisen helposti. Tällä hetkellä HKL ostaa käyttämänsä metro- ja raitiotieliikenteen sähkön Helsingin Energialta, joka taas ostaa sähkönsä pohjoismaisesta sähköpörssistä. Helsingin Energian myymän sähkön hiilidioksidipäästöt vuonna 2009 olivat 126 g / kWh. VR puolestaan ostaa lähijunaliikenteen sähkön päästöttömiltä tuottajilta, mm. vesivoimana.

Sähköenergian hiilidioksidipäästöjen määrä riippuu voimakkaasti siitä, mikä sähkön tuotantomuoto on käytössä. Taulukossa 31 on vertailtu johdinautovaihtoehtoa A (ks. luku 3.3) vastaavaan vaihtoehtojärjestelmään, jossa liikenne toteutetaan dieselbussein ja raitiovaunuin.

Seuraavassa laskelmassa oletaan Helsingin joukkoliikenteessä käytettävän sähkön tuotannon hiilidioksiditaseen olevan vuosina 2014-2025 75 g/kWh. Laskelmissa on myös oletettu, että vuodesta 2025 fossiilisilla polttoaineilla tuotettavan energian osuus Suomessa myytävästä sähköstä on pudonnut marginaaliseksi ja ne vähätkin voimalaitokset jotka ovat käytössä, on varustettu esim. hiilidioksidin talteenotolla. Lisäksi joukkoliikenne voi joka tapauksessa siirtyä ostamaan ainoastaan päästöttömästi tuotettua sähköä, kuten junaliikenteessä toimitaan jo tällä hetkellä.

Jos oletetaan, että dieselbussiliikenne kehittyy voimakkaasti mm. hybridisoinnin myötä ja polttoaineena käytetään biopolttoaineita, pienenee johdinauton CO₂-päästöjen merkitys. Kappaleen 10.2.2 taulukossa 35 on esitetty tarkemmin arvio polttomoottoribussien päästöjen kehityksestä ja selitys siitä miten niihin on päädytty. Taulukkoon 31 on koottu arvio siitä, minkä suuruisia CO₂-päästöjen

alenemia voidaan olettaa saatavan johdinautojärjestelmään siirtymisellä ja dieselbussijärjestelmän kehittämisellä.

Laskelmassa on oletettu, että dieselbussit alkavat käyttää vuodesta 2016 alkaen jäterasvoista tehtyä biodieseliä, jonka CO₂-tase on 80 % raakaöljypohjaista biodieseliä pienempi. Vuonna 2016 puolet käytetystä polttoaineesta on biodieseliä ja vuonna 2020 kaikki käytetty polttoaine on biodieseliä. Johdinautoille oletetaan, että hankittavan sähkön CO₂-tase on vuoteen 2025 saakka 75 g/kWh ja siitä eteenpäin 0.

Laskelmissa johdinauton energiankulutus on 2,5 kWh/km ja raitiovaunuliikenteen 5,07 kWh/km (HKL ympäristöraportti 2009).

Taulukko 31. Johdinautojärjestelmän A ja vaihtoehtoisen dieselbussijärjestelmän (0-vaihtoehto) tuottamat CO₂-päästöt. Vuodet kuvaavat johdinautojärjestelmän eri laajennusvaihteita. Dieselbussien CO₂-päästöt sisältävät biopolttoaineen tuoman päästöaleneman.

| Vuosi | 2014 | 2016 | 2020 | 2025 | 2035 |
|--|------|------|------|------|------|
| Dieselbussi CO ₂ -päästöt [g/km] | 1197 | 684 | 222 | 205 | 154 |
| Sähköntuotannon CO ₂ -tase [g/kWh] | 75 | 75 | 75 | 0 | 0 |
| 0-va. Diesel CO ₂ -päästö [t/a] | 8653 | 5308 | 2293 | 1338 | 1004 |
| A-va. Johdinauto CO ₂ -päästö [t/a] | 8653 | 4558 | 1983 | 266 | 199 |

Taulukossa on huomioitava, että myös johdinautovaihtoehto sisältää jonkin verran raitiovaunu- ja dieselbussiliikennettä (ks. luku 3.3). Bussiliikenteen takia A-vaihtoehdossa muodostuu myös CO₂-päästöjä.

Biopolttoaineisiin ja hiilidioksidivapaaseen sähköntuotantoon siirtyminen pienentävät A-johdinautovaihtoehdossa CO₂-päästöjä 98% vuoteen 2035 mennessä. Dieselbussivaihtoehdossa biopolttoaineilla ja hiilidioksidivapaalla sähköntuotannolla saadaan vastaavasti 88 % päästöalenema.

Jos A-vaihtoehdon johdinautovaihtoehdon liikennesuoritteita (ks. luku 3.3) verrataan nykyisellä dieselbussikalustolla tehtävään liikenteeseen ja oletetaan sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöiksi 75 g/kWh, saavutetaan vuosittain noin 5500 tonnin säästö CO₂-päästöissä. Jos sähkön tuotanto oletetaan hiilidioksidivapaaksi, vastaava vuosittainen säästö on noin 7000 tonnia. Keskieurooppalaisissa kaupungeissa (esim. Salzburg) tehdyissä laskelmissa on päädytty vastaavan suuruisin lukuihin. Vertailun vuoksi todettakoon, että vuonna 2009 Helsingin joukkoliikenteen (bussi, raitiovaunu ja metro) hiilidioksidipäästöt olivat 45 600 tonnia (ei sisällä varikkoja eikä metroasemien lämmitystä).

10.2.2 Diesel- ja hybridibussit

HSL:n alueen liikenteessä kaikki bussit ovat joko diesel- tai maakaasubusseja. Dieselbussien rinnalle on tulossa hybridibusseja. HSL:n tavoitteena on, että vuoden 2012 jälkeen liikenteeseen tulevat bussit ovat hybridejä. Tällä tulee olemaan vaikutusta bussien päästöihin. HSL suunnittelee myös biopolttoaineiden käyttöönottoa koko bussiliikenteessä. Ympäristölaskelmissa on huomioitu biopolttoaineiden käytöllä saatavat ympäristöhyödyt.

Busseille on olemassa euronormit, jotka asettavat rajoituksia typpi- ja pienhiukkaspäästöille. Hiilidioksidille ei ole asetettu rajoituksia. Normit on esitetty taulukossa 32.

Taulukko 32. Bussien päästönormit.

| | N0x | PM | Voimaan |
|---------------|------------|-----------|----------------|
| Euro 4 | 3,5 | 0,03 | 10/2005 |
| Euro 5 | 2 | 0,03 | 10/2008 |
| EEV | 2 | 0,02 | vapaaehtoinen |
| Euro 6 | 0,4 | 0,01 | 01/2013 |

Vuonna 2008 Helsingin sisäisessä liikenteessä ajossa olleista noin 500 bussista noin 350 oli alempia kuin Euro 4 -luokan busseja. Bussikanta uusiutuu vähitellen.

VTT on tehnyt mm. Rastu (2006–2008) ja TransEco -projekteissaan (2009–) Braunschweig-syklin mukaiset polttoaine- ja päästömittaukset. Tyypilliset arvot eri päästöluokissa (g/km) ovat alla olevan taulukon mukaiset.

Taulukko 33. Braunschweig-syklin mukaiset polttoaine- ja päästömittaukset.

| Euronormit (g/km) | N0x | PM | CO2 |
|--------------------------|------------|-----------|------------|
| EURO 4 | 8,35 | 0,112 | 1194 |
| EEV | 5,85 | 0,062 | 1116 |
| EURO 6 * | 1,20 | 0,030 | 1150 |
| HYBRIDI 1 * | 0,85 | 0,015 | 800 |
| HYBRIDI 2 * | 0,66 | 0,010 | 630 |
| HYBRIDI 3 * | 0,52 | 0,008 | 500 |
| MAAKAASU | 3,18 | 0,007 | 1275 |

Euro 6 ja hybridien arviot (*) perustuvat kansainvälisen energiajärjestön (IEA) ja autonvalmistajien arvioon hybridibussien päästöistä.

Biopolttoaineiden käytöllä saavutetaan VTT:n tekemien kokeiden mukaan 10% alenema typenoksidipäästöissä (NOx) ja 30% alenema pienhiukkaspäästöissä (PM). Jätterasvoista (esim. eläinrasvoista) tehdyn biopolttoaineen käytöstä lasketaan 80% alenema hiilidioksidipäästöissä. Vuonna 2016 puolet Helsingin bussiliikenteessä käytetystä polttoaineesta (diesel ja maakaasu) on laskelmissa korvattu biopolttoaineilla. Vuodesta 2020 eteenpäin kaikki käytetty polttoaine on korvattu biopolttoaineilla. Tällöin biopolttoaineiden tuoma päästövähennys on taulukon 34 mukainen.

Taulukko 34. Biopolttoaineen käytön tuoma päästöarvojen pienennys polttomoottoreissa.

| | N0x | PM | CO2 |
|-----------------------------|------------|-----------|------------|
| MAAKAASU 2011 - 2015 | 0 % | 0 % | 0 % |
| MAAKAASU 2016 - 2019 | 0 % | 0 % | -40 % |
| MAAKAASU 2020 - | 0 % | 0 % | -80 % |
| DIESEL 2011-2015 | 0 % | 0 % | 0 % |
| DIESEL 2016 - 2019 | -5 % | -15 % | -40 % |
| DIESEL 2020 - | -10 % | -30 % | -80 % |

Taulukossa 35 on esitetty arvio eri bussimuotojen osuudesta Helsingin joukkoliikenteessä. Maakaasubussien osuuden oletetaan pysyvän liikenteessä vakiona ja kehittyneempien polttomoottoreiden sekä hybriditeknikan yleistyvän vähitellen.

Taulukko 35. Eri bussimuotojen osuus liikenteestä (%).

| | 2016 | 2020 | 2025 | 2035 | 2050 |
|------------------|------|------|------|------|------|
| EURO 4 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| EEV | 45 | 25 | 10 | 0 | 0 |
| EURO 6 | 25 | 40 | 35 | 0 | 0 |
| HYBRIDI 1 | 5 | 15 | 40 | 25 | 10 |
| HYBRIDI 2 | 0 | 0 | 0 | 60 | 45 |
| HYBRIDI 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| MAAKAASU | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

Alla olevaan taulukkoon 36 on koottu bussien, raitiovaunujen ja johdinautojen päästöarviokehitys vuoteen 2035 asti. Laskemassa on huomioitu biopolttoaineiden käytöstä saatava hiilidioksidipäästön pieneneminen. Taulukossa on huomioitu dieselbussien päästöjen ja energiatehokkuuden paraneminen vuoteen 2035 mennessä, mutta ei johdinautojen ja raitiovaunujen energiankäytön tehostumista. Johdinauton ja raitiovaunun CO₂, NO_x- ja PM-päästöt on laskettu Helsingin Energian 2009 ympäristöraportin arvojen perusteella.

Taulukko 36. Päästöarvojen kehitys.

| g/km | 2016 | | | 2020 | | | 2025 | | | 2035 | | |
|-----------------------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|
| | Bussi | R-vaunu | J-auto | Bussi* | R-vaunu | J-auto | Bussi | R-vaunu | J-auto | Bussi | R-vaunu | J-auto |
| NO_x | 4,69 | 0,95 | 0,48 | 2,72 | 0,95 | 0,48 | 1,69 | 0 | 0 | 0,96 | 0 | 0 |
| PM | 0,045 | 0,025 | 0,013 | 0,026 | 0,025 | 0,013 | 0,017 | 0 | 0 | 0,007 | 0 | 0 |
| CO₂ | 684 | 522 | 258 | 222 | 522 | 258 | 205 | 0 | 0 | 153 | 0 | 0 |

Päästöjen aiheuttamien kustannusten laskemiseen on EU vuonna 2009 laatinut direktiivin puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä. Direktiivi antaa ohjeet tieliikenteen päästöjen yksikköarvoille. HSL soveltaa direktiivin yksikkökustannuksia huomioiden sen, että taajama-alueella typenoksidi (NO_x) ja pienhiukkaspäästöt (PM) lasketaan direktiiviin nähden kaksinkertaisena.

Alla olevassa taulukossa 37 on esitetty tässä raportissa käytetyt päästöjen yksikkökustannukset ja vastaavat direktiivin yksikkökustannukset. Taulukossa on esitetty 38 päästöistä tarkastelujaksolla aiheutuvat kustannukset.

Taulukko 37. Päästöjen yksikkökustannukset

| Päästö | HSL (€/t) | Direktiivi (€/t) |
|-----------------------|-----------|------------------|
| NO_x | 8 800 | 4 400 |
| PM | 174 000 | 87 000 |
| CO₂ | 30 | 30-40 |

Kun verrataan 0-vaihtoehtoa ja A-johdinautovaihtoehtoa, vuosien 2014–2054 aikana nykyarvoon muutettuna säästöjä päästövähentymisistä syntyy alla olevan taulukon mukaisesti. Päästöjen kustannuksissa on käytetty 5% laskentakorkoa, joka pienentää kaukana tulevaisuudessa saatavien säästöjen nykyarvoa.

Taulukko 38. Päästöistä syntyvät säästöt tarkastelujaksolla 2014–2054.

| Päästö | Kustannussäästö (€) |
|-----------------|---------------------|
| NO _x | 1 060 000 |
| PM | 170 000 |
| CO ₂ | 310 000 |

Päästökustannuksissa myös sähköntuotannon päästöt on laskettu taajama-arvoina. Usein taajama-alueellakin sijaitsevan sähköntuotannon päästöt lasketaan haja-asutusalueen haitta-arvojen mukaan, sillä voimalaitosten korkeat piiput siirtävät päästöjä pois taajama-alueelta. Tällä olettamuksella taulukon 38 NO_x ja PM päästöjen kustannussäästöt olisivat lähes kaksinkertaiset.

Jos biopolttoaineiden vaikutusta ei huomioida CO₂-päästöissä, on CO₂-kustannussäästö n. 1,9 milj. €.

10.2.3 Melu

Melulla on todettu olevan negatiivinen vaikutus ihmisten terveyteen. Sitä pidetään kansainvälisesti-kin merkittävänä ympäristö- ja terveysongelmana sekä viihtyisyyshaittana. Melusta on arvioitu aiheutuvan mittavia 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/

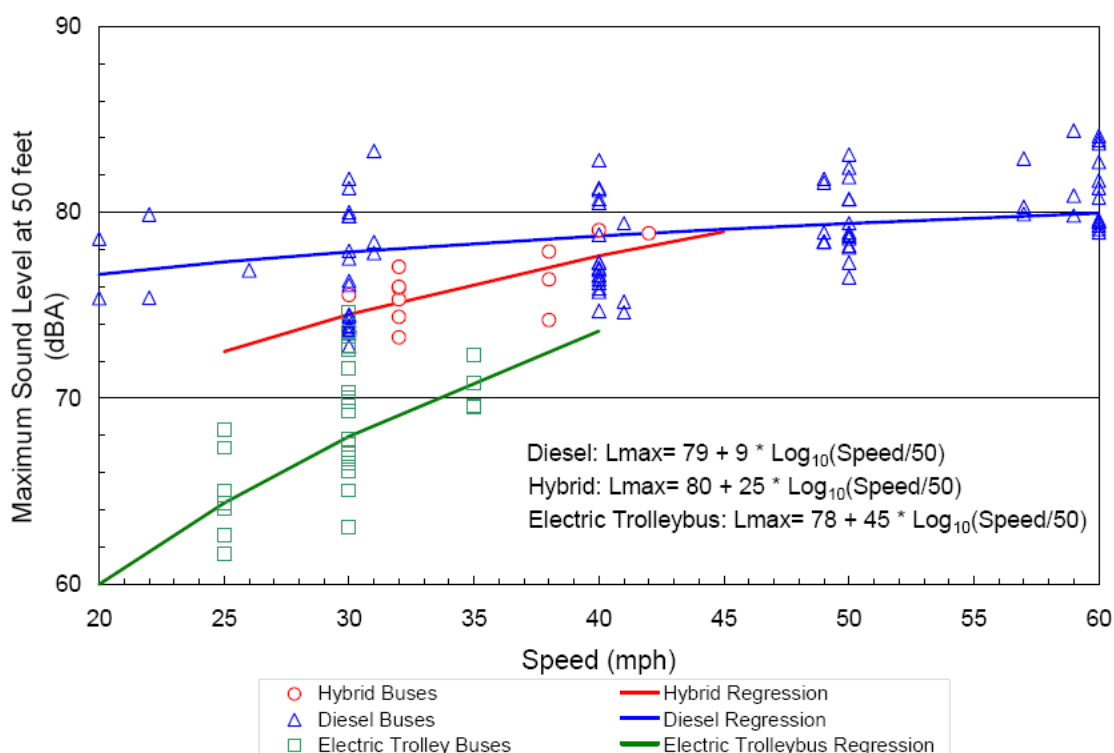
Helsinki on Suomen vilkasliikenteistä ja tiheimmin asuttua aluetta, joten meluhaitat ovat Helsingissä todellisia. Helsingin kaupunki julkaisi vuonna 2007 meluselvityksen (Lahti ym.) ja vuonna 2008 sen perusteella tehdyn meluntorjunnan toimintasuunnitelman (Niskanen ym.). Meluselvityksen mukaan raitiotien meluvyöhykkeellä, jossa vuorokausimelu ylittää 55 dB, asuu Helsingissä 43 500 kaupunkilaista ja tieliikenteen (kadut ja maantiet) vuorokausimelun vyöhykkeellä 237 500 kaupunkilaista. Alla olevassa taulukossa on esitetty liikenteen vuorokausimelusta kärsivät meluvyöhykkeittäin.

Taulukko 39. Liikenteen melusta kärsivät helsinkiläiset meluvyöhykkeittäin.

| dB | Tieliikenne | Raitieliikenne | Rautatieliikenne | Metroliiikenne |
|----------|-------------|----------------|------------------|----------------|
| 55-65 | 175 900 | 30 300 | 13 900 | 8 700 |
| 65-70 | 46 600 | 13 100 | 2 600 | 900 |
| 70- | 15 000 | - | 200 | - |
| yhteensä | 237500 | 43400 | 16700 | 9600 |

Melun vähentäminen tieliikenteessä on vaikeaa. Toimintasuunnitelman mukaan liikennemelun vähentäminen yhdellä dB:llä liikennemäärällisin keinoin vaatii 20 %:n vähenemää liikennemäärässä. Toimintasuunnitelmassa todetaan, että raskas liikenne on merkittävässä asemassa liikennemelun tuottamisessa. Mikäli raskaan liikenteen osuus tieosalla kasvaa viidestä prosentista kymmeneen prosenttiin, nostaa se liikennemelua noin yhden desibelin. Joukkoliikenteellä on siis merkitystä erityisesti asuinkatujen melun aiheuttajana. HKL on kiinnittänyt huomioita bussien meluun. HKL:n vuoden 2009 ympäristöraportin mukaan uusien bussien ulkomelutaso on 75–77 dB, kun suurin sallittu melutaso on 80 dB.

Johdinauto on sähkökäyttöisyytensä ansiosta dieselbussia hiljaisempi. Dieselbussin, hybridibussin ja johdinauton melueroja on tutkittu Kanadassa. Nevadan melukonferenssissa 2007 julkistetun melututkimuksen (Ross and Staiano 2007) mukaan johdinauto on 30 mailia tunnissa (noin 48 km/h) ajettaessa noin 10 dB hiljaisempi kuin dieselbussi. Kun nopeus pudotetaan 20 mailiin tunnissa (noin 32 km/h), johdinauto on dieselbussia noin 16 desibeliä hiljaisempi. Mitä suuremmaksi ajoneuvojen nopeus nousee, sitä merkityksellisemmäksi tulee rengasmelu, jolloin erot eri moottoritekniikoiden välillä kapenevat. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että johdinauto on dieselbussia merkittävästi hiljaisempi ja erot tulevat esiin selvimmin hidastahtisessa kaupunkiliikenteessä. Seuraavassa kuvassa on esitetty tutkimuksen mittaustulokset.



Kuva 29. Dieselbussin, hybridin ja johdinauton ohiajomelun vertailutulokset.
[http://staianoengineering.com/images/NC07_Ross_Staiano - A comparison of green and conv.pdf](http://staianoengineering.com/images/NC07_Ross_Staiano_-_A_comparison_of_green_and_conv.pdf)

Tutkimuksessa käytetty kalusto oli mahdollisimman homogeenistä. Dieselbussissa kalustona käytettiin MCI:tä and Neoplanin 4000 -sarjan kalustoa ja hybridibussi oli Irisbusin Civis-sarjan bussi. Johdinauto oli MBTA:n bussi.

10.2.4 Melun arvottaminen

Koska melun häiritsevyys on hyvin yksilöllistä, on sen arvottaminen hyvin vaikeaa. Tiehallinto on kuitenkin määrittänyt melulle vuonna 2005 yksikköarvot, jotka on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 40. Tieliikenteen meluhaitan yksikköarvot /12/.

| Melutaso (dB(A)) | Häiriötä kokevien asukkaiden osuus (%) | Yksikköarvo € /melun häiriönä kokeva asukas/vuosi |
|---------------------|---|--|
| 55-65 | 33 | 1 010 |
| 65-70 | 50 | 1 010 |
| 70- | 100 | 1 010 |

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

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

D= meluhaitan yksikköarvo, AS = asukkaiden lukumäärä.

On vaikea arvioida, kuinka paljon johdinautot vähentävät melua kokonaisuudessaan, mutta suurin vaikutus niillä on alueilla, joilla kulkee vähän muuta raskasta liikennettä. Ydinkeskustan liikennemelu johdinautojen ei voi työssä käytetyllä automäärällä olettaa vähentävän merkittävästi, mutta erityisesti linjastojen hännillä meluvähennyksen on oletettu olevan merkityksellinen. Linjaston koon kasvun mukaan on arvioitu myös hiljaisemmasta liikenneympäristöstä nauttivien määrän kasvavan. Linjaston A- on oletettu vähentävän melua 298 ihmisen osalta, linjaston A yhteensä 348 ihmisen osalta.

Taulukko 41. Arvioidut melusta kärsivien lukumäärien vähenemät.

| dB | 2016 | 2020 | 2025 |
|----------|------|------|------|
| 55-65 | 298 | 348 | 348 |
| 65-70 | - | - | - |
| 70- | - | - | - |
| Yhteensä | 298 | 348 | 348 |

Melusta kärsivien ihmisten vähenemä perustuu arvioihin. Vuoden 2016 arvio pohjautuu laskelmaan raitiolinja 1 liikenteen lopettamisesta ja dieselbussiliikenteen loppumisesta tai vähenemisestä linjojen 14 ja 18 hännillä.

Meluselvityksen mukaan 30 300 helsinkiläistä kärsii raitiotien melusta 55–65 dB. Helsingissä HKL:n mukaan raitioliikenteen rataverkon pituus on yhteensä 112,3 km, josta linjarataa on 91,3 km. Koko rataverkko huomioiden voidaan todeta, että keskimäärin 270 ihmistä kärsii raitiotien melusta kilometrillä. Raitiolinjalla 1 on pelkästään ns. omaa raitiotietä noin kolmen kilometrin osuudella, josta Pohjolankadun osuus on arvioitu ainoaksi, jolla raitiolinjan poistamisella on vaikutusta asukkaiden kokemaan meluun. Seutu CD:n mukaan Pohjolankadulla 2–41 asuu 264 asukasta. Linjan kääntöpaikan kohdalla ainoaksi melusta kärsiväksi asuintaloksi on katsottu Käpylänkatu 10–14, jossa asuu 66 asukasta. Koska melun kulkeutumiseen rakennuksen sisään vaikuttaa moni asia, kuten talon etäisyys tiestä, ikkunoiden tiiveys, talon rakennustapa jne. eivät kaikki raitiotien varrella asuvista kärsi melusta. Tästä johtuen on tehty seuraavat oletukset: Pohjolankadulla puolet asukkaista (132 asukasta) ja Käpylänkatu 10–14 asukkaista 25 % (16 asukasta) kärsii melusta. Yhteensä melusta

kärsiviksi on siis katsottu 148 asukasta tällä reilun puolen kilometrin matkalla. Saatu luku vastaa suuruusluokaltaan yllä esitettyä keskimääräistä raitiotien melusta kärsivien ihmisten lukumäärää.

Linjastossa A- muutetaan myös dieselbussilinjastoja johdinautolinjastoiksi. Tämän on oletettu vähentävän melua 150 ihmiseltä, erityisesti linjan 18 kääntöpaikalla ja hieman Ulvilantiellä ja Pajamäessä sekä Oulunkylässä. Vähennemä on suhteellisesti pienempi kuin raitiolinjalla, koska linjojen hännät, joissa muu bussi- ja raskasliikenne on vähäistä, ovat lyhyet eikä näiden linjojen muuttaminen johdinautolinjoiksi poista dieselbussiliikennettä kokonaan näiltä kaduilta. Verrattuna aiemmin esitettyyn taulukkoon liikennemelusta kärsivistä helsinkiläisistä, ovat arvioidut muutokset prosentuaalisesti todella vähäisiä, kuten alla olevat taulukot osoittavat.

Taulukko 42. Raitiolinjan 1 poistamisen vaikutus raitiomelusta kärsivien osuuteen.

| dB | Raitioliikenne | Oletettu vähennemä 2016 | Vähennemän osuus melusta kärsivistä |
|----------|----------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 55-65 | 30 300 | 148 | 0,0049 |
| 65-70 | 13 100 | - | - |
| 70- | - | - | - |
| Yhteensä | 43 400 | 148 | 0,0049 |

Taulukko 43. Johdinautolinjaston A- vaikutus melusta kärsiviin.

| dB | Tieliikenne | Oletettu vähennemä 2016 | Vähennemän osuus melusta kärsivistä |
|----------|-------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 55-65 | 175 900 | 100 | 0,0006 |
| 65-70 | 46 600 | 50 | 0,0011 |
| 70- | 15 000 | - | - |
| Yhteensä | 237 500 | 150 | 0,0016 |

Näinkin pienet prosentuaaliset vähennemät tuovat silti selvästi havaittavia taloudellisia säästöjä, kun vähennemän määrä lasketaan edellä mainitulla arvottamismenetelmällä. Alla olevasta taulukosta on havaittavissa, että jo melun väheneminen 298 ihmiselle vähentää melun aiheuttamia kustannuksia noin 99 300 euroa vuodessa.

Vuoden 2020 melusta kärsivien vähennemän kasvun on oletettu johtuvan lähinnä nykyisten diesellinjojen hännillä asuvista henkilöistä, joita on arvioitu olevan 50 henkeä. Hernesaareissa suunnitellun liikennöinnin muuttamisen kokonaan johdinautoliikenteeksi ei ole arvioitu vaikuttavan asukkaiden melutasoon, sillä uudet rakennukset estävät melun kulkeutumisen rakennuksen sisään vanhaa rakennuskantaa huomattavasti tehokkaammin ja uudet raitiotiet hyvällä suunnittelulla ja rakentamisella on mahdollista saada huomattavasti nykyistä keskiarvoa meluttomammiksi.

Melusta kärsivien määrän väheneminen perustuu arvioihin. Tehdyt arviot ovat maltillisia, joten niiden perusteella tehtyjä kustannussäästöjä voidaan pitää suhteellisen luotettavina. Alla olevassa taulukossa on esitetty melun vähenemisestä syntyvät säästöt vuositasolla ja säästöjen muuttuminen linjaston kasvaessa.

Taulukko 44. Melun vähenemisestä syntyvät vuosittaiset säästöt.

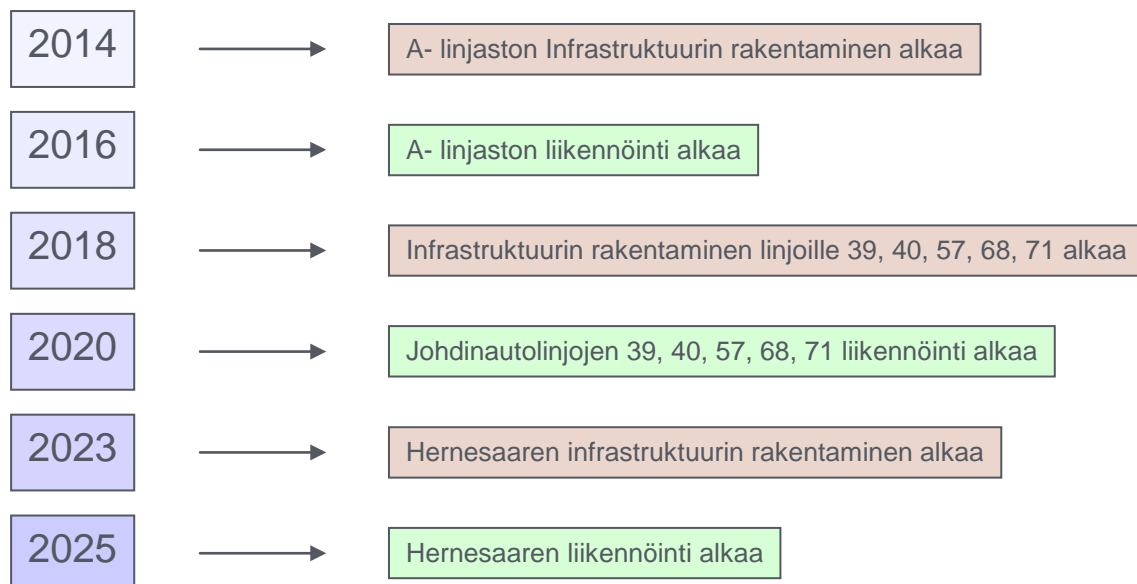
| Vuosi | 2016 | 2020 | 2025 |
|---------|--------|---------|---------|
| euroa/a | 99 300 | 116 000 | 116 000 |

11 Vaikutusarviointi

11.1 Vaikutusarviointi ja ajoitus

Vaikutusarviointi on tehty Liikenne- ja viestintäministeriön Joukkoliikenteen vaikutusten arvioinnin yleisohjeen perusteella (LVM 50/2007). Ohje tarkentaa väylähankkeiden arvioinnin yleisohjetta (LVM 34/2003). Tehdyn johdinautolinjaston arvioinnin vertailuvaihtoehtona on käytetty nykyistä linjastoa.

Arvioinnissa investoinnit ja liikenteen aloittaminen on porrastettu alla olevan kaavion mukaisesti. Investointien rakentamisajaksi on laskettu aina kaksi vuotta, jolloin investointikustannukset on jaettu tasan kahdelle liikenteen aloittamista edeltävälle vuodelle. Johdinautoliikenteen on laskettu alkavan vuonna 2016 linjastona A- ja laajenevan vuonna 2020. Linjasto A täydentyy vuonna 2025 Hernesaaren alueella. Vertailulinjastossa (0+) Hernesaari liikennöidään raitiovaunuilla. Muuten johdinautojärjestelmää verrataan dieselbusseihin.



Kuva 30. Linjaston laajenemis- ja investointien aikataulu

Yhtali-laskelma on tehty vuoden 2055 alkuun asti, mutta linjasto-, päästö- ja melumuutoksien on oletettu pysyvän samoina vuodesta 2035 eteenpäin, koska luotettavien ennusteiden tekeminen tämän jälkeen ei ole mahdollista. Yli 20 vuoden päässä olevien vaikutusten merkitys Yhtali-laskelmassa on lisäksi vähäinen, sillä kaukana tulevaisuudessa olevien vaikutusten nykyarvoa pienentää 5 %:n vuotuinen korkotekijä.

Alla esitetyn vertailun lisäksi tehtiin lisälaskelmia dieselbussiliikenteen nopeasta hybridisoinnista heti vuodesta 2016 alkaen. Nämä laskelmat on esitetty liitteessä 4.

11.2 Linjasto

Alla olevaan taulukkoon on koottu liikennöintikustannukset ja ajoneuvokilometrit vuodesta 2014 alkaen. Vuoden 2014 0-linjasto on nykyinen linjasto sillä muutoksella, että linja 65 on katkaistu Rau-

tatientorille. Vaihtoehtoon A mukainen linjasto ei toteudu vielä täysin vuonna 2020, sillä Hernesaaren rakentamisen yhteydessä linjaa 14B liikennöidään vuoteen 2025 asti yhä dieselbusseilla.

Taulukko 45. Linjastokilometrit ja kustannukset vuosina 2014–2035 vertailuvaihtoehtossa 0+ ja johdinautovaihtoehtoon A kehittyessä. Taulukossa on esitetty vain luvussa 3 tarkastellut linjastot. Taulukosta ei siten voida laskea seudun liikenteen absoluuttisia tietoja. Taulukko palvelee eri vaihtoehtojen absoluuttisia muutoksia.

| Linjaston aloitusvuosi | | 2014- | 2016- | 2020- | 2025- | 2035- |
|---|----------------|------------|------------|----------------------|------------|------------|
| Kuvaus | | 0 | A- | A (ei Hernesaari) | A2 | A3 |
| Liikennöintikustannukset milj. eur/vuosi | 0+ | 39 930 000 | 40 052 000 | 40 173 000 | 40 212 000 | 40 212 000 |
| | A | 39 930 000 | 40 334 000 | 38 770 000 | 38 855 000 | 38 855 000 |
| Liikennöintikustannukset milj. eur/vuosi | 0+, ratikka | 17 943 000 | 17 943 000 | 17 943 000 | 18 617 000 | 18 617 000 |
| | 0+, bussi | 21 987 000 | 22 109 000 | 22 230 000 | 21 595 000 | 21 595 000 |
| | 0+, johdinauto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A, ratikka | 17 943 000 | 17 943 000 | 16 850 000 | 16 850 000 | 16 850 000 |
| | A, bussi | 21 987 000 | 16 537 000 | 6 404 000 | 5 379 000 | 5 379 000 |
| | A, johdinauto | 0 | 5 854 000 | 15 516 000 | 16 626 000 | 16 626 000 |
| | A, yhteensä | 39 930 000 | 40 334 000 | 38 770 000 | 38 855 000 | 38 855 000 |
| Ajoneuvokilometrit km/vuosi | 0+, ratikka | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 442 000 | 2 442 000 |
| | 0+, bussi | 6 956 000 | 6 956 000 | 6 956 000 | 6 753 000 | 6 753 000 |
| | 0+, johdinauto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A, ratikka | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 240 000 | 2 240 000 | 2 240 000 |
| | A, bussi | 6 956 000 | 5 415 000 | 2 097 000 | 1 728 000 | 1 728 000 |
| | A, johdinauto | 0 | 1 419 000 | 4 138 000 | 4 437 000 | 4 437 000 |

Erityisenä tarkasteluna tehtiin laskelma siitä, missä suhteessa nykyistä bussiliikennettä ja raitioliikennettä tulisi korvata johdinautoliikenteellä, jotta muutoksen vaikutus olisi kustannusneutraali. Vertailtavana tekijänä on käytetty matkustajapaikkakilometrin (mpkm) hintaa, joka on nivel-dieselbussilla 4,55 snt, niveljohdinautolla 4,82 snt ja raitiovaunulla 7,64 snt/mpk. Tällöin nivelbussin matkustajapaikkamäärä on oletettu 84 mp:ksi ja raitiovaunun keskimäärin 93 mp:ksi vuoden 2008 toteutuneen raitioliikenteen mukaan.

Tarkastelu osoitti, että kun korvattavasta liikenteestä noin 90 % on bussiliikennettä ja 10 % raitioliikennettä, vaikutus on liikennöintikustannusten osalta neutraali. Infrastruktuurikustannuksia ei tässä laskelmassa ole otettu huomioon.

11.3 Infrastruktuuri-investoinnit ja kunnossapitokustannukset

Johdinautolinjasto vaatii sähköinfrastruktuurin rakentamisen ja pieniä katuinfrastruktuurin muutoksia nivelkalustoon siirryttäessä. Infrastruktuurikustannusten muodostuminen on käsitelty luvussa 4. Lisäksi infrastruktuuri vaatii kunnossapitoa. Kustannukset eivät sisällä katuinfrastruktuurin kunnossapitokustannuksia.

Alla olevaan taulukkoon on koottu vaikutusarvioinnissa käytetyt kustannukset. Vaihtoehtoon 0+ infrastruktuurikustannukset eli raitiolinjojen rakentamiskustannukset ovat valmiiseen katuverkkoon 7 M€/km ja uusille katualueille 3,5 M€/km. Raitiolinjan kunnossapitokustannukset on arvioitu viisinker-

taisiksi johdinautoon verrattuna, jolloin ne ovat 12 500 €/km, kun johdinauton infrastruktuurin kunnossapitokustannukset ovat 2500 €/km.

Taulukko 46. Infrastruktuurikustannukset vuosina 2014–2025.

| Kustannus (€/a) | 2014-2015 | 2016 | 2018-2019 | 2020 | 2023-2024 | 2025 |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| Infrastruktuurin investointikustannukset 0+ | - | - | - | - | 12 300 000 | - |
| Infrastruktuurin investointikustannukset A | 15 494 000 | - | 14 223 000 | | 3 300 000 | - |
| Kunnossapitokustannus 0+ | 37 500 | 37 500 | 37 500 | 37 500 | 37 500 | 50 000 |
| Kunnossapitokustannus A | | 150 000 | 150 000 | 200 000 | 200 000 | 210 000 |

11.4 Muut investointikustannukset

Muut varikon ja kaluston vaatimat investointikustannukset on sisällytetty liikennöintikustannuksiin. Johdinautojen kaluston investointikustannukset ovat kokonaisuudessaan 50,6 M€ (75 niveljohdinautoa) ja varikon kokonaiskustannukset 5–5,5 M€.

Johdinautoille ei ole tässä vaiheessa suunniteltu omia kaistoja eikä niille näin ollen tule investointikustannuksia.

11.5 Päästöt ja melu

Päästölaskelmat on perusteltu tarkemmin kohdassa 10.2. Yhtälissä käytetyt eri joukkoliikennemuotojen päästöjen yksikköarvot (g/km) on esitetty taulukossa 37 ja näistä syntyvät rahamääräiset säästöt taulukossa 38.

Melusta kärsivien ihmisten määrä perustuu Helsingin kaupungin vuoden 2007 meluselvitykseen (Lahti ym.) ja vuonna 2008 sen perusteella tehtyyn meluntorjunnan toimintasuunnitelmaan.

Tehtyjen laskelmien perusteella on havaittavissa, että melun väheneminen 348 ihmiselle tuo vuodessa säästöä noin 116 000 euroa. Koska johdinautolinjasto kehittyy, on alla oleviin taulukoihin koottu melun vähenemisestä syntyvät säästöt vuosina 2016–2025. Tehdyt arviot ovat maltillisia ja niiden perusteella tehtyjä kustannussäästöjä voidaan pitää siten luotettavina. Melun vähenemisestä syntyvät säästöt (€/v) on esitetty kohdassa 10.2.3.

11.6 Matkustajamäärät ja matkustajien hyödyt

Eurooppalaiset kokemukset ovat osoittaneet, että johdinautojärjestelmät lisäävät jonkin verran matkustajamääriä. Kaduille rakennettavilla ajojohtimilla on joukkoliikenteen havaittavuutta ja järjestelmän jäsennettävyyttä lisäävä vaikutus. Rakennettujen johtimien vuoksi liikenteen säilymiseen on suurempi luottamus kuin pelkällä bussiliikenteellä, johon voidaan tehdä helpommin muutoksia. Kiskoliikenteen tapaan matkustajat voivat kokea, että johdinautolinjat kulkevat vain niillä kaduilla, joille johtimet on rakennettu. Satunnaiskäyttäjälle johtimet tuovat varmuutta. Lisäksi johdinautojen ympäristöystävällisyys, kulun tasaisuus ja vaimeampi ääni tuovat lisää matkustajia. Salzburgissa johdinautojärjestelmän on arvioitu lisäävän matkustajamääriä 15–20 prosenttia. Pelkän johdinautojärjestelmän vaikutusta ei voida kuitenkaan suoraan arvioida, koska johdinautolinjojen käyttöönoton kanssa on samanaikaisesti toteutettu aina linjastojärjestelyjä, tarjontaa on kasvatettu ja johdinautolinjat on brändätty runkolinjoiksi. Esimerkiksi Malmössä on dieselbussilinjasto uudistettu ja perustettu runkolinjoja. Malmössä matkustajamäärät ovat kasvaneet myös 15 prosenttia aikaisempaan tilanteeseen verrattuna. (Turun seudun joukkoliikenne 2020 -selvitys).

Yllä esitettyihin kokemuksiin perustuen osana vaikutustarkastelua laadittiin laskelma (liite 2), jossa kansainvälisten kokemusten perusteella arvioitiin johdinautojen runkolinjamaisuuden ja muutoin

korkean laadun lisäävän johdinautolinjojen matkustajamääriä 5 %:lla siten, että tästä 2 prosenttiyksikköä tulee muusta joukkoliikenteestä, 1,5 prosenttiyksikköä kevyestä liikenteestä ja 1,5 prosenttiyksikköä henkilöautoista.

Mallitarkastelut on tehty siten, että johdinautoliikenteessä nousumäärät kasvoivat viisi prosenttia nykytilanteesta. Nousumäärien lisäys tehtiin nykyisellä vuorovälillä ennen johdinautovaihtoehtoa A tarkempaa tutkimista harvennetuin vuorovälein. Johdinauton nousuvastus on siten 5,2. Mallissa raitiovaunujen ja bussi-Jokerin nousuvastus on 4,0 ja bussilinjojen 5,5.

Matkustajalisäyksen mukaiset yhteiskuntataloudelliset hyödyt muodostuivat lipputulojen lisäyksestä, tieliikenteen onnettomuuksien vähenemisestä sekä tieliikenteen päästö- ja kunnossapitokustannusten pienenemisestä. Kulutapamuutoksen kokonaisvaikutus hyötyihin on näin laskettuna 770 000 €/v. Nämä hyödyt jakautuvat eri osatekijöiden suhteen seuraavasti:

| | |
|---|-------------|
| • Lipputulojen lisäys | 450 000 €/v |
| • Onnettomuuskustannusten pieneneminen | 290 000 €/v |
| • Päästökustannusten pieneneminen | 20 000 €/v |
| • Katujen kunnossapitokustannusten pieneneminen | 10 000 €/v |

Johdinautojen liikennöinnin on arvioitu nopeutuvan 2 prosentilla, koska johdinautojen kiihtyvyys on dieselbusseja parempi. Matka-ajan lyhentyminen on otettu huomioon matkustajien hyödyissä. Hyötyjen osuus on noin 26 % kaikista nettohyödyistä. Matkanopeuksien kasvun muutos on niin pieni, ettei sitä ole otettu huomioon johdinautojen kierrosajoissa eikä siten liikennöintikustannuksessa. Vertailuvaihtoehdossa 0+ on mallissa ollut nykyisen kaltaiset vuorovälit. Johdinautojen vuorovälit ovat nykyistä pitempiä. Vuorovälin pitenemisestä aiheutuvaa mahdollista haittaa matkustajille ei ole erikseen tarkasteltu, tämän on oletettu kompensoituvan johdinauton houkuttelevuuden kautta.

11.7 Yhteiskuntataloudellinen laskelma

Tämän luvun edellisissä kohdissa esitetyt johdinautoliikenteen yhteiskuntataloudellisten hyötyjen muutokset on koottu taulukossa 47 esitettyyn Yhtali-laskelmaan.

Taulukko 47. Yhtali-laskelma

| Ero perusvaihtoehtoon nähden (M€) | Perustarkastelu | Herkkyystarkastelut | | |
|---|-----------------|-------------------------------------|--|--|
| | | Herkkyystarkastelu, diesel + 30% | Herkkyystarkastelu, trollikan hinta - 30% | Herkkyystarkastelu, ei kulkutapasiirtymä |
| Liikennepalvelujen tuottajien hyödyt | | | | |
| Liikennöintikustannusten ero | 14,9 | 20,3 | 21,3 | 14,9 |
| Lipputulojen ero | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 0,0 |
| Kunnossapitokustannusten ero | -1,9 | -1,9 | -1,9 | -2,1 |
| Matkustajien hyödyt | | | | |
| Matkakustannukset, aikasäästöt | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 |
| Muut hyödyt | | | | |
| Onnettomuuskustannukset | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0,0 |
| Ympäristökustannukset | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 4,9 |
| HYÖDYT , nykyarvo | 40,0 | 45,4 | 46,4 | 28,0 |
| Investointikustannukset | | | | |
| Joukkoliikenneinvestoinnit A-0+ | 16,2 | 16,2 | 16,2 | 16,2 |
| Rakentamisaikaiset korot A-0+ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| INVESTOINNIT | 17,2 | 17,2 | 17,2 | 17,2 |
| H/K-SUHDE | 2,3 | 2,6 | 2,7 | 1,6 |
| NETTOHYÖTYJEN NYKYARVO | 22,8 | 28,2 | 29,2 | 10,8 |

Yhtali-laskelmassa on oletettu, että biopolttoaineille annetaan niiden alhaisten CO₂-päästöjen vuoksi veroetuksia verrattuna tavalliseen dieseliin. Tämä veroetu on huomioitu liikennöintikustannuksissa. Ilman veroetua biopolttoaineilla tehtävän bussiliikenteen kustannukset olisivat esitettyä suuremmat.

Yhtalin laskentaohjeen (EU komission ohje 2008) mukaisesti kulutusta ohjaavan verotuksen hyötyjä ei tule laskea kahteen kertaan. Tästä syystä biopolttoaineilla saatua CO₂-päästöjen alenemaa ei ole enää huomioitu ympäristökustannukset-rivillä.

Laskelma on biopolttoaineiden käytölle edullinen, sillä esimerkiksi Neste Oilin pääkaupunkiseudun bussiliikenteessä vuosina 2008-2010 tekemän NExBTL-kokeilun yhteydessä biodieseliille myönnettiin veroetu, joka oli n. 33 snt/litra. Tämä vastaa vuoden 2014 liikennöintimäärällä n. 1,03 milj € vuosittaista verohelpotusta. Vastaavasti johdinautojen vuosittainen CO₂-päästöjen alenemasta aiheutuva ympäristöhyötyjen arvo on noin 0,1 milj. €.

Biodieselillä liikennöinti on HSL:n kilpailutuskokemusten perusteella n. 3,5 snt/km kalliimpaa kuin tavallisella dieselillä liikennöinti. Jos dieselbussiliikenne toteutettaisiin tavallisella dieselillä, olisivat vuosittaiset liikennöintikustannukset 0-linjastossa n. 0,2 M€ pienemmät ja johdinautolinjastossa 0,06 M€ pienemmät kuin biopolttoaineilla.

11.8 Yhteenveto

Peruslaskelman H/K-suhteen arvoa 2,3 voidaan pitää hyvänä. Hyödyt jakautuivat niin, että liikennepalveluiden tuottajien hyödyt – lähinnä säästö liikennöintikustannuksissa – oli 50 %, matkustajien aikasäästöt 26 %, ympäristökustannusten pieneneminen 13 % ja onnettomuuskustannusten ale-

neminen 11 %. Tämä merkitsee sitä, että esimerkiksi pelkät liikennepalveluiden tuottajien hyödyt tekevät hankkeesta kannattavan, H/K-suhteen ollessa tällöin 1,16.

Korkean H/K-suhteen yhtenä selittäjänä ovat osittain järjestelmän alhaiset investointikustannukset; väyläinfrastruktuurikustannukset ovat 33 milj. €. Ajoneuvojen investointikustannukset on huomioitu vaunupäivähinnan kautta liikennöintikustannuksissa. Verraten pienen investoinnin merkitystä korostaa lisäksi se, että vertailuvaihtoehtona käytetyssä Ve-0+:ssa investointikustannukset raitioteihin olivat huomattavat, 12,3 milj. €. Johdinauton infrainvestoinnit tosin tehdään heti tarkastelujakson alussa ja raitiotieinvestoinnit vasta tarkastelujakson puolivälissä.

Liitteessä 4 esitetään vaihtoehtoisia vaikutusarviointoja, joissa dieselbussiliikennettä verrataan hybridibussiliikenteeseen ja toisaalta perustarkastelusta hieman poikkeaviin johdinautoihin.

11.9 Herkkyystarkastelut

Varsinaisia herkkyystarkasteluja on tehty kolme:

- dieselpolttoaineen hinnan nousu 30 prosentilla
- johdinauton hankintahinnan alenema 30 prosentilla
- matkustajamääriin ei oleteta kasvua.

Dieselin hinnan nousu perustuu jo pidemmän aikaa voimassa olleisiin käsityksiin öljyn hinnan noususta. Useiden lähteiden mukaan öljyn hinta voi kallistua 10–100 prosentilla. Myös veropolitiikka vaikuttaa dieselin hintaan. Julkisuudessa käytyjen keskustelujen perusteella ei ole ainakaan oletettavissa, että dieselin verotus kevenisi tulevaisuudessa. Näiden syiden perusteella tässä työssä on siten tehty herkkyystarkastelu, jossa dieselin hinta nousisi 30 prosenttia. Laskelman yksinkertaistamiseksi nousun on oletettu tapahtuvan kerralla eikä vaiheittain useamman vuoden aikana. Dieselpolttoaineen hinnan nousu parantaa H/K-suhdetta 0,3:lla.

Toinen herkkyystarkastelu liittyy johdinauton kaluston hintaan. Tällä hetkellä jokainen johdinautosarja valmistetaan tilaustyönä, mutta tulevaisuudessa voi olla mahdollista, että sarjatyön lisääntyminen laskisi kaluston hankintahintaa. Lisäksi kaluston hintaa on mahdollista saada alemmaksi alentamalla teknisiä vaatimuksia ja erikoisvarusteluita, joilla on oletettavasti suurempi vaikutus kaluston hintaan kuin sarjatuotannon lisääntymisellä. Kaluston hinnan 30 prosentin alenema on laskettu työssä käytetystä kaluston hinnasta eli 675 000 eurosta. Tällöin päästään samalla hintatasolle alimpien viime vuosina toteutuneiden kauppahintojen kanssa. Kaluston alempi hinta parantaa H/K-suhdetta 0,4:llä.

Jos oletettu 5 % matkustajamäärän kasvu johdinautolinjoilla jää toteutumatta, pienenevät lipputulot, onnettomuuskustannukset ja ympäristöhyödyt, mutta väylien kunnossapitokustannukset hieman kasvavat. Tämän seurauksena H/K-suhde laskee 1,6:een eli 0,7:llä peruslaskelmaan nähden. Matkustajien aikasäästöt ovat seurausta johdinautojen oletetusta 2 % nopeammasta kulusta eikä sen muutosta ole tässä herkkyystarkastelussa otettu huomioon sen pienuuden takia.

Tehtäessä päätöstä johdinautoliikenteen aloittamisesta tulee arvioida toisaalta nykytyyppisen johdinautoliikenteen hyötyjä Helsingin liikenteessä sekä toisaalta uusien, johdinautoliikenteen tulevaisuudessa mahdollisesti korvaavien teknologioiden kehitysnäkymiä. Sähkökäyttöisen joukkoliikenteen tärkeimpiä nähtävillä olevia kehityssuuntia ovat akkuihin tai superkondensaattoreihin perustuvat ratkaisut, joita on jo kokeilukäytössä. Asiantuntija-arvioiden perusteella tämäntyyppiset järjestelmät voivat kuitenkin levitä laajaan kaupalliseen käyttöön aikaisintaan vuoden 2030 jälkeen.

Tehtyjen tarkasteluiden ja laaditun hyöty-kustannustarkastelun perusteella voidaan arvioida, että johdinautojärjestelmän perustaminen Helsingin kantakaupunkiin tässä työssä esitetyllä tavalla linjaston A tyyppisen ratkaisun mukaisesti näyttää perustellulta. Johdinautojärjestelmän perustaminen tukee tavoitetta joukkoliikenteen ja koko liikennejärjestelmän ympäristökuorman vähentämisestä. Johdinautojen erityisenä ympäristöhyötynä voidaan pitää niiden vähämeluisuutta.

Tehtyjä tarkasteluja arvioitaessa on kuitenkin syytä huomata, että johdinautojen ympäristövaikutuksia rahamääräisesti arvioitaessa ei kuitenkaan ole otettu huomioon kaupunkikuvallisia tekijöitä, jotka on esitetty vain sanallisesti. Myöskään johdinautojen liikenteen tilaajapuolella mahdollisesti edellyttämää lisäresursointia ei ole erikseen arvioitu.

Johdinautoliikenne on perusteltua käynnistää sellaisissa suunnissa, joissa matkustajamäärät eivät ole niin suuret, että ne perustelisivat raitioteiden rakentamista. Johdinautojen infrastruktuuri eli ajojohtimet kannatinpylväineen ja sähkönsyöttöasemat voivat tarvittaessa toimia raitiotiejärjestelmän infrastruktuurin osana, kun matkustajamäärien kasvu perustelee johdinautojen korvaamisen raitiovaunuilla. Johdinautoliikenteen aloittaminen on syytä tehdä vaiheittain, jotta aloitusvaiheen suppeammasta liikenteestä saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää, kun järjestelmä laajennetaan täyteen mittaansa.

Johdinautovarikon tulee sijaita niin, että se tukee tehokasta ja toimintavarmaa liikenteenhoitoa kantakaupungin alueella. Helsingin Bussiliikenne Oy:ltä vapautunut Koskelan varikko on sijaintinsa ja kokonsa puolesta sopiva johdinautovarikoksi. Lisäksi johdinautokäytön edellyttämien muutosten kustannukset eivät ole kohtuuttoman suuret.

Johdinautot on tässä työssä asemoitu joukkoliikennejärjestelmänä kapasiteetiltaan dieselbussin ja raitiovaunun väliin, kun on oletettu, että johdinautot hankitaan normaalibussia suurempina niveljohdinautoina. Niveljohdinautojen hinta on korkea, arviolta 675 000 €, joka on noin kaksinkertainen dieselkäyttöiseen nivelbussiin nähden. Tämä johtaa siihen, että ainakin alkuvaiheessa johdinautojen vara-autoina on tarkoituksenmukaista käyttää diesel-busseja. Vastaavasti johdinautojen energiakustannukset ovat merkittävästi dieselbusseja alhaisemmat. Johdinautot on syytä varustaa apumootorilla, joka mahdollistaa vähintään muutaman kilometrin itsenäisen kulun ilman ajojohtimista saatavaa sähkövirtaa.

Johdinautojärjestelmän investointikustannukset ovat linjaston A mukaisessa laajuudessa 89 milj. €, josta 50,6 milj. € on ajokaluston, 33 milj. € väyläinfrastruktuurin ja 5 milj. € varikon muutostöiden osuus. Sähköinfrastruktuurin nauhakustannus on noin 550 000 €/km. Investointi on puhtaasti taloudellisesti mitattuna kannattava 16 vuoden jälkeen investoinnin aloituksesta. Yhteiskuntataloudelli-

sesti kannattava hanke on jo kymmenen vuoden jälkeen siitä, kun järjestelmän rakentaminen aloitetaan.

Johdinautoliikenne voidaan organisoida vaihtoehtoisilla tavoilla. Tässä työssä tehtyjen tarkastelujen perusteella voidaan arvioida, että johdinautoliikenteen ja raitioliikenteen keskinäiset synergiat sähkötekniikassa ovat niin merkittävät että ne puoltavat johdinautojen ja raitiovaunujen liikennöinnin sekä sähköisen infrastruktuurin hoitamista yhtenäisen johdon ja organisaation alaisuudessa. Tällöin kokonaisvastuu johdinautojärjestelmän toimivuudesta niin liikenteenhoidon, ajokaluston kuin infrastruktuurinkin osalta on saman organisaation ja johdon alaisena eikä vastuusuhteista synny epäselvyyttä.

Liikenteen aloitus on syytä tehdä vaiheittain. Linjaston A esivaiheeksi on tässä työssä suunniteltu kolme linjaa käsittävä ja 23 johdinautolla liikennöitävä linjasto A-, jota myöhemmässä vaiheessa laajennettaisiin linjastoksi A.

13 Toteutusaikataulu ja jatkosuositukset

Johdinautoliikenteen toteutus liikenteen aloittamispäätöksen jälkeen vie arviolta kolme vuotta. Mikäli myönteinen periaatepäätös johdinautojärjestelmän perustamisesta syntyy esim. vuoden 2011 aikana, voitaisiin linjaston liikennöinti aloittaa aikaisintaan vuonna 2014 lopussa.

Käytännössä näin nopeaan aikatauluun ei ole syytä pyrkiä, vaan johdinautolinjaston suunnitteluun tulee varata riittävästi aikaa. Jotta johdinautoista saadaan suurin mahdollinen hyöty, tulisi niillä liikennöitäviä linjoja muuttaa nykyisistä bussilinoista. Johdinautolinjat kannattaa sijoittaa omille väylilleen, jolloin meluttomuus ja lähipäästöttömyys pääsevät parhaiten esille. Johdinautolinjojen suunnittelu tulee toteuttaa yhdessä raitiovaunuliikenteen linjamuutosten, mahdollisten uusien runkolinjojen toteuttamisen ja linja-autoliikenteen kilpailutusaikataulun kanssa.

Tässä hankeselvityksessä on oletettu, että edellä mainittujen seikkojen takia rakentaminen voitaisiin aloittaa vuoden 2014 alussa ja liikennöinti vuoden 2016 alussa.

Alla olevassa hahmotelmassa järjestelmän teknisen toteutuksen aikataulusta perustuu pitkälti Leipzigissa tehtyihin johdinautoliikenteen toteutussuunnitelmiin.

Taulukko 48. Johdinautoliikenteen mahdollinen toteutusaikataulu.

| TYÖVAIHEET, Linjasto A2016 | | Ennen päätöstä | | | | | | | | Päätöksenteon jälkeen | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|----------------|----|----|----|---------|----|----|----|-----------------------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|--|--|--|--|--|
| | | Vuosi 1 | | | | Vuosi 2 | | | | Vuosi 3 | | | | Vuosi 4 | | | | Vuosi 5 | | | | | | | |
| | kesto / kk | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | | | | | |
| KOHDENNETTU HANKESUUNNITELMA | | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouspyyntö / konsultin valinta | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hankesuunnitelman teko | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Päätös hankkeen toteuttamisesta | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUUNNITTELU JA LUVAT | | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maankäyttö ja rakenteiden sijoittelu | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Toimenpidevaltuutukset | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suunnitelmien hyväksymiset ja luvat | | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rakennuslupa | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AJONEUVOKALUSTO | | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouspyyntöasiakirjojen tekeminen | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouskierros ja hankintapäätös | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kaluston valmistaminen ja toimitus | | 15-21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AJOJOHTOJÄRJESTELMA / PYSÄKIT | | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouspyyntöasiakirjojen tekeminen | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouskierros | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hankintapäätös / toimittajan valinta | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rakentaminen | | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAHKONSYÖTÖRAKENTEET | | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tekniset selvitykset ja suunnitelmat | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouspyyntöasiakirjojen tekeminen | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouskierros | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hankintapäätös / toimittajan valinta | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rakentaminen | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VARIKKOJÄRJESTELYT | | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tekniset selvitykset ja suunnitelmat | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouspyyntöasiakirjojen tekeminen | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarjouskierros | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hankintapäätös / toimittajan valinta | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rakentaminen | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LIIKENTEESEEN SIIRTYMINEN | | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hallinnolliset ja organisatoriset ratkaisut | | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Koekäyttö ja koulutus | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Liikennöinnin aloittaminen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

14 Lähdeluettelo

14.1 Vierailut

Tämän hankesuunnitelman yhteydessä toteutettiin seuraavat vierailut:

10.11.2009 Tallinna, Viro. Tekninen tutustumisvierailu Tallinnan johdinautojärjestelmään, sekä tutustuminen Solaris/Cegelecin superkondensaattorilla varustettuun johdinautoon.

24–25.11.2009 Salzburg, Itävalta. Johtoryhmän tutustuminen Salzburgin johdinautoliikenteeseen.

26.11.2009 Geneve, Sveitsi. Johtoryhmän tutustuminen Geneven johdinauto- ja raitiovaunuliikenteeseen sekä tuplaniveljohdinautoon.

27.–28.1.2010 Solingen, Saksa. Tekninen tutustuminen Solingenin johdinautojärjestelmään.

18.2.2010 Esslingen, Saksa. Tutustuminen Esslingenin johdinautojärjestelmään.

23–24.3.2010 Milano, Italia. Johtoryhmän tutustuminen Milanon johdinautojärjestelmään.

25–26.3.2010 Zürich, Sveitsi. Johtoryhmän tutustuminen Zürichin johdinauto- ja raitiovaunujärjestelmiin.

27.9.2019 Eberswalde, Saksa. Tekninen vierailu Eberswalden johdinautojärjestelmään tutustumista varten.

29.11.–2.12.2010 Luzern, Sveitsi. TrolleyMotion 2010 New Horizons for Urban Traffic, konferenssi. Lisäksi käytiin teknisiä asioita käsittelevät keskustelut HESS, Vossloh-Kiepe, Cegelec sekä Skoda Electric yhtiöiden edustajien kanssa.

14.2 Kirjallisia lähteitä ja haastatteluita

Luvussa 2 esitetyt näkymät ja johtopäätökset perustuvat mm.:

Tekniikka & Talous 14.11.2008 TTK:n autotekniikan professori Matti Juhalan haastatteluun

Vossloh-Kiepe GmbH -yrityksen strategisen suunnittelun johtaja Enrique Luque-Alemanin kanssa 30.6.2010 käyty keskusteluun.

Peter Marti, Salzburger Verkehrsgespräche 2004, Pro Obus ist Pro Wirtschaftlichkeit, konferenssiesitys.

WHEC – 18th World Hydrogen Energy Conference Essen, May 16-21, 2010: Vetytankkauspiisteiden kehitys, Hamburg Hafen City & Vattenfall, projisointi tulevaisuuteen

Rosseta GmbH: Stationäärinen vauhtipyörävarasto (Zwickau) ja sen kehitysnäkymät

European Batteries Oy: Neuvottelu syksyllä 2009 DI Martti Alatalon kanssa akkujen kehitysnäkymistä.

Nils-Olof Nylund, Kommentteja johdinautoliikenteen hankeselvitykseen, 11.3.2011

Luvussa 3. liikennöintikustannusten taustatietoja:

Lauri Kangas (koonnut). Tietoja johdinautojen kauppahinnoista 2006-2009. Taulukko 10.5.2010. Alkuperäislähteitä: TransUrban-lehti (<http://www.railvolution.net/transurban/>), (<http://www.trolley-motion.com/en/>), Neuchatelin kaupungin tiedote, Hess:n lehdistötiedote Zürichin kaupoista.

Geneven liikennelaitos TPG. Vuosikertomus 2009, liitteet.

HESS. Johdinautojen kunnossapitokustannuksia. Taulukoita 25.3.2010.

Frank Seidel (Vossloh-Kiepe), Raimund Düllberg (Solingen Stadtwerke Verkehr);. Vastauksia kunnossapitoa koskeviin kysymyksiin. Muistio 23.3.2010. Käännös Raimo Mättö.

Luvussa 11 matkustajamäärien kehityksestä

WSP Finland Oy. Turun seudun joukkoliikenne 2020. Suunnitelma 2009. Alkuperäislähde Mikko Laaksonen.

Oliver Wyman. (Management Beratung) konsulttifirma
(<http://www.oliverwyman.com/ow/index.html>)

Martin Schmitz, Vossloh-Kiepe, esitelmä TrolleyMotion konferenssissa Luzernissa 2010.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/33/EY, puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä

European Commission. Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects, 16.6.2008

Liitteet

1. Tekniset tarkastelut ja vaihtoehtoverailut
2. Muistio: Trollikalinjojen oletetun kulkutapamuutoksen vaikutuksia
3. Koskelan varikkoa koskevia tietoja
4. Vaihtoehtoiset laskelmat liikennöinnistä ja hyödyistä



Liite 1. Johdinautoliikenteen hankeselvityksen tekniset tarkastelut ja vaihtoehtovertailut

HSL Helsingin seudun liikenne

Sisällysluettelo

| | | |
|------|---|----|
| 1 | Johdanto | 2 |
| 1.1 | Katsaus maailmalla meneillään oleviin johdinautohankkeisiin | 2 |
| 2 | Teknisten vaihtoehtojen tarkastelu | 5 |
| 2.1 | Dieselbussien kehitysnäkymät | 5 |
| 2.2 | Hybridibussit | 6 |
| 2.3 | Sarjahybridit | 6 |
| 2.4 | Rinnakkaishybridit | 7 |
| 2.5 | Hybridien energiatehokkuus | 9 |
| 2.6 | Duobussit | 10 |
| 2.7 | Polttokenno bussin voimanlähteenä | 12 |
| 2.8 | Perinteinen johdinauto | 12 |
| 2.9 | Johdinauton energiatehokkuus | 13 |
| 2.10 | Apumoottorilla varustetut johdinautot | 15 |
| 2.11 | Osan matkaa ilman johdinyhteyttä kulkevat johdinautot | 16 |
| 2.12 | Virroittimien kehitys | 16 |
| 2.13 | Pysäkeillä tai päätepaikoissa lataava sähköbussi | 17 |
| 3 | Ajojohtojärjestelmä ja sähkön syöttö | 20 |
| 3.1 | Ajojohdot ja vaihteet | 20 |
| 3.2 | Ajojohtojärjestelmä suunnitelluissa linjastoissa | 22 |
| 3.3 | Sähkönsyöttöasemat | 24 |
| 3.4 | Ajojohtojärjestelmät Suomessa aiemmin | 27 |
| 3.5 | Ajojohtojärjestelmän esimerkki | 29 |
| 3.6 | Ajojohtojärjestelmän komponentit | 30 |
| 4 | Energia, energiavarastot ja vetytalous | 39 |
| 4.1 | Sähköenergian tuotanto | 39 |
| 4.2 | Energiavarastot vuonna 2014-2019 | 41 |
| 4.3 | Lyijyakut | 42 |
| 4.4 | Nikkeliakut | 42 |
| 4.5 | Litiumakut | 42 |
| 4.6 | Polttokennot ja vety | 43 |
| 4.7 | Virtausakut | 43 |
| 4.8 | Superkondensaattorit | 43 |
| 4.9 | Vauhtipyöräjärjestelmät | 44 |
| 4.10 | Käytäntöön sovellettavuus | 44 |
| 4.11 | Vetytalous | 45 |
| 4.12 | Vedyn tuottaminen | 45 |
| 4.13 | Vedyn varastointi ja kuljetus | 45 |
| 4.14 | Polttokennot | 46 |
| 5 | Lähteet | 47 |

1 Johdanto

Tässä liitteessä tarkennetaan hankeselvityksen raportissa esitettyjä teknisiä yksityiskohtia sekä selvitetään esitettyihin näkemyksiin liittyviä taustoja. Liitteessä käydään läpi johdinautoihin liittyvää teknistä tarkastelua. Liitteessä esitellään erilaisia energiavarastoja ja niiden tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia sekä selvitetään ajojohtojärjestelmän rakennetta ja yksityiskohtia. Eri ajojohtojärjestelmän komponentit ja niiden käyttö on esitelty. Lisäksi esitetään historiallinen katsaus Suomessa käytettyihin ajojohtojärjestelmiin.

Liitteessä selvitetään myös raportin taustalla käytyä keskustelua eri energiamuodoista, sähköenergian varastointitavoista, niiden eduista ja haitoista sekä tulevaisuudessa mahdollisesti toteutuvasta vetyyn perustuvasta energian siirtämisestä.

Liitteen ovat koonneet konsultit Artturi Lähdetie, Raimo Mättö sekä Kari Sulonen. Lisäksi mukana ovat olleet Petri Saari HSL:stä ja Lauri Kangas Helsingin kaupunkisuunnitteluvirastosta.

Kansikuva: Innovative Gefässgrößen beim Bus & Trolley. Carrosserie HESS AG.

1.1 Katsaus maailmalla meneillään oleviin johdinautohankkeisiin

Maailmalla on meneillään useita johdinautohankkeita; niin uusien järjestelmien rakentamista, vanhojen laajentamista ja uusimista sekä bussilinjojen muuttamista johdinautojärjestelmiksi. Huomatavaa on, että missään ei tällä hetkellä suunnitella merkittävää johdinautojärjestelmän lakkauttamista.

Johdinautojärjestelmän tekninen toteutus on eri kaupungeissa hyvin erilainen ja siksi kehittämishankkeetkin poikkeavat toisistaan. Vanhoissa johdinautojärjestelmissä kehityshankkeet keskittyvät kaluston nykyaikaistamiseen ja olemassa olevan linjaston laajentamiseen. Merkittäviä laajennuksia tehdään jatkuvasti mm. Sveitsissä. Esim. Zürich kasvattaa johdinautojen kapasiteettia ja on tilannut vuodeksi 2012 lisää tuplaniveljohdinautoja korvaamaan nykyisiä niveljohdinautoja.

Uudet johdinautojärjestelmät ovat kehittyneissä maissa joko perinteisiä johdinautojärjestelmiä, mutta myös usein täysin uudenlaisia joukkoliikennemuotoja, joissa yhdistyy BRT, raitiovaunu ja metrojärjestelmä. Esimerkkejä ovat mm. Leeds Englannissa, Valenciennes Ranskassa ja Riad Saudi-Arabiassa. Kehittyvissä maissa johdinautojärjestelmillä toteutetaan usein nopeaa metromaista pintaliikennettä. Etelä-Amerikassa on useita tällaisia hankkeita, mm. Venezuelassa ja Chilessä.

Perusteet johdinauton valitsemiseksi ovat kaikissa tapauksissa kuitenkin samat; johdinauto on kustannustehokas liikennemuoto. Kehittyneissä maissa johdinautojen kustannusetu tulee siitä, että ne toimivat linjoilla, joissa raitiovaunu tai metro ovat kapasiteetiltaan tarpeettoman suuria ja dieselbussit taas liian pieniä tai saastuttavia. Kehittyvissä maissa johdinauton hyväksi puhuu myös se,

että se käyttää käyttövoimanaan sähköä, jota on usein saatavilla halvemmalla kuin dieselpolttoainetta.

Seuraavassa on esitelty muutama esimerkki mielenkiintoisista käynnissä olevista hankkeista. Johdinautoja koskevista hankkeista löytyy ajantasaista tietoa alan järjestöjen uutispalveluista, mm. osoitteessa www.trolley-motion.org ja www.tb-us.org.uk

Riadissa Saudi-Arabisassa avataan vuoden 2012 alussa 12 kilometrin mittainen johdinautolinja, joka palvelee Riadin yliopistokampuksen väkeä. Johdinautot ovat saksalaisen Neoplanin toimittamia huippumukavia ja nykyaikaisia ajoneuvoja, joissa on mm. lämpöeristetyt lasit, ilmastointi ja viileään sisällä pitävät ilmaverhot ovissa. Nämä ovat tarpeen ajoittain yli 50 asteen lämpötiloihin nousevissa lämpötiloissa.



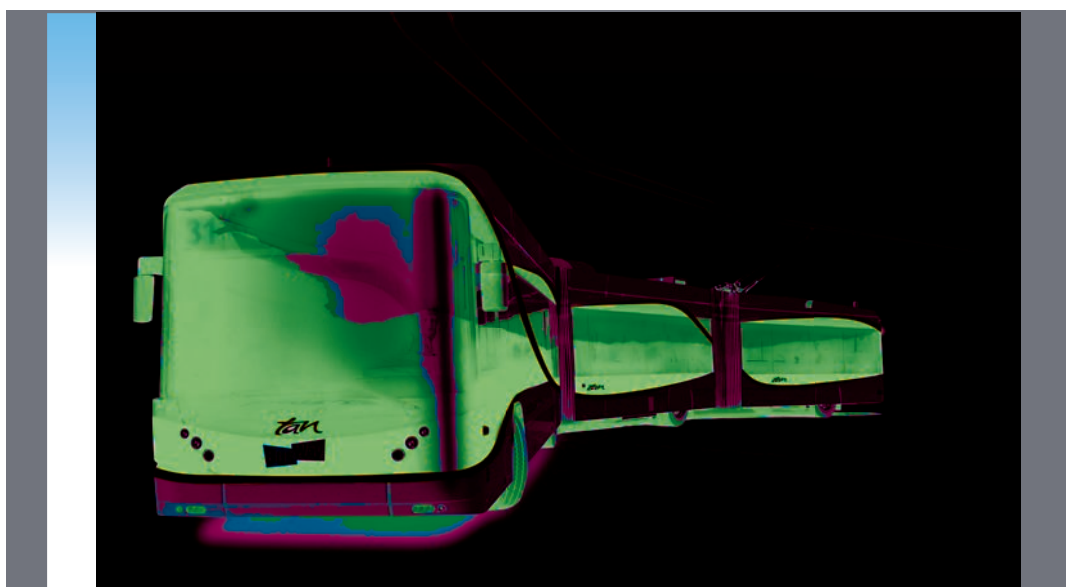
Kuva 1.1.1 Riadin yliopiston uusi 2012 käyttöön otettava johdinauto. (Kuva Viseon GmbH)

Leedsissä Englannissa on suunniteltu toteutettavan kolmen johdinautolinjan järjestelmä. Leedsissä järjestelmään kuvataan sanoilla New Generation Transport, lyhyemmin NGT Metro. Nimellä halutaan kuvata sitä, että se ei ole bussi eikä raitiovaunu. Kyseessä on eräänlainen kumipyörämetro, joka kulkee osan matkasta omilla kaistoillaan ja keskusta-alueilla se kierteleee pääosin joukkoliikennekaistoilla, mutta kuitenkin erillään henkilöautoliikenteestä. Leedsissä vertailtiin erilaisia liikenne-
muotoja keskustaliikenteen toteuttamiseksi busseista ja raitiovaunuista junaliikenteeseen. Johdinautotekniikkaan päädyttiin sen ympäristöystävällisyyden, sopivan kapasiteetin ja kohtuullisten investointikustannusten takia. Järjestelmän pitäisi olla käytössä vuonna 2016, mutta brittihallituksen vuoden 2010 syksyllä tekemien investointirahojen jäädyttämisen vuoksi toteutus saattaa siirtyä.



Kuva 1.1.2 Leedsin NGT-Metro-nimellä kulkeva johdinauto, jonka on suunniteltu kulkevan vuonna 2016. (Kuva: tbus.org)

Nantesissa Ranskassa avattiin vuonna 2006 dieselbusseilla toteutettu 7 kilometrin mittainen BRT-järjestelmä. Nantesissa oli sitä ennen jo käytössä 4 raitiovaunulinjaa, mutta uusi järjestelmä päätettiin toteuttaa BRT järjestelmänä halvempien investointikustannusten vuoksi ja toisaalta sen takia, että raitiovaunujärjestelmän katsottiin olevan kapasiteetiltaan liian suuri halutulle linjalle. Uudella BRT linjalla tarjottiin matkustajille raitiovaunumainen palvelutaso ja se tehtiin visuaalisesti muista liikennevälineistä erottuvaksi. Lisäksi siihen yhdistettiin liityntäpysäköintiä. Linjan matkustajamäärät ovat kasvaneet tasaisesti aloitusvuodesta lähtien, ja järjestelmää on laajennettava lähitulevaisuudessa. Suoraan raitiovaunuun siirtymisen sijasta linjalle harkitaan tuplanivelbusseja. Johdinauto-tekniikalla toteuttamista puoltaa ympäristöystävällisyys, dieselbusseja edullisemmat käyttökustannukset ja mahdollisuus hyödyntää sähköjärjestelmiä mahdollisen raitiovaunulinjan kanssa.



Kuva 1.2.3 Nantesin BRT-järjestelmässä mahdollisesti käyttöönotettava johdinauto. (Kuva: Pierre-Francois Gerard, SEMITAN Nantes)

2 Teknisten vaihtoehtojen tarkastelu

Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin esisuunnitelmassa mainittuja vaihtoehtoisia voimanlähteitä dieselbussiliikenteen korvaamiseksi osittain tai kokonaan sähköllä liikkuvalla kalustolla.

2.1 Dieselbussien kehitysnäkymät

Raskaan kaluston dieselmoottorien päästöjä ohjaavat Euro-normit astuivat voimaan vuonna 1993 Suomessa. Normit antoivat ylärajat dieselmoottorien päästökomponenteille koskien hiilimonoksidia, typenoksideja, hiilivetyjä ja partikkeleita.

Vuonna 2010 eletään Euro 5 -normin aikaa, jolloin maksimipäästöt ovat seuraavat (g/kWh):

- Häkä (CO) 1,5
- Typenoksidit (NOx) 2,0
- Hiilivedyt(HC) 0,46
- Pienhiukkaset (PM) 0,03

Euro-normit tiukkenevat jatkossakin, ja ennakoidaan, että Euro 6 –normi astuu voimaan tammi-kuussa 2013 seuraavin päästöarvoin (g/kWh):

- Häkä (CO) 1,5
- Typenoksidit (NOx) 0,5
- Hiilivedyt(HC) 0,13
- Pienhiukkaset (PM) 0,01

Pääkaupunkiseudulla uudet linja-autot ovat olleet kilpailutetussa liikenteessä vuodesta 2007 lähtien EEV-päästönormin ajoneuvoja (Enhanced Environmentally friendly Vehicle). EEV on vapaaehtoinen standardi, joka on tiukempi kuin Euro 5. EEV:n mukaan hiukkaspäästöt ovat 33 % alhaisemmat kuin Euro 5 -normissa. Hiilivety-, häkä- ja typen oksidipäästöt (NOx) ovat samat kuin Euro 5 -normissa.

Euroopan unionin uusi direktiivi (2009/28/EY) asettaa sitovat velvoitteet biopolttoaineiden lisäämiseksi liikenteessä. Aiempi direktiivi ei sitonut jäsenmaita. Direktiivin mukaan liikennekäyttöön jaeltu- jen polttoaineiden, bensiinien, dieselöljyjen ja biokomponenttien yhteenlasketusta energiasisällöstä vähintään 10 % pitää kattaa uusiutuvalla energialla vuoteen 2020 mennessä. Nestemäiset biopolttoaineet ovat joko alkoholi- tai kasviöljypohjaisia. Alkoholipohjaisia polttoaineita, esimerkiksi bioetanolia, saadaan sokeri- ja tärkkelyspitoisista kasveista, kuten sokerijuurikkaasta ja ohrasta. Biodieseliksi kutsuttuja kasviöljypohjaisia polttonesteitä, kuten rypsiöljyä, saadaan puolestaan öljykasveista. Ruokaketjun ulkopuolisena polttoaineena myös biokaasu voidaan laskea tähän uusiutuvien polttoaineiden osuuteen. Biokaasun avulla uusiutuvien polttoaineiden osuutta liikenteessä voidaan myös merkittävästi lisätä

Suomessa sekoitetaan NExBTL-biodieseliiä dieselin sekaan sekä bioetanolia bensiinin sekaan kansallisen tavoitteen täyttämiseksi. Tulevaisuudessa dieselmoottorissa voidaan käyttää yhtenä

vaihtoehtona dimetyylieetteriä (DME), jota voidaan valmistaa maakaasusta, hiilestä tai biomassasta.

Dieselmootoreissa on otettu käyttöön OBD (On Board Diagnostic) – valvontajärjestelmät, joilla varmistetaan, että pakokaasupäästöt ovat puhtaita ja puhdistusjärjestelmät toimivat.

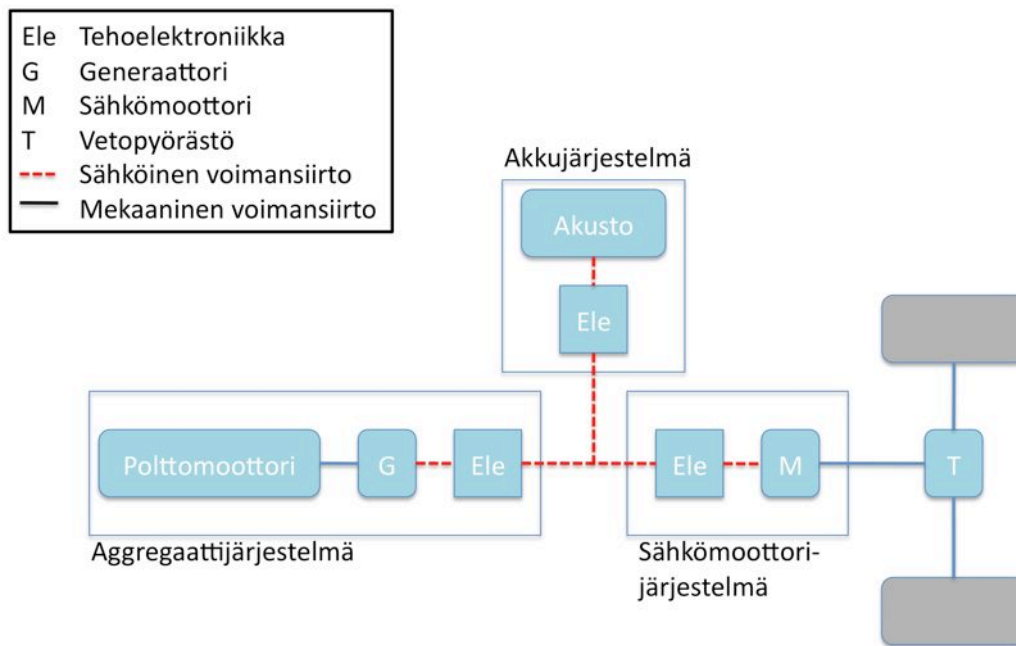
Kehitys dieselmootoreissa etenee kohti pienempiä, mutta tehokkaampia moottoreita, joiden käytöllä saadaan busseista kevyempiä ja siten polttoainekulutukseltaan edullisempia. Toinen kehityshaara ovat hybridibussit, joista kerrotaan tarkemmin seuraavassa luvussa. Ensimmäiset hybridibussit on juuri saatu kaupalliseen tuotantoon.

2.2 Hybridibussit

Hybridijärjestelmillä tarkoitetaan polttomoottorin ja sähkömoottorin yhdistelmiä ajoneuvon voimalllähteenä. Hybridijärjestelmiin kuuluu myös jonkinlainen energian varasto, jonka avulla ajoneuvo liikkuu sähkömoottorikäytöllä. Sähköenergia varastoidaan joko sähköakkuihin, joita ovat esim. lyijy-, nikkeli- ja litiumakut sekä superkondensaattorit tai mekaanisiin akkuihin kuten vauhtipyöräakkuihin. Hybridijärjestelmien kantavana ajatuksena on yhdistää polttomoottorin ja sähkömoottorin parhaat ominaisuudet, sekä hyödyntää jarrutuksessa vapautuvaa energiaa kiihdytyksessä. Vauhtipyöriin perustuvat energiavarastot eivät kuitenkaan luotettavuutensa kannalta ole osoittautuneet kovin käyttökelpoisiksi ja luotettaviksi liikkuvassa kalustossa.

2.3 Sarjahybridit

Hybridit on jaettavissa sarja- ja rinnakkaishybridijärjestelmiin. Sarjahybridissä (kuva 2.2.1) polttomoottori käyttää ainoastaan generaattoria, joka lataa akkujärjestelmää. Ajoneuvon liikevoima otetaan aina sähkömoottorista. Sarjahybrideissä ajoneuvoa liikuttava teho on yksinomaan riippuvainen sähkömoottorin tehosta ja energiavaraston ominaisuuksista. Sarjahybridiajoneuvon vahvuus on, että sillä saavutetaan sähköisen liikevoiman suuri kiihtyvyys ja tasainen kulku sekä kiihdytyksissä että hidastuksissa, koska perinteistä portaittaista vaihteistoa ei ole ja jarrutus hoidetaan pääosin sähköisesti. Polttomoottori sekä generaattori ovat sähkömoottorilla ajettaessa kuitenkin ylimääräistä kuormaa, mikä voidaan yleisesti lukea kaikkien hybridiajoneuvojen heikoksi puoleksi.



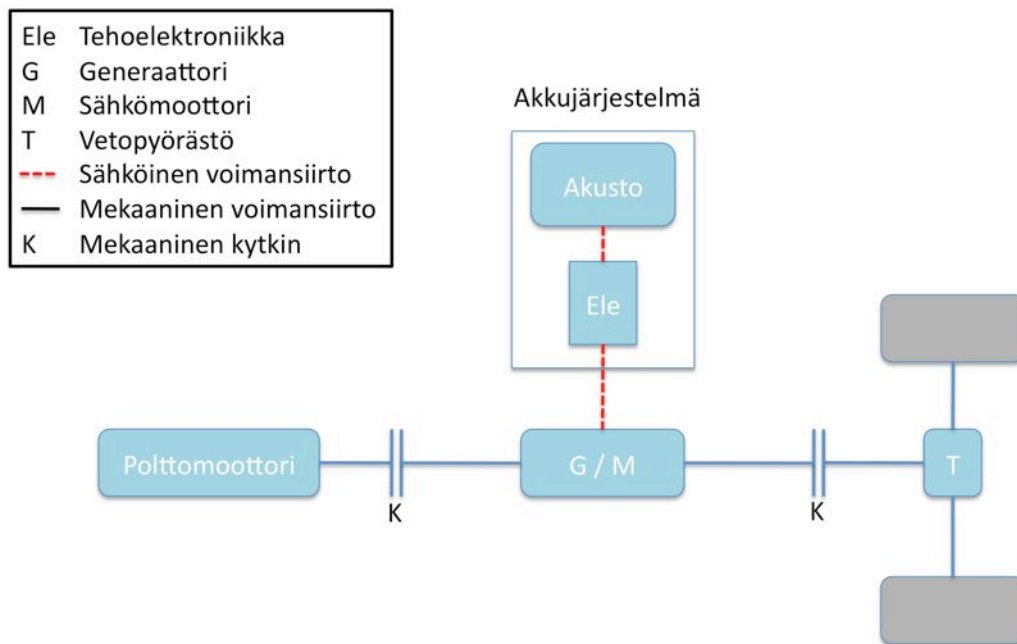
Kuva 2.2.1 Sarjahybridijärjestelmä. (Public Service Bus System, VDV 2007)

Sarjahybrideihin liittyen voidaan tehdä mielenkiintoinen teoreettinen energiatarkastelu. Koska sarjahybridin kiihdytyksiin tarvittava teho voidaan saada sähköisestä energiavarastosta ja matkan taittamiseen tarvittava energiamäärä polttomoottorin polttoainetankista, voidaan polttomoottorin mitoituksessa siirtyä tehotarkastelusta energiatarkasteluun. Kaupunkiliikenteessä keskinopeus jää tyypillisesti 20 km/h tasolle. Tiedetään, että sähkökäyttöinen nivelbussi varustettuna jarrutusenergian talteenotolla kuluttaa energiaa n. 2,5 kWh kilometriä kohden.

Kaupunkiliikenteessä energiankulutus olisi siten yhteensä 50 kWh tunnissa, joten polttomoottorin tehoksi riittää 50 kW. Tässä laskennallisessa optimitilanteessa energiavarasto on mitoitettu niin suureksi ja valittu ominaisuuksiltaan sellaiseksi, että se pystyy aina ottamaan vastaan kaiken polttomoottorilla tuotetun sähkö. Polttomoottori käy aina optimaalisella käyntinopeusalueellaan, mikä heijastuu myönteisesti sen hyötysuhteessa ja johtaa vähäisiin päästöihin. Käytännössä tästä teoreettisesta optimista jäädään kuitenkin nykyisellä tekniikalla.

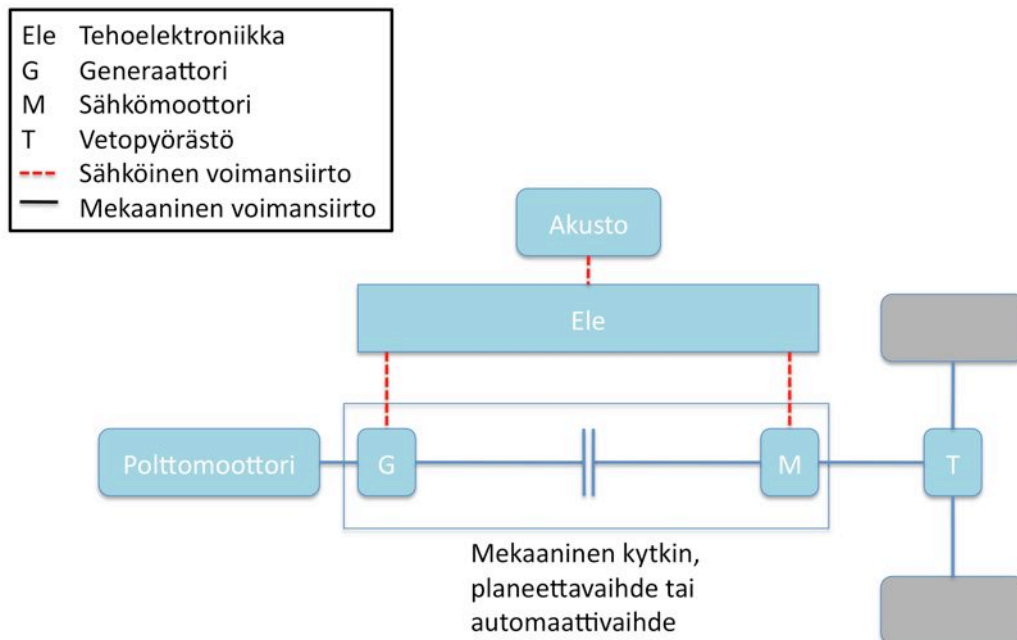
2.4 Rinnakkaishybridit

Rinnakkaishybridissä (kuva 2.2.2-1) polttomoottori on kytketty suoraan ajoneuvoa liikuttavaan voimansiirtojärjestelmään. Myös sähkömoottori on kytketty suoraan voimansiirtoon ja toimii jarrutuksessa generaattorina. Rinnakkaishybridijärjestelmissä on usein mahdollistaa käyttää sekä poltto- että sähkömoottoria samanaikaisesti liikevoiman tuottamiseen. Huipputehoa tarvittaessa ajetaan aina polttomoottorin kanssa. Järjestelmän hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että erillistä generaattoria ei tarvita ja toisaalta sähkömoottoria voidaan käyttää yhtä aikaa polttomoottorin kanssa lisätehoa antamassa.



Kuva 2.2.2-1 Rinnakkaishybridijärjestelmä. (Public Service Bus System, VDV 2007)

Näistä kahdesta on luonnollisesti olemassa myös yhdistelmäversio (kuva 2.2.2-2) jossa on erillinen generaattori ja sähkömoottori, mutta ne on kytketty samaan voimansiirtojärjestelmään polttomoottorin kanssa.



Kuva 2.2.2-2 Yhdistelmähybridijärjestelmä. (Public Service Bus System, VDV 2007)

2.5 Hybridien energiatehokkuus

Kaupunkiliikenteessä linja-auton huipputehoa tarvitaan useimmiten kiihdytettäessä pysäkiltä tai liikennevaloista. Dieselmoottori sammutetaan yleensä pysäkeillä ja liikennevaloissa. Liikkeelle lähdössä bussi käyttää vain sähkömoottoria. Bussin saavuttaessa noin 15-20 km/h nopeuden, dieselmoottori käynnistyy automaattisesti alkaen syöttää voimaa sähkömoottorin rinnalle, kunnes lopulta vain dieselmoottori huolehtii bussin liikuttamisesta.

Edellä tarkastelluissa hybridijärjestelmissä saadaan primäärienergia dieselöljystä. Ajoprofiilista (siis käyttöympäristöstä) erittäin suuresti riippuen voidaan hybridin odottaa säästävän polttoainetta parhaimmillaan n. 20-35 %. Todellinen säästön suuruus on selvitettävissä vain käyttöympäristössä tapahtuvilla mittauksilla. Dieselpolttoaineeseen liittyvää perimmäistä problematiikkaa hybridi ei ratkaise kokonaan. Ajoneuvo aiheuttaa edelleen paikallispäästöjä ja meluhäiriötä. Merkittävää on myöskin, että kansainväliset mittaukset on tehty lämpimissä ympäristöissä, joten niitä ei sellaiseenaan voi siirtää Suomeen.

Hybridijärjestelmillä ajoneuvon hiukkaspäästöt ja typpioksidit vähenevät 40-50 % verrattuna vastaavaan dieseliin. Näistä päästöistä suurin osa aiheutuu kiihdytyksessä pysäkeiltä, joka hybrideissä tapahtuu sähkömoottorin avustamana. (VTT) Melupäästöjen osalta erona on, että hybrideissä polttomoottori ei ole käynnissä jatkuvasti, eikä sen tarvitse käydä yhtä suurella käyntinopeudella kuin ilman hybridijärjestelmää.

Hybridijärjestelmä on käytännössä nykyaikaisen dieselbussin päälle rakennettu sähkövoimala, akusto ja sähkömoottori. Tällainen järjestelmä lisää ajoneuvon painoa, vaikka polttomoottori onkin hieman pienempi kuin puhtaassa polttomoottorikäytössä. Järjestelmä on myös monimutkaisempi, mikä lisää sekä hankinta- että huolto- ja ylläpitokustannuksia.

Kansainväliset ja kotimaiset tutkimukset (VTT) osoittavat, että hybridibusseilla voidaan pienentää jonkin verran dieselbussiliikenteen energiankulutusta, mutta niiden yhteydessä ei voida vielä puhua aidosti sähköisestä joukkoliikenteestä.

Helsingissä on koeajettu muutama erilainen hybridibussi. Ensimmäisenä otettiin testiajoon Volvon valmistama rinnakkaishybridibussi. Alustavat kokemukset olivat lupaavia ja joidenkin teknisten säätöjen jälkeen jatkuu testi edelleen. Kokeilussa on ollut myös Solariksen valmistama rinnakkais-hybridibussi varustettuna Cumminsin moottorilla ja Allisonin hybridijärjestelmällä. Tämä bussi osoitautui testeissä toimittajan ennakoiman mukaiseksi ja lunasti siihen asetetut odotukset. Keväällä 2010 koekäytössä oli HESS:in valmistama 25 metrin pituinen tuplanivelbussi jossa oli sarjahybridivoimansiirto.



Kuva 2.2.3 HESS tuplanivelhybridin koeajossa Helsingissä. (Kuva Artturi Lähdetie)

2.6 Duobussit

Duobussilla tarkoitetaan ajoneuvoa, jossa on sekä dieselmoottori että johdinauton sähköjärjestelmä ja mahdollisesti lisäksi pienehkö energiavarasto. Dieselmoottori on yleensä mitoitettu siten, että sen teho riittää normaaliin linjaliikenteeseen täydellä kuormalla. Duobussit on nykyisin toteutettu sarjahybridin tapaan dieselsähköisiksi, eli dieselmoottori pyörittää generaattoria, jonka antamalla sähkövirralla pyöritetään normaalia ajomoottoria. Duobussi liikkuu reiteillä, joissa ei ole ajojohtimia kuten mikä tahansa dieselbussi. Ajojohdolla varustetulla alueella se on taas kuin johdinauto ja liikkuu täysin sähköjärjestelmänsä avulla.

Duobussin merkittävänä haittana on, että mukana kulkee aina yksi passiivinen voimajärjestelmä: polttomoottorilla ajettaessa virroitinjärjestelmään liittyvä laitteisto ja sähkömootorilla ajettaessa dieselmoottori generaattoreineen. Näin ollen ajoneuvon hyötykuorma on pienempi ja kulutus korkeampi kuin vastaavan yhdellä voimajärjestelmällä varustetun ajoneuvon. Hankintakustannukset ovat korkeammat ja ylläpitokustannukset ovat suuremmat kahdesta täysmittaisesta voimajärjestelmästä johtuen.

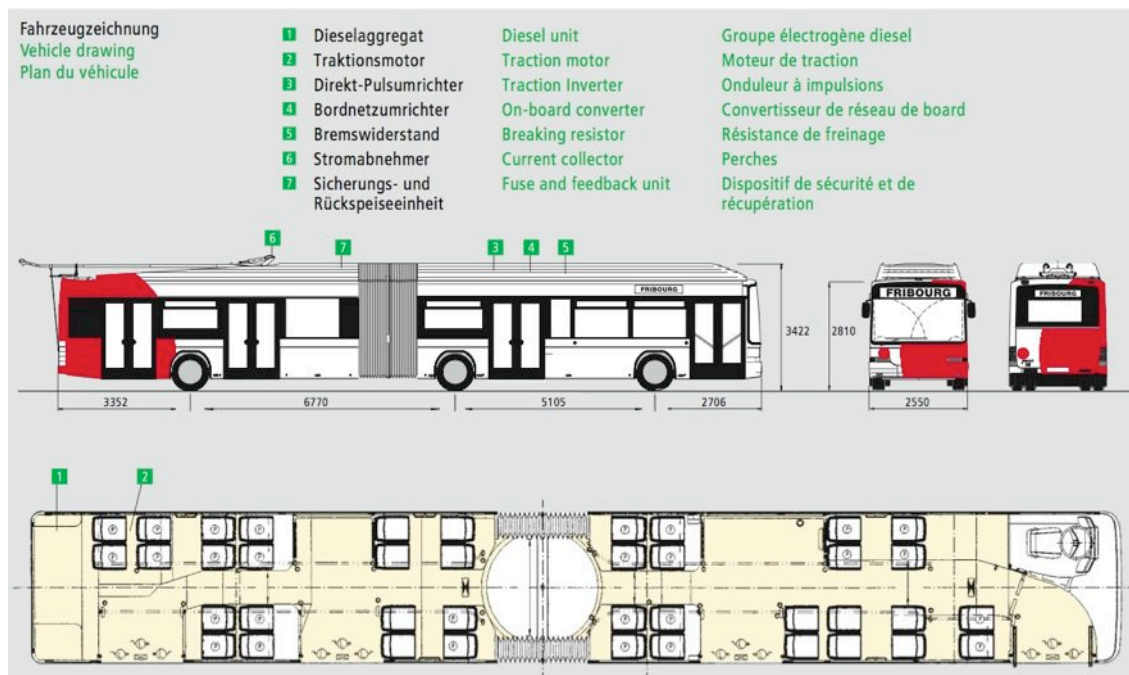
Duobussien hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että niillä voidaan liikennöidä kaikilla reiteillä ja hyödyntää ajojohdotuksen kautta sähköistä energiaa aina kun se on linjan varrella mahdollista. Tämä toki edellyttää virroittimilta hienostunutta tekniikkaa, jotta ne pystyvät joustavasti kytkeytymään ajolankoihin.

Sähkömootorilla liikuttaessa lähipäästöt ovat samat kuin muillakin johdinautoilla. Ainoastaan ylimääräinen paino lisää sähkönkulutusta. Dieselillä ajettaessa päästöt ovat luonnollisesti suuremmat kuin vastaavalla dieselbussilla johtuen mukana kuljetettavasta ylimääräisestä kuolleesta massasta.

Duobusseista on varsin vaihtelevia kokemuksia ja näkemyksiä. Sveitsin Fribourgissa moderneja dieselsähköisiä duobusseja on ollut käytössä vuodesta 2003 ja niiden määrää ollaan lisäämässä. Fribourgissa duobussit ajelevat keskusta-alueella johtimien avulla ja taajama-alueen ulkopuolella, linjojen äärialueilla, dieselillä. Virroittimet ovat puoliautomaattiset, eli kuljettajan ei tarvitse nousta ajoneuvosta virroittimien asettamiseksi ajolangoille, vaan pelkkä napin painallus ajoneuvon ollessa pysähtyneenä oikeassa kohdassa riittää. Myös Norjan Bergenissä ajetaan duobusseilla, joista viimeisimmät on hankittu vuonna 2003.

Sen sijaan Saksassa Stuttgartin esikaupungissa Esslingenissä on päädytty toisenlaiseen näkemukseen. Siellä duobusseja oli käytössä vuosien 1975 ja 2001 välillä. Niiden reitistä kuitenkin vain pieni osa muodostui sähköllä ajettavasta keskusta-alueesta. Alun perin duobussien hankkimiseen oli ohjannut alueella vaikuttavan bussivalmistaja Mercedesen tuotekehitys ja tarve saada duokalukselle referenssikaupunki. Monimutkaisen tekniikan ja kalliin hankintahinnan takia järjestelmän todettiin olevan tehoton ja niinpä duobusseista luovuttiin niiden tullessa käyttöikänsä loppuun. Sähköinen bussiliikenne haluttiin kuitenkin säilyttää ja vuonna 2002 hankitut uudet matalalattiaiset niveljohdinautot ovat perinteisiä VanHool/Vossloh-Kiepe:n valmistamia johdinautoja, jotka toki on varustettu apumootorilla. Samalla johdinautojen ajojohtoverkoston laajennettiin.

Näistä ei voi kuitenkaan vetää yhteneviä johtopäätöksiä, koska nämä kaksi kohdetta, Esslingen ja Fribourg, ovat varsin erilaisia asukasjakaumaltaan linjaston peittoalueella. Tarkastelukulman monipuolistamiseksi voidaan vielä kirjata, että Solingenissa on marraskuusta 2009 ajettu duo-moodissa lähes tavanomaisella trollikalla muutaman kilometrin matka linjan ääripäässä ja suunnitelmissa on laajentaa tätä toimintamallia linjastojen muillakin äärialueilla.



Kuva 2.3.1 Fribourgin HESS-merkkinen duobussi. (HESS)

2.7 Polttokenno bussin voimanlähteenä

Vetytaloutta käsitellään tarkemmin luvussa 3, mutta tässä on lyhyesti esitelty linja-autokäytössä polttokennoihin liittyviä seikkoja. Vedyllä energian kantajana on sähköön verrattava vapaus valita energian tuotantomuoto, joten se on mielenkiintoinen vaihtoehto myös linja-autojen voimanlähteenä.

Linja-autoliikenteen osalta vetyä käyttävillä polttokennojärjestelmillä on vielä useita haasteita voitettavanaan, joista polttokennojen huomattavat kustannukset eivät ole suinkaan ainoa. Polttokennojen toimintalämpötila on tällä hetkellä varsin rajattu eivätkä ne toimi kunnolla vaihtelevissa lämpötiloissa, vaan ne on varustettava lämmönsäätöjärjestelmällä, joka pitää ne oikeassa toimintalämpötilassa. Toinen suuri ongelma on polttokennoista saatavan tehon, eli sähkövirran vähäisyys. Käytännössä tämä esim. linja-autoissa tarkoittaisi sitä, että ajoneuvoissa olisi oltava lisäksi suuritehoinen energian välivarasto, josta voitaisiin ottaa huipputehon edellyttämä sähkövirta.

Vedyn säilöminen ajoneuvoon on haasteellista, sillä se pitää paineistaa ja pitää hyvin matalassa lämpötilassa. Tämä vaatii suuren ja kalliin polttoainetankin, joka pienentää ajoneuvon hyötykuormaa. Vedylle ei vielä ole missään päin maailmaa olemassa laajaa jakeluverkostoa. Polttokenno- ja muilla vetyjärjestelmillä uskotaan kuitenkin olevan suuri merkitys tulevaisuudessa kaukoliikenteen linja-autoissa. Kaukoliikenteen polttokennokäyttöisistä linja-autoista on jo olemassa koeajoneuvoja, mutta niiden tulosta sarjatuotantoon ei ole muuta kuin epämääräisiä viittauksia.

Testikäyttöön on vuoteen 2010 mennessä saatu muutama järjestelmä eri puolilla maailmaa. Esim. Hampurissa on alettu ottaa käyttöön järjestelmää, johon kuuluu 30 Mercedeksen toimittamaa polttokennoautoa. Oslo on ilmoittanut aloittavansa polttokennobussiliikenteen viidellä VanHoolin toimittamalla osittain matala-lattiaisella ajoneuvolla vuoteen 2012 mennessä. Näiden ajoneuvojen kapalehinnaksi ilmoitetaan 1,5 miljoonaa euroa.

Polttokennojen kustannusrakenteen haasteellisuutta kuvaa seuraava laskelma; Perinteinen dieselbussi maksaa n. 300'000 euroa. Vastaava polttokennobussi 1,5 miljoonaa euroa, josta polttokenno- ja vetylaitteiden osuus on 1,2 miljoonaa euroa. Jos polttokenno- ja vetyjärjestelmien hintaa saataisiin pudotettua 90 %, olisi polttokennobussi silti lähes 50 % dieselbussia kalliimpi.

2.8 Perinteinen johdinauto

Johdinauto on ajoneuvo, joka nimensä mukaisesti kulkee johtimista ottamallaan sähkövirralla. Ajojohtimiin sidotun ajoneuvon heikkous on luonnollisesti se, ettei se voi liikkua alueilla, joissa ei ole johtimia ja se rampautuu kun johtimista ei ole virtaa saatavilla. Perinteisen johdinauton vahvin etu on kuitenkin sen yksinkertaisuus. Ajoneuvossa on vain yksi voimalähde: sähkömoottori ohjauslaitteineen sekä katolla olevat virroitimet. Tällainen järjestelmä on paitsi yksinkertainen, myös kevyt, jolloin hyötykuorma kasvaa. Pitkät virroitinaiset myös mahdollistavat reitillä olevien esteiden (väärin pysäköidyt autot jms) kiertämisen ja pienten reittimuutosten tekemisen (työmaa normaalisti käytettävällä kaistalla). Johdinauto pystyy hyvin väistämään n. 4 metriä sivuun nimelliseltä väylältään.

Jatkuvan johdinyhteyden tarve aiheuttaa kuitenkin sen, että ajojohtojen suunnittelussa on huomioitava myös kaikkinaiset erikoistilanteet. Jos johdinautojen pitää päästä ohittamaan toisensa pysäkkien kohdalla, on siihen kohtaan rakennettava vaihteet. Samalla tavalla ajoneuvojen liikennöinti erilaisissa risteyksissä sekä varikolla pitää pohtia tarkasti. Ajojohtojärjestelmästä tulee tällöin varsin monimutkainen ja raskas, mikä lisää investointi- ja myös ylläpitokustannuksia. Johtimiin täysin sidottu ajoneuvo on vika- ja hätätilanteissa riippuvainen ulkopuolisesta avusta.

Mm. Salzburgissa on perinteisesti pidetty johdinautoliikenteen toiminnan perustana ajojohtojen varassa liikkumista: johdinauto on ajoneuvo – ei voimalaitos. Normaalissa linjaliikenteessä ajoneuvot eivät käytä apumootoria. Uusimmissa hankinnoissa on kuitenkin omavoimainen liikkuminen poikkeustilanteissa nähty perustelluksi. Apuvoimatekniikan kehitys entistä kevyemmäksi ja luotettavammaksi on olennaisesti vähentänyt ratkaisusta aiheutuvaa haittaa suhteessa saatavaan joustavuuteen. Dieselapumootoria käytetään operatiivisesti kuitenkin vain häiriötilanteissa ja varikkoalueella joihinkin hankalasti johdotettavissa oleviin siirtymisiin.



Kuva 2.5 Salzburgin uusi johdinauto, Solaris Trollino 18AC. (Kuva: Artturi Lähdetie)

2.9 Johdinauton energiatehokkuus

Johdinauto ajoneuvona hyödyntää tehokkaasti sen ajojohtoverkosta saaman energian. Sähköinen järjestelmä mahdollistaa myös helposti jarrutusenergian talteenoton ja säilömistä joko ajoneuvon omiin energiavarastoihin tai syöttämisen takaisin verkkoon. Ajoneuvon liikuttamiseen käytetystä energiasta saadaan jarrutuksissa talteen keskimäärin 35 % (Vossloh-Kiepe, SORT2).

Taulukoon 2.5.1 on koottu vertailevia laskelmia dieselbussin, hybridin ja johdinauton energiatehokkuudesta. Tähän vertailevaan tarkasteluun on johtanut kysymys, voisiko dieselhybridi olla energiatehokkuudessa kilpailukykyinen johdinauton kanssa. Vastaus on kielteinen, mutta sähköenergian

tuotantotavalla on pelkistetyssä energiaan keskittyneessä kysymyksenasettelussa merkittävä rooli. Liitteen luvussa 3 on käsitelty tarkemmin sähkön eri tuotantomuotoja.

Taulukossa on esitetty belgialaisen joukkoliikenne- ja energia-asiantuntijan Harry Hondiuksen laskelmat täydennettynä Suomen arvoilla sekä VTT:n ajoneuvotekniikan tutkimusprofessori Nils-Olof Nylundin osin VTT:n tekemiin mittauksiin perustuvat laskelmat. Hondiuksen laskelmat ovat moottorista-pyörälle vertailuja. Nylundin laskelmissa otetaan myös polttoaineen jalostuksen hyötysuhde huomioon (well-to-wheel).

Euroopan eri alueilla tuotetaan sähkö varsin vaihtelevilla tavoilla. Tätä kuvaamaan on Hondius valinnut johdinauton energiatehokkuutta tarkasteltaessa saksalaisen tuotantomallin. Olemme itse laskeneet lisäksi vastaavan laskelman Helsingin tuotantomallin mukaan. Saksassa on voimalaitosten tavoitearvona nk. kombivoimalaitos, jossa diesel- tai kaasuturbiini on sarjassa höyryturbiinin kanssa, jolloin päästään n. 60 % energiahyötysuhteeseen voimalaitoksella. Helsingissä oma tuotanto tapahtuu yhdistettynä lämmön ja sähkön tuotantona (CHP – Combined Heat & Power), jolle tyypillisesti ilmoitetaan n. 90 % hyötysuhde. Nylund käyttää sähkön tuotannon hyötysuhteena kaarella tapahtuvan sähköntuotannon hyötysuhdetta (Ecofys 2010-raportti).

Myös siirtoverkon häviöt ovat Euroopan eri alueilla erisuuruiset, koska jännitetasot ja siirtoverkon rakenne ovat erilaiset. Suomessa kantaverkko ja muut runkoverkon osat on rakennettu varsin myöhään, mikä on mahdollistanut edullisten jännitealueiden valinnan. Tasasähköosuudessa meidän on mahdollista säästää valitsemalla 750 V -järjestelmä vanhemman, mutta yleisesti vielä käytetyn 600 V -järjestelmän sijaan. Näistä syistä Helsingin energiahyötysuhde onkin korkeampi kuin Saksan vastaava tulos.

Dieselbussin hybridisoinnilla ja jarrutusenergian talteenotolla on VTT:llä mitattu saatavan 25 % säästö polttoaineenkulutuksessa. Johdinautoille energian talteenotosta esimerkkinä voitaneen pitää Vossloh-Kiepen antamaa tietoa Van Hool/Vossloh-Kiepe 18 m niveljohdinautojen vastaanotto-kokeista Milanossa. Siellä mitattiin jarrutusenergian talteenoton osuudeksi noin 30 % kokonais-energiasta.

Dieselbusseissa osa jarrutusenergiasta on jo nyt pystytty hyödyntämään matkustamon lämmitykseen. Johdinautojen kohdalla jarrutusenergian mahdollisia hyödyntämiskohteita ovat lämmityksen ja ajomoottoreiden lisäksi ilmastointi ja sähkökäyttöiset toimilaitteet. Siirrettäessä energia ajoneuvon ulkopuolelle ajojohtojärjestelmään aiheutuu siitä jonkin verran siirtohäviöitä. Samalla tavalla säilöittäessä jarrutusenergiaa akkuihin tai muihin energiavarastoihin aiheutuu häviöitä. Lisäksi energiavarastot lisäävät ajoneuvon painoa ja pienentävät hyötykuormaa.

Hyötysuhdetarkastelua: Dieselbussi, Dieselsähköinen hybridi, Johdinauto

| Diesel & hydromekaaninen vaihteisto (Hondius) | Diesel-sähköinen sarjahybridi (Hondius) | Johdinauto Saksassa (Hondius) | Johdinauto Suomessa (Hondius, Mättö, Lähdetie) | Dieselhybridi (Nylund, VTT) | Johdinauto (Nylund, VTT) |
|--|---|---|---|---|---|
| hyötysuhde | hyötysuhde | hyötysuhde | hyötysuhde | hyötysuhde | hyötysuhde |
| Dieselistä omakäytön jälkeen 42 % | Dieselistä omakäytön jälkeen 42 % | Lauhdevoimalaitos (Keski-Eurooppa) 60 % 380 - 150 kV verkko 98 % 150 - 6 kV jakelu 98 % DC-syöttöasema 97 % 600 VDC ajojohto 95 % | CHP-voimalaitos (Helen) 90 % 110 - 400 kV verkko 99 % 20 - 110 kV jakelu 99 % DC-syöttöasema 97 % 750 VDC ajojohto 96 % | Polttoaineen jalostus 87 % Dieselmoottori 40 % | Maakaasuun perustuva sähköntuotanto 47 % Sähkön siirto 95 % DC-syöttöasema 97 % 750 VDC ajojohto 96 % Apulaitekäytöt 97 % |
| Hyötysuhde ennen voimansiirtoa 42 % | 42 % | 53 % | 82 % | 35 % | 40 % |
| Voimansiirto | | | | | |
| Hydromekaaninen vaihteisto | Generaattori ja tasasuuntaaja | Generaattori ja tasasuuntaaja | Generaattori ja tasasuuntaaja | | |
| 93 % | 93 % | käytössä vain hidastuksissa vapautuvan energian talteenotossa 98 % | käytössä vain hidastuksissa vapautuvan energian talteenotossa 98 % | | |
| | IGBT-vaihtosuuntaaja 98 % sähkömoottori 93 % | IGBT-vaihtosuuntaaja 98 % sähkömoottori 93 % | IGBT-vaihtosuuntaaja 98 % sähkömoottori 93 % | Voimansiirto 55 % | Inverteri, moottori, voimansiirto, renkaat 70 % |
| kardaani 99 % tasauspyörästö 95 % | kardaani 99 % tasauspyörästö 95 % | kardaani 99 % tasauspyörästö 95 % | kardaani 99 % tasauspyörästö 95 % | | |
| Voimansiirron hyötysuhde 87 % | 80 % | 86 % | 86 % | 55 % | 70 % |
| Hyötysuhde pyörällä 37 % | 33 % | 46 % | 70 % | 19 % | 28 % |
| Jarrutuksen uudelleenhyödyntämisen vaikutus -- | 20% | Johdinauto kahdella vetävällä akselilla 2 x 17,5% | Johdinauto kahdella vetävällä akselilla 2 x 17,5% | 25 % | 25 % |

Lähteet:

Dr. Harry Hondius, Zürich 18. - 19. marraskuuta 2008, New Horizons for Urban Traffic, Kann der Hybridbus den Trolleybus ersetzen ? (Voiko hybridibussi korvata johdinauton?)

Suomen Raimo Mättö/Arttu Lähdetie, 10.2.2010

Energiatieteiden tutkimus ry, Sähkön käyttö ja verkostohäviöt 2008

Nils-Olof Nylund, TEC TransEnergy Consulting, muistio "Kommentteja johdinautoilikeenteen hankeselvitykseen 11.3.2011"

Taulukko 2.5.1 Johdinauton, dieselbussin ja hybridibussin hyötysuhteen tarkastelua. (Hondius 2008, Nylund 2011).**2.10 Apumoottorilla varustetut johdinautot**

Käytännöksi on viime aikoina muodostunut varustaa johdinautot jonkinlaisella apuvoimanlähteellä. Polttomoottorikäyttöisellä apuvoimanlähteellä varustettuja johdinautoja voidaan ajaa tarvittaessa ilman johtimia, mutta useimmiten pienehköillä alle 30 km/h nopeudella ja yleensä vain lyhyehköjä matkoja. Apumoottoareiden haitat ovat samat kuin muissakin hybridijärjestelmissä: ne lisäävät massaa eli vähentävät hyötökuormaa, vievät tilaa, sekä aiheuttavat sekä hankinta- että huoltokustannuksia. Pienestä koosta ja vähäisestä käytöstä johtuen, haitat ovat kuitenkin huomattavasti hybriditai duobussijärjestelmiä vähäisempiä.

Tyypillisiä poikkeustilanteita, joissa apumoottoria tarvitaan, ovat reitin varrella sattuneet onnettomuudet, rakennustyöt ja ajojohtojärjestelmän viat. Tällöin voidaan virroittimet laskea alas ja siirtää ajoneuvo omalla moottorilla sopivaan paikkaan ajojohtoilla varustetulle reitille. Kuljettajan täytyy käydä palauttamassa virroittimet käsin ajolangoille, mikä on kuitenkin varsin vaivaton ja nopea toimenpide. Reitille voidaan myös rakentaa automaattisen virroittimien palautuksen mahdollistavia pisteitä. Nykitekniikalla on lisäksi täysin mahdollista rakentaa apuvoimajärjestelmä, jolla voidaan ajaa lyhyehköjä matkoja tavanomaisella linjanopeudellakin. Vaatimuksena on riittävän suuren tehon antava energiavarasto sähkökäytön ja polttomoottorin lisäksi.

Toinen yleinen apumoottorin käyttötilanne liittyy huoltoihin ja varikkotoimintaan. Varikolla joudutaan ajoneuvoa varsin usein siirtämään johtimien ulottumattomissa oleville huoltopaikoille. Huoltohenkilökunnalla ei aina myöskään ole lupaa ajaa johdinautoja johtimien kanssa. Mm. Zürichissa huoltohenkilökunta saa siirtää johdinautoja ainoastaan apumoottorilla.

Useimmiten apumoottorina on pieni dieselmoottori, sillä niitä voidaan huoltaa samalla tavalla kuin dieselbussienkin moottoreita. Dieselmoottorit ovat tekniikaltaan vakiintuneita ja niitä on yleisesti helposti saatavissa. Usein johdinautot huolletaan dieselbussien kanssa samalla varikolla, jolloin dieselmoottorin huolto ei aiheuta suurta lisävaivaa.

Joku muu apuvoimanlähde voisi olla kuitenkin teknisesti käytännöllisempi, sillä apumoottoria ei nimensä mukaisesti käytetä normaalissa liikennöinnissä, joten sen käyttöaika jää koko elinkaarensa aikana hyvin vähäiseksi. Teho-painosuhteeltaan dieseliä parempia voimanlähdeitä olisivat esim. bensiini- ja etanolipolttomoottorit tai mikroturbiinit. Ne ovat myös hinnaltaan diesel-moottoria edullisempia ja niiden lähipäästöt ovat osin pienempiä. Solingenin johdinautojärjestelmän edellinen sukkupolvi oli varustettu kuplavalvokareista tutulla pienellä bensiinibokserimoottorilla.

2.11 Osan matkaa ilman johdinyhteyttä kulkevat johdinautot

Edellä kuvatuista perinteisen johdinauton reittiä rajoittavista ongelmista voitaisiin päästä eroon, jos johdinautot pystyisivät kulkemaan jonkin matkaa ilman johtimia. Johtimettoman kulun voisivat tällöin tarjota riittävän tehokkaat energiavarastot, joista on luvussa 3 tarkempi esittely. Energiavaran suuruus ratkaisee kuinka pitkän matkan johdinauto pystyy liikkumaan ilman johtimia. Mielekkään toiminnallisuuden kannalta voidaan vähimmäistavoitteena pitää yhtä pysäkinväliä.

Tämän selvityksen puitteissa haettiin vastausta kysymykseen olisiko teknistaloudellisesti perusteltavissa, että Helsinkiin mahdollisesti hankittavat johdinautot olisi varustettu järjestelmällä, joka mahdollistaisi osittain johdottoman liikennöinnin. Missään kaupungissa ei tällainen toimintatapa ole vielä lyönyt itseään läpi. Siitä saatavat hyödyt olisivat kuitenkin niin merkittäviä linjaston muodostumisen sekä ajojohtojen, syöttöasemien ja varikon rakenteen ja kustannusten kannalta, että johdottoman ajon mahdollisuuden selvittäminen oli yksi tämän selvityksen pääkysymyksistä.

Roomassa otettiin käyttöön akkuvoimalla keskustassa muutaman kilometrin kulkeva järjestelmä, mutta nyttemmin sinne rakennetaan kattava ajojohtojärjestelmä ja akut jäävät vain varavoimakäyttöön. Syynä akkujärjestelmästä luopumiseen oli itse akkujen tiheä uusimistarve ja siitä aiheutuvat korkeat kustannukset. Myös Landskronassa Ruotsissa käytössä oleva pieni johdinautojärjestelmä toimii osan reitistään akkujen voimin. Sielläkin uusin kalusto on tilattu ilman operatiivisessa liikennöinnissä käytettävää akkujärjestelmää.

Vallitsevasta optimismista kuitenkin kertoo mm se, että sähkölaitevalmistaja Cegelec on luvannut Eberswaldin toimituksen yhteydessä (vuoden 2009 lopulla) kehittää yhdessä paikallisen liikennelaitoksen (BBG) kanssa energiavarastoon perustuvan ratkaisun, joka mahdollistaa n. 5 km mittaisen johtimista vapaan liikkumisen. Nykyiset superkondensaattoreihin perustuvat järjestelmät antavat vain muutaman sadan metrin johdottoman toimintasäteen. Yksi tällainen Solariksen ja Cegelecin rakentama ajoneuvo on ollut koekäytössä ympäri Eurooppaa, mm. Tallinnassa.

2.12 Virroittimien kehitys

Olenainen osa johdotonta ajoa on virroittimen noston ja laskun juoheva toiminta. Osan matkaa ilman johtimia kulkevien ajoneuvojen sekä pysäkeillä lataavien ajoneuvojen kohdalla virroittimien toiminnan hallitseminen on vielä intensiivisen kehityksen alla. Johdinauton virroittimien aisat on jo uusissa ajoneuvoissa varustettu turva-automaatiikalla, joka laskee ne hallitusti alas häiriötilanteissa laajemman vahingon välttämiseksi. Sen sijaan nostojärjestelmät ovat teknisesti vielä sangen kehit-

tymättömät. Yleisin tapa saada johdinauton virroittimet asettumaan automaattisesti ajolangoille on käyttää ohjauskouruja, jotka ohjaavat virroitinpäät ajolangoille.

Syynä nostoautomaatiikan vähäiseen kehittymiseen on ollut se, että suurimmat asiakkaat, eli perinteiset johdinautokaupungit eivät ole kokeneet sitä vielä kovin tarpeelliseksi. Virroittimien kehityksessä olisi kuitenkin nähtävissä tilaisuus mm. erilaisiin tunnistimiin perustuville antureille. Tällaisia ohjaus- ja tunnistusjärjestelmiä on käytössä mm. metsätyökoneiden työpäässä. Tässä selvityksessä katsottiin kuitenkin, että olemassa olevaan virroitintekniikkaan pitäytyminen on järjestelmän suunnitteluvaiheessa järkevintä. Tulevaisuudessa virroittimien kehittyessä, voidaan linjastoa tarpeelliselta ja järkeviltä osilta helposti kuitenkin muuttaa hyödyntämään uusinta tekniikkaa.



Kuva 2.6.1 Vossloh-Kiepe OSA500-mallinen virroitin jossa on nosto- ja laskuautomaatiikka. (Kuva: Artturi Lähdetie)

2.13 Pysäkeillä tai pääteasteissa lataava sähköbussi

Johdinautosta seuraava askel sähköisessä linja-autoliikenteessä on sähköbussi, joka lataa itsensä reitin pääteasteilla tai pysäkeillä. Lataus voidaan toteuttaa joko ajoneuvon ylä- tai alapuolisella virroitusjärjestelmällä, joka voisi mahdollisesti toimia myös ilman mekaanista kontaktia sähkömagneettisen induktion avulla.

Pysäkeillä itsensä lataava linja-auto on täysin sähköinen ajoneuvo, jonka lähipäästöt ovat olemattomat. Verrattuna perinteiseen johdinautoon se on kaupunkikuvallisesti huomattavan erilainen, sillä johdinjärjestelmiä olisi vain pysäkkien alueilla. Induktiolla lataavissa järjestelmissä ei välttämättä ole lainkaan näkyviä komponentteja.

Pysäkeillä latautuvat linja-autot pystyisivät operoimaan reiteillä suhteellisen vapaasti. Ainoastaan pysäkkien väli sekä latausmahdollisuudella varustettujen pysäkkien määrä vaikuttaa siihen minkälaisia reittejä voidaan operoida. Teknisesti tällaisten järjestelmien toimivuus on jo osoitettu, mutta niiden taloudellisuudesta ja käytettävyydestä ei ole vielä luotettavia tietoja.

Kiinassa Shanghaissa on käytössä superkondensaattoreita energiavarastonaan käyttävä johdinautojärjestelmä, jossa ajoneuvot ladataan pysäkkien yläpuolelle sijoitetuista johtimista. Järjestelmää on laajennettu vuoden 2010 maailmannäyttelyä varten. Hankintahinnaltaan bussi on akkubussin tasoa. Lataamisen mahdollistava pysäkki-infra maksaa noin 100 000 €/pysäkki. Kun energiavarastot 5 km:n pituisen linjan päissä ladataan täyteen, riittää energia, mikäli bussi pysähtyy joka pysäkillä lataamaan 20 sekunnin ajaksi. Pekingissä taas on käytössä akkubusseja, joiden litium-ioni-akut vaihdetaan linjan päätepisteissä ja ladataan siellä. Torinossa on ollut käytössä vuodesta 2002 järjestelmä, jossa ajoneuvot lataavat akkujaan jokaisella pysäkillä maahan sijoitettua induktiivista tekniikkaa käyttäen ja päätepysäkeillä suoritetaan täydentävä lataus, joka kestää tyypillisesti n. 7 minuuttia.



Kuva 2.7. Shanghain Expo2010 superkondensaattorijohdinauto lataamassa pysäkillään. (Kuva: Shanghai Aowe Technology)

Liikenteen kannalta merkittävimpiä kysymyksiä on miten pitkään energiavaraston lataus kestää, sillä lataus ei saa hidastaa normaalia liikennettä eikä saa aiheuttaa kuljettajalle kohtuutonta lisävaivaa. Samaten energiavaraston paino vaikuttaa käyttökelpoisuuteen. Nykyisellä tekniikalla noin kilometrin toimintasäteen antava 2,5 kWh superkondensaattorilaitteisto painaa n. 2500 kg. Super-

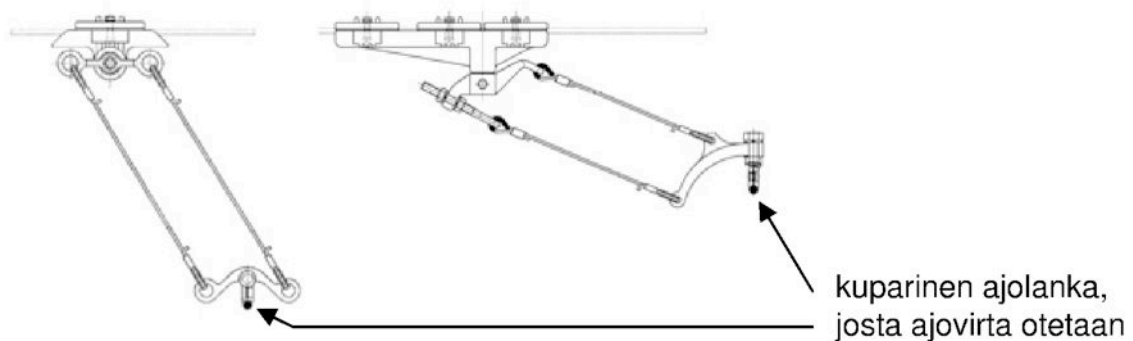
kondensaattoreiden energiasisällöstä käytetään tyypillisesti korkeintaan 90 %. Tällaisen järjestelmän lataus tyypillisellä ajojohtojärjestelmän maksimivirralla (800A / 750V) kestää n. 20 sekuntia. Latausmahdollisuus pitäisi rakentaa jokaiselle pysäkille, mutta nykyinen sähköverkko ei mahdollista riittävän suurta virran syöttöä kaikkien pysäkkien kohdalla, joten järjestelmä vaatisi vahvistuksia myös sähköverkkoon.

Huolimatta akkubussien koejärjestelyistä, ei kaupallista toimivaa ratkaisua ole näköpiirissä ainakaan seuraavan 10 vuoden aikana. Superkondensaattoreiden tehotiheyden ei oletta enää kasvavan yhtä nopeasti kuin aikaisemmin. Akkujärjestelmien hintaan ja kehitykseen vaikuttaa henkilöauto-puolella tehtävä tutkimus- ja kehitystyö sekä sarjatuotanto. Vaikka henkilöautoissa odotetaan ensimmäisten täysin akuilla toimivien autojen tulevan laajempaan tuotantoon 2010 luvun aikana, ei bussikäyttöä voida odottaa nähtävissä olevalla aikavälillä. Sähköhenkilöautoilla tehtävät matkat ovat lyhyitä ja ajoneuvoa oletetaan ladattavan useaan otteeseen. Linja-autot ovat tyypillisesti liikenteessä koko päivän eikä pitkiä latausaikoja voida pitää mahdollisina.

3 Ajojohtojärjestelmä ja sähkön syöttö

Johdinautojen ajojohtojärjestelmä koostuu ripustusrakenteista, ajolangoista ja syöttö- ja paluuvirtajohtimista sekä lukuisista erityisrakenteista kaarteisiin, risteyksiin ja haaraumiin. Ajojohdolla tarkoitetaan ensisijaisesti verkoston lineaarisia rakenteita kokonaisuutena (vrt. ratajohto sähköistetyin raideliikenteen yhteydessä). Ajolangalla (tai ajolangoilla) puolestaan ymmärretään sitä rakenteen osaa, josta virroitin ottaa ajovirran.

Nykyaikaisella johdinjärjestelmällä voidaan tavanomaisesti saavuttaa 75-80 km/h liikennöintinopeudet. Normaalisti ajolangoilla käytetään pendeliripustusta ja ripustukseen rakennetaan siksakraitiovaunun ratajohdon tapaan, vaikkakin eri syystä. Johdinautossa pendeliripustuksella ja siksakilla kompensoidaan merkittävä osa ajolangan lämpötilanmuutoksista johtuvasta pituusvaihtelusta (riippumasta). Nopean ajonopeuden osuuksilla voidaan lisäksi käyttää painokiristeisiä ajolankoja. Painokiristeinen ajojohto on normaalia hieman kalliimpi rakentaa. Erityispaikoissa, kuten varikoilla ja risteyksissä, voidaan käyttää myös jäykkää ajolangan ripustusta.



Kuva 3.0. Johdinauton ajolangan ripustusjärjestelmä. Vasemmalla suorille osuuksille tarkoitettu ajolangan ripustus, oikealla kaarteisiin tarkoitettu ajolangan ripustus. (Kummeler+Matter, 2009)

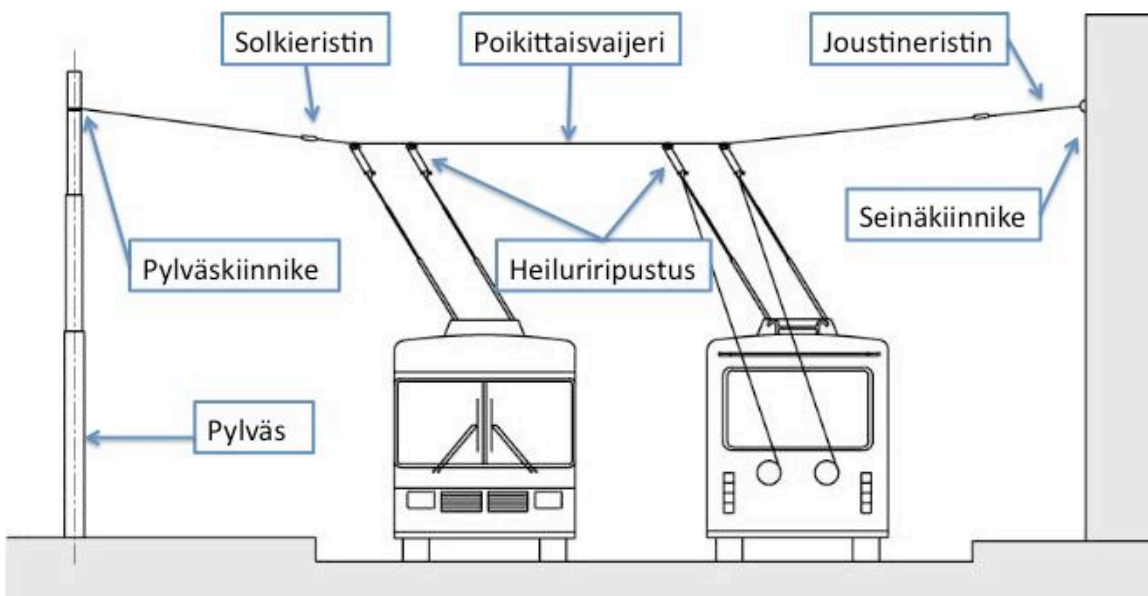
3.1 Ajojohdot ja vaihteet

Johdinauton ajojohto koostuu kahdesta ajolangasta sekä ajolangan ripustusjärjestelmästä, johon kuuluu ajolangan kiinnikkeet, eristimet, poikittaiset ripustusvaijerit sekä seinä- tai pylväskiinnikkeet. Lisäksi tarvitaan vaihteita ja risteämäkappaleita. Ajolankojen tavanomainen asennuskorkeus on 5,5 metriä kadun pinnasta. Johdinauto ei voi käyttää raitiovaunun kanssa yhteisiä ajojohtoja, sillä johdinauton paluuvirta syötetään toista ajolankaa pitkin toisin kuin raitiovaunussa, jossa kiskot toimivat paluuvirran kulkutienä.



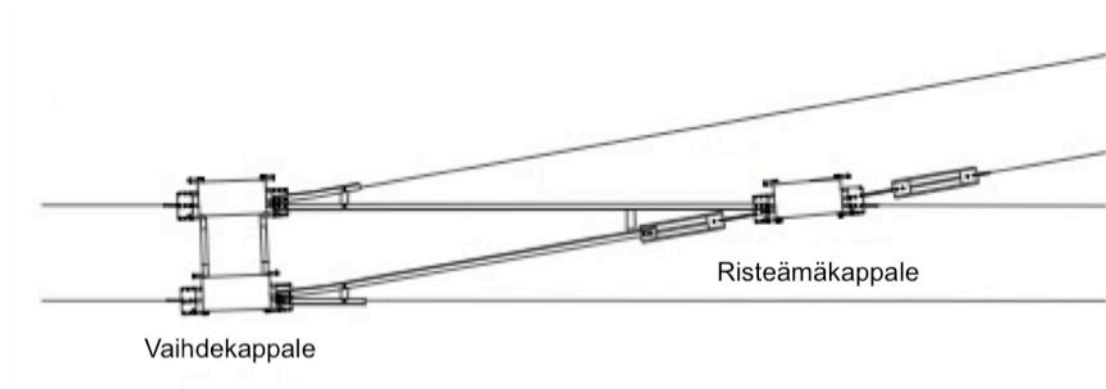
Kuva 3.1-1 Joustavasti kiinnitetty johdinauton ajojohto Eberswaldessa. (Kuva: Raimo Mättö)

Ajojohdot ripustetaan joko pylväiden tai seinäkiinnitysten avulla. Kiinnitystapa riippuu aina kohteesta. Tiheästi rakennetussa kivi-kaupungissa voidaan käyttää pääasiassa seinäkiinnityksiä, jotka ovat pylväskiinnityksiä halvempia rakentaa. Seinäkiinnikkeillä rakennetut ajojohdot on varustettu rakennusten runkoon välittyvää melua vaimentavilla joustimilla (kuva 3.2-2). Seinäkiinnikkeiden kanssa ajojohdot ripustetaan kadun ylittävään poikittaiseen tukivaijeriin. Pylväskiinnityksessä ajojohto ripustetaan joko kahden pylvään väliseen poikittaiseen tukivaijeriin tai vain yhden pylvään avulla käyttäen kääntöortta. Ajojohdon ripustuksessa on mahdollista hyödyntää osittain olemassa olevia raitiovaunun ajojohdon seinäkiinnikkeitä, poikittaisvaijereita sekä pylväitä.



Kuva 3.1-2 Poikkileikkaus johdinauton kaksisuuntaisesta ajojohdosta. (Kummler+Matter)

Johdinauton ajojohtoon on rakennettava sähköisesti ohjattavat vaihteet niille kohdin linjastoa, joissa reitit erkanevat toisistaan. Samaten niihin kohtiin linjastoa, joissa reitit yhdistyvät tarvitaan vaihde, joka tosin on sähköistä vaihdetta yksinkertaisempi mekaaninen liittymisvaihde. Kuvassa 3.1-3 on esitelty johdinauton ohjattava vaihde sekä siihen liittyvä ajolankojen risteämäkappale. Vaihteen kuuluu myös vaihdeopastin.



Kuva 3.1-3 Kahden johdinautoreitin haarautumiseen tarvittava vaihdejärjestely. (Kummeler+Matter)

Mahdollista virroittimien automaattista nostoa varten linjastolle on sijoitettava ohjauskouruja, joiden avulla virroittimet kiinnittyvät ajolankoihin. Ohjauskourut mahdollistavat virroitinaisojen automaattisen kiinnittämisen esim. silloin, kun jokin osa reitistä ei ole rakennustyömaiden, onnettomuuden tai ajojohtoverkoston korjaustöiden vuoksi käytettävissä.

Johdinautoliikenne ei tarvitse kiskoliikenteelle monesti tarpeellista turvalaitejärjestelmää.

3.2 Ajojohtojärjestelmä suunnitelluissa linjastoissa

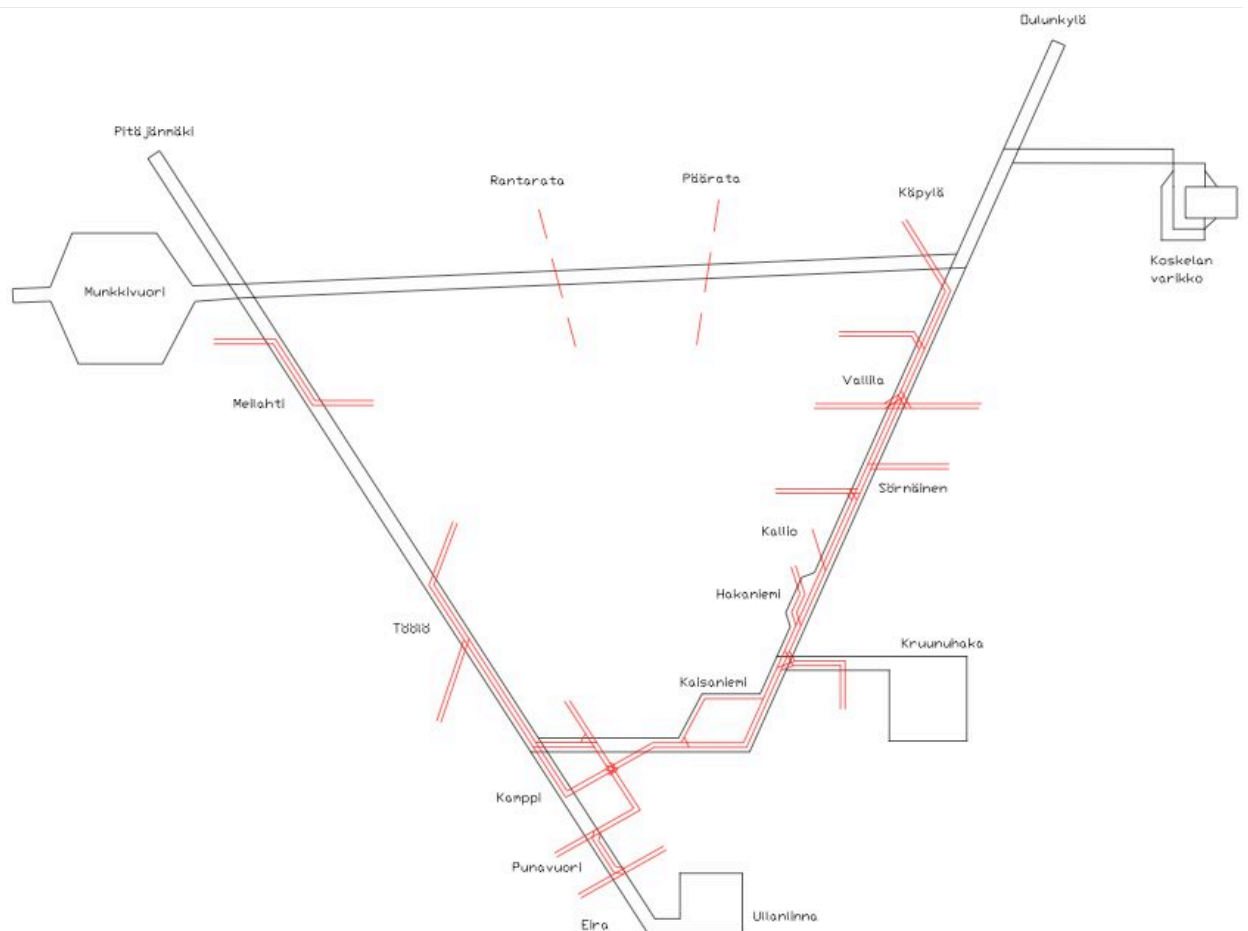
Tässä selvityksessä laskettiin tarkasti kustannukset ajojohto- ja sähkönsyöttöjärjestelmille mikäli ne rakennettaisiin raportissa esitetyille linjavaihtoehtojen reiteille. Kukin reitti jaettiin 100-500 metrin mittaisiin osiin ja jokaista reitin osaa ja sen vaatimia ajojohtojärjestelmiä tarkasteltiin erikseen. Jokaiselle reitin osalle määriteltiin käytettävä ripustustapa (seinä/pylväs/kääntöorsi) kummallekin puolelle katu erikseen. Kivikaupungissa voidaan käyttää seinäkiinnikkeitä useammin kuin kaupungin ulkopuolella. Sen lisäksi arvioitiin tarvittava ripustuspisteiden jänneväli ja tarvittavien poikittaisvaijeiden määrä. Kaarteissa ja risteyksissä ripustuspisteitä tarvitaan huomattavasti enemmän kuin suorilla osuuksilla.

Suunnitelluille johdinautolinjastoille laskettiin erilaisten kiinnikkeiden tarpeet sen perusteella, millaisessa ympäristössä johdinautojen reitit kulkevat. Taulukossa 3.2-1 on esitetty tarvittavien erilaisten kiinnityspisteiden määrä sekä tarvittava ajolangan pituus. Ajolangan pituus on laskettu huomioiden eri reittien yksi- ja kaksisuuntaiset ajojohdot.

Taulukko 3.2-1 Kiinnitysten ja ajolangan määrä eri linjastovaihtoehdoissa.

| Linjastovaihtoehto | | A | A- | B | C |
|--------------------------------------|-----|------|-------|-------|-------|
| Pylväät ja perustukset | kpl | 2988 | 1 505 | 3 636 | 3 296 |
| Seinäänkkurointi | kpl | 1200 | 807 | 1 667 | 484 |
| Kannatusvaijerit (poikittaisjänteet) | kpl | 2792 | 1 541 | 3 535 | 2 520 |
| Ajolankaa | km | 224 | 110 | 258 | 220 |

Kaikissa kohdissa, joissa johdinautolinjasto risteää joko itsensä tai raitiovaunun ajojohdon kanssa tarvitaan risteyskappale. Kuvassa 3.2-2 on esitetty linjastovaihtoehdon A- ja raitiotien risteämäkohdat. Taulukossa 3.2-3 on laskettu eri linjastovaihtoehtojen tarvitsemat vaihteet ja risteämäkappaleet.



Kuva 3.2-2 Johdinautolinjaston A- ja raitiotien ajojohdon risteämäkohdat. Johdinautolinjasto on esitetty mustalla ja raitiotielinjasto punaisella siltä osin kun se risteää johdinautolinjaston kanssa. (Kenneth Strandberg)

Taulukko 3.2-3 Risteämien ja vaihteiden lukumäärä eri linjastovaihtoehdoissa.

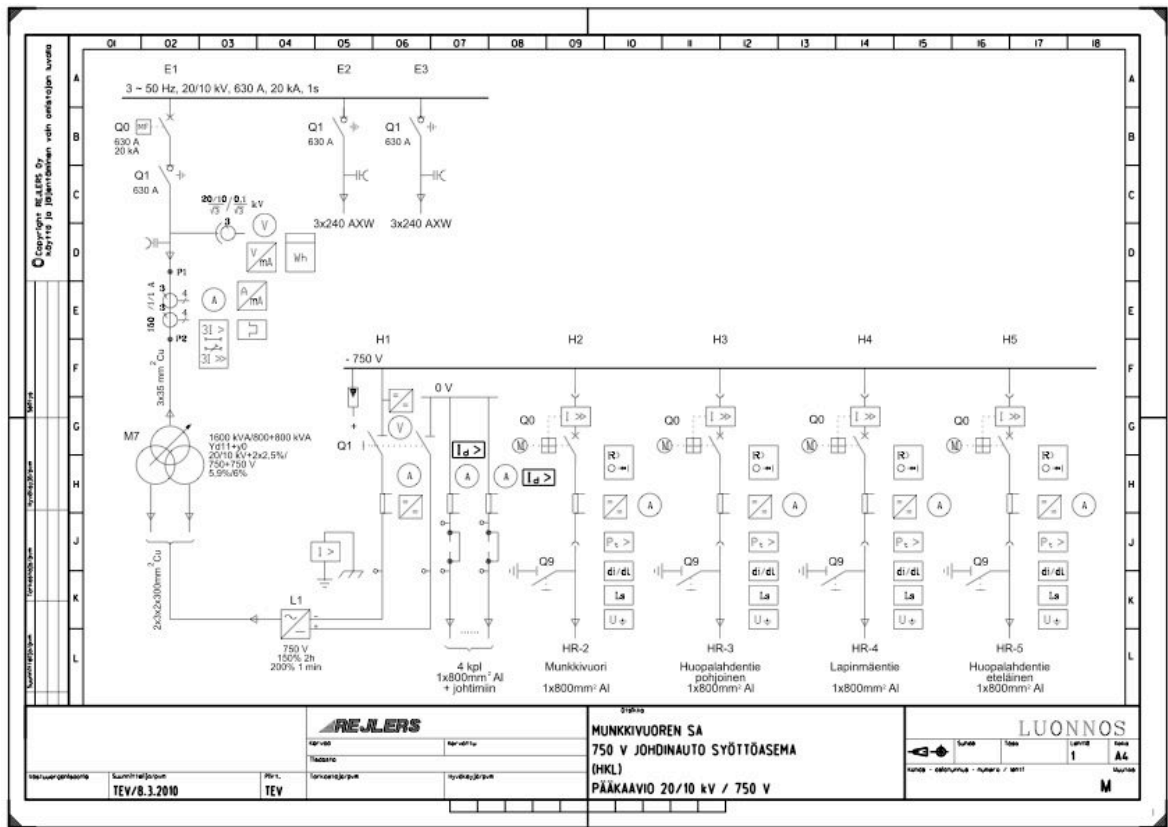
| Linjastovaihtoehto | | A | A- | B | C |
|--------------------------------------|-----|------|-------|-------|-------|
| Pylväät ja perustukset | kpl | 2988 | 1 505 | 3 636 | 3 296 |
| Seinäankkurointi | kpl | 1200 | 807 | 1 667 | 484 |
| Kannatusvaijerit (poikittaisjätteet) | kpl | 2792 | 1 541 | 3 535 | 2 520 |
| Ajolankaa | km | 224 | 110 | 258 | 220 |

3.3 Sähkösyöttöasemat

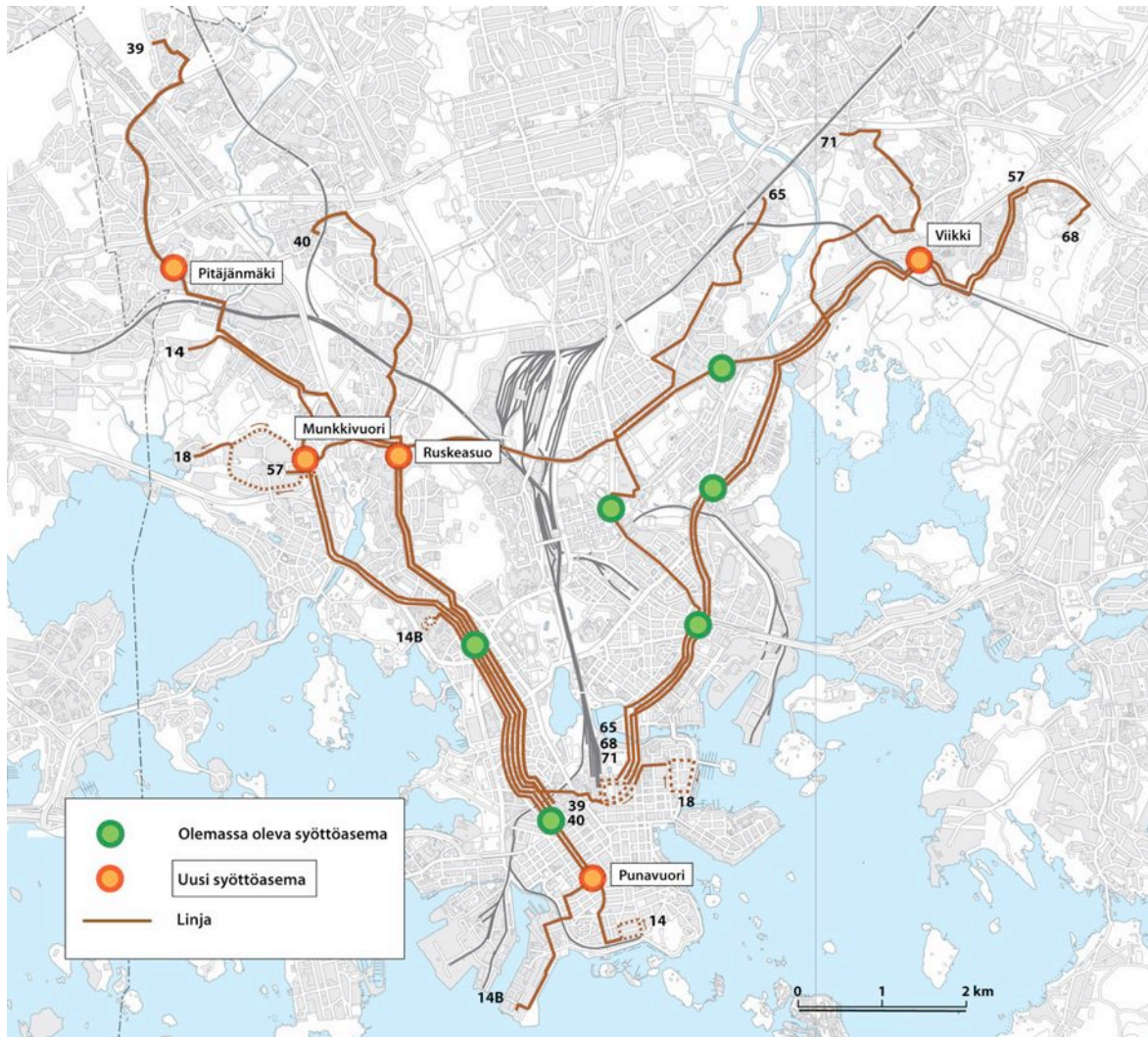
Johdinauton tarvitsema sähkö syötetään erityisiltä tasavirran syöttöasemilta, joilta virta siirretään syöttökaapeleita pitkin ajojohdolle. Yksi syöttöasema pystyy syöttämään useita eri reitistön haaroja. Erillisiä lähtöjä voi yhdellä syöttöasemalla olla yhdestä kymmeneen. Syöttöaseman tärkeä ominaisuus on vikatilanteissa tapahtuva virran katkaisu. Tätä varten syöttöasemat on varustettu vikoja havaitsevilla releillä ja nopeaan tasavirran katkaisuun kykenevillä katkaisijoilla.

Tyypillinen johdinautojärjestelmän syöttöpisteiden väli on 2-3 kilometriä. Syöttöjaksot erotetaan toisistaan sähköisesti ryhmyseristimillä (HKL: jaksoerotin). Yhden syöttöaseman putoamisen aiheuttaman häiriön eliminoinemiseksi varustetaan syöttöpisteet ja syöttöjaksojen väliset pisteet joko kaukokäyttöisillä tai joskus käsikäyttöisillä erottimilla. Näin syöttöjaksolle voidaan tarvittaessa saada syöttö naapuriasemalta oman aseman rikkoutuessa. Usein käytetään myös kaksisuuntaista syöttöä, mutta tämä vaatii suojaukseen lisäteknikkaa.

Helsingissä syöttöasemat on kytketty joko omaan 10 kV:n verkkoonsa tai normaaliin 20 kV:n jakeluverkkoon. Johdinautoille ja raitiovaunulle on mahdollista osin hyödyntää yhteisiä tasavirran sähkösyöttöasemia. Linjalähdöt tulee johdinautolle ja raitiotielle kuitenkin tehdä erillisiksi paluuvirran valvontaan liittyvistä syistä (yleinen sähköturvallisuus). Tasavirtasyöttöasemat ovat perusrakenteeltaan yhdenmukaiset raitiotien kanssa, mutta tehovaatimukset voivat johdinautoille kuitenkin olla merkittävästikin pienemmät. Kuvassa 3.3-1 on esitetty raportin A ja B linjastovaihtoehdoissa tarvittavan, uuden Munkkivuoreen sijoitettavan sähkösyöttöaseman pääkaavio. Kuvassa 3.3-2 on esitetty A vaihtoehdon johdinautojärjestelmän syöttöasemien paikat. Osa syöttöasemista on nykyisiä raitiovaunun tai metron syöttöasemia, Osa on kokonaan uusia syöttöasemia.



Kuva 3.3-1 Johdinauton sähkönsyöttöaseman pääkaavio Munkkivuoreen SA (Kenneth Strandberg)



Kuva 3.3-2. Johdinautojärjestelmän tarvitsemat syöttöasemat ja niiden sijainti.

Taulukossa 3.3-3 on esitetty eri linjastovaihtoehtojen tarvitsema johdinauton sähkönsyötön linjalähtöjen määrä. Taulukossa on myös esitetty tarvittavien kokonaan uusien syöttöasemien määrä. Uusia sähkönsyöttöasemia tarvitaan etenkin niille osin linjastoa, jossa ei ole olemassa olevaa raitiotieliikennettä. Uusia syöttöaseman paikkoja olisivat esim. linjastovaihtoehdossa A Munkkivuori, Viikki ja Hernesaari.

Sähkö siirretään syöttöasemalta ajojohdolle syöttökaapeleilla. Ajojohtojärjestelmä on jaettu syöttöpisteiden mukaisesti sähköisiin ryhmiin huomioiden mahdollisuus syöttää sähköä kullekin ryhmälle kahdelta eri syöttöasemalta. Tätä järjestelyä varten ajojohtoon on asennettava ryhmyseristimiä sekä kauko-ohjattavia erottimia. Näiden määrät on esitetty taulukossa 3.3-3.

Taulukko 3.3-3 Syöttöasemien ja linjalähtöjen määrä eri linjastovaihtoehdoissa.

| Linjastovaihtoehto | | A | A- | B | C |
|--|-----|------|-----|-----|-----|
| Tarvittavat uudet syöttöasemat ilman kiinteistöä | kpl | 5 | 1 | 6 | 6 |
| Linjalähdön katkaisija ja rele | kpl | 37 | 16 | 35 | 24 |
| Syöttökaapelit | km | 10,6 | 3,2 | 9,4 | 5,6 |
| Syöttöpisteet ja erottimet | kpl | 96 | 48 | 105 | 72 |

3.4 Ajojohtojärjestelmät Suomessa aiemmin

Suomessa aiemmin käytössä olleet johdinautojärjestelmät olivat Helsingissä ja Tampereella. Näiden kaupunkien ajojohtojärjestelmät poikkesivat toisistaan muutamalta olennaiselta osalta, mikä vaikutti etenkin Helsingin johdinautojärjestelmän virroittimen heikkoon käytettävyyteen.

Helsingissä ajojohtojärjestelmän rakensi ja suunnitteli liikennelaitoksen raitiotieyksikkö. Järjestelmä rakennettiin käyttäen pitkälti raitiovaunujen ajojohtojen rakentamisessa käytettyjä komponentteja ja rakenneratkaisuja. Ajojohtojen ripustukset olivat tällöin pääsääntöisesti jäykkiä ja muodostivat teräviä kulmia, jotka aiheuttivat helposti virroittimen irtoamisen ajojohdosta. Kun ajolangat ripustetaan jäykästi ilman virroituksen dynamiikkaan tarvittavaa elastisuutta, muodostuu jokaisen ripustuspisteen kohdalle terävä (pystysuuntainen) kulma. Virroittimen osuessa kovalla vauhdilla tähän kulmaan, aiheutuu siihen suuri kiihtyvyys, joka voi saada virroittimen irtoamaan ajojohdosta etenkin mutkissa. Jäykkä ripustus ei myöskään kompensoi lämpöpiteneimisestä aiheutuvaa riippumaa. Taitava kuljettaja osasi ennakoida vaikeat kohdat ajojohdossa ja siten hieman varoa mahdollista virroittimen irtoamista. Helsingin johdinautojärjestelmän huono luotettavuus johtui pääosin tästä rakenteellisesta heikkoudesta.



Kuva 3.4-1 Jäykästi ripustettu ajojohtojärjestelmä Helsingissä. Vasemmalla näkyvät johdinauton ajolangat, jotka on ripustettu samalla tavalla kuin raitiovaunun ajolanka. Kuvasta näkyy myös kuinka johdinauto voi väistää viereiselle kaistalle, mutta ei ohittaa toista johdinautoa ilman virroittimen laskua. (Kuva: Juhani Katajisto)

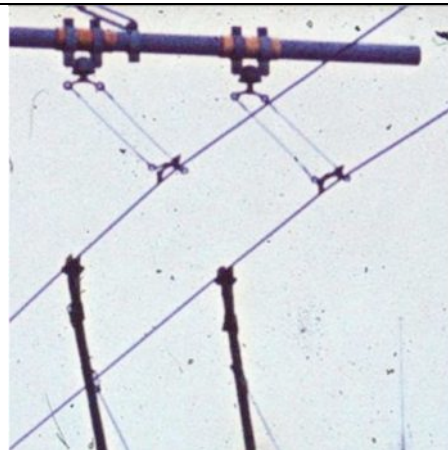
Tampereella ajojohtojärjestelmä rakennettiin sveitsiläisen Kummeler+Matter -yrityksen kehittämään heiluriripustukseen perustuvalla tekniikalla, johon oppia haettiin Tukholmasta. Materiaalit saatiin paljolti Suomesta ja asennuksen teki paikallinen sähkölaitos. Tampereen järjestelmässä olennainen ero Helsingin järjestelmään oli se, että ajolangat ripustettiin heiluriperiaatteella elastisesti eikä jäykästi. Tällöin ajolankaan ei päässyt tulemaan teräviä kulmia ripustuspisteiden kohdalle ja virroitimen kulku ajolangalla oli juohevaa ja luotettavaa. Todettakoon, että heiluriripustus täydennettynä sik-sakilla myöskin kompensoi suurimman osan lämpölaajenemisen vaikutuksista (riippumasta).



Kuva 3.4-2. Tampereen johdinautojen ajojohtojärjestelmän joustava ripustus Sammonkadulla. (Kuva: Mikko Alameri)



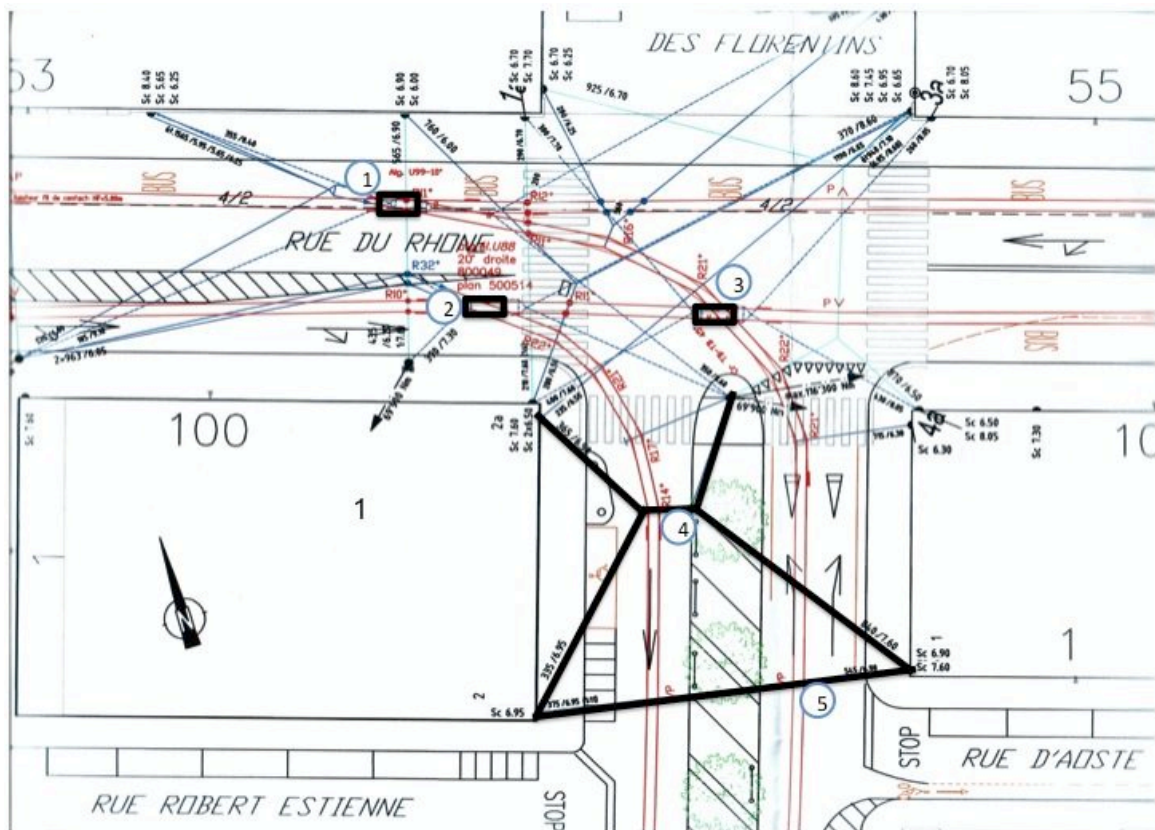
**Kuva 3.4-3 Jäykkä ajolangan ripustuspiste Helsingin Topeliuksen kadulla
(Kuva: Taimo Tuomi / SRS arkisto)**



**Kuva 3.4-4 Joustava ajolangan ripustuspiste Tampereen Sammonkadulla
(Kuva: Taimo Tuomi / SRS arkisto)**

3.5 Ajojohtojärjestelmän esimerkki

Seuraavassa on esitetty esimerkkipiirros (kuva 3.5-1) yhdestä johdinautojen risteuksen toteutuksesta. Kyseessä on Sveitsissä Genevessä sijaitseva Rue du Rhonen ja Rue d'Italien risteys. Tässä risteyksessä Rue du Rhonea itään kulkeva johdinautolinja kääntyy etelään Rue d'Italielle. Vastavasti Pohjoiseen Rue d'Italieta kulkeva johdinautolinja kääntyy länteen Rue du Rhonelle.

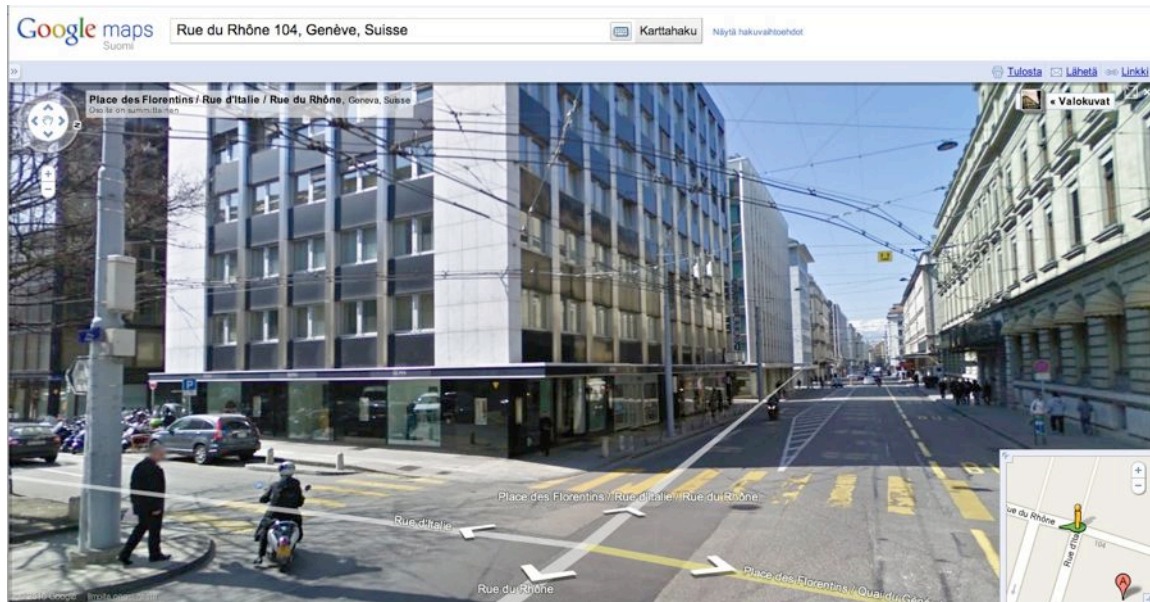


Kuva 3.5-1 Johdinautolinjat Rue du Rhonen ja Rue d'Italien risteyksessä. (Kummler+Matter)

Kuvassa on punaisella esitetty ajojohdot ja sinisellä ajojohtojen tukivaijerit. Kuvassa on erikseen tummennettu seuraavat kohdat:

1. Myötävaihde
2. Sähköisesti ohjattava vastavaihde
3. Trolli-trolli-risteämä
4. YY-poikittaisvaijeri
5. Tavallinen poikittaisvaijeri

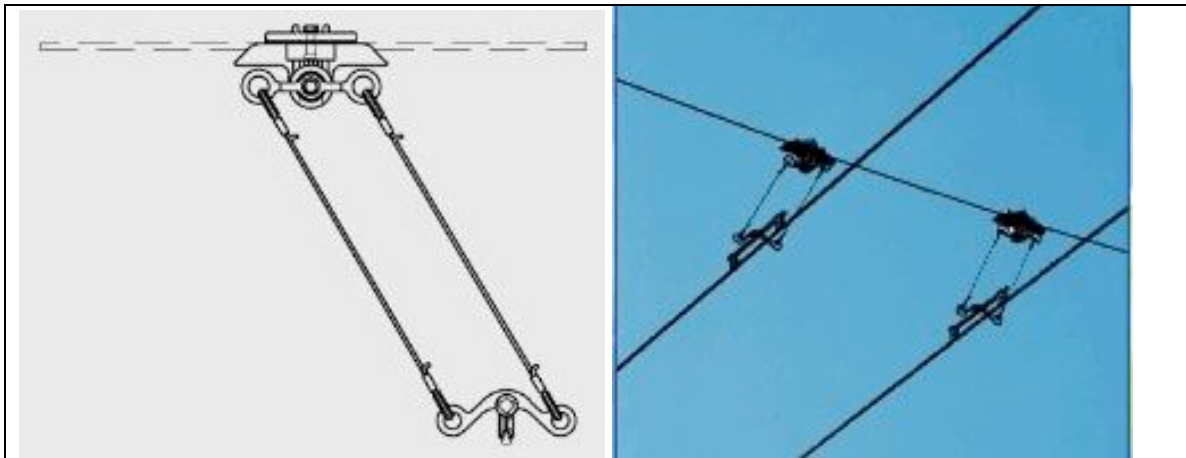
Kyseisen risteyskseen tilannetta pystyy tarkastelemaan kätevästi Googlen Streetview-palvelun avulla (kuva 3.5-2). Helpoiten kuvan kohdan löytää, kun etsii osoitteen Rue du Rhone 104, Geneve ja valitsee katselusuunnan länteen. <http://maps.google.com/>



Kuva 3.5-2. Rue du Rhône ja Rue d'Italien risteys Google Streetview-palvelussa.

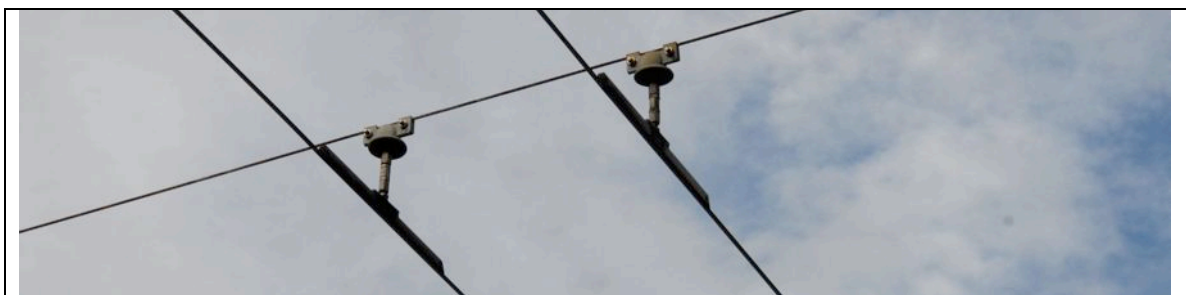
3.6 Ajojohtojärjestelmän komponentit

| | |
|---|--|
| | |
| <p>Ajolanka</p> <p>Ajolanka – joko pyöreä profiili tai leveä profiili. Pinta-ala useimmiten 100 mm² tai 120 mm² joko Cu-ETP tai CuAg. Leveällä profiililla päästään parempaan virroitukseen ja virroitinhiili kuluu vähemmän, mutta kaarteiden on oltava laakeampia.</p> <p>Johdinauto tarvitsee kaksi ajolankaa yhtä ajosuuntaa kohden.</p> | |



Joustava ajolangan ripustus

Joustava ripustus on heilurimainen rakenne, joka sallii ajolangan elastisen siirtymisen kahdessa dimensiassa. Ripustuspiste vetää ajolankaa aina joko oikealle tai vasemmalle. Kun ajolanka kiinnitetään vuoron perään oikealle ja vasemmalle vetäviin ripustuspisteisiin, tulee siitä automaattisesti lämpölaajenemisesta aiheutuvan pituuden muutoksen kompensoiva järjestelmä.



Jäykkä ripustus (eräs rakenneratkaisu)

Jäykkää ripustusta käytetään usein tilanteissa, jossa ajolangan lämpölaajenema ei merkittävästi haittaa ja toisaalta joustavan ripustuksen tekeminen olisi monimutkaista. Tällaisia paikkoja ovat usein esim. varikot.



Kaarrekisko ajolangassa kiinni

Tätä rakennetta käytetään kaarteissa, joissa normaali ripustuspiste aiheuttaisi ajolankaan liian jyrkän kulman. Kaarrekiskolla jaetaan kaarten ripustuspisteen aiheuttama voima pidemmälle matkalla ajolangassa, jolloin siihen ei tule teräviä kulmia. Ajolanka kulkee normaalisti kaarrekiskoon ankkuroituna eikä sitä tarvitse katkaista tai eristää muusta rakenteesta. Kaarrekiskoja on kaarten jyrkkyydestä riippuen eripituisia metristä kolmeen metriin. Kaarrekisko taivutetaan asennusvaiheessa valmiiksi haluttuun kaartevuuteen. Tämän jälkeen ajolanka ankkuroidaan kaarrekiskoon tavallaan virtakiskoksi.

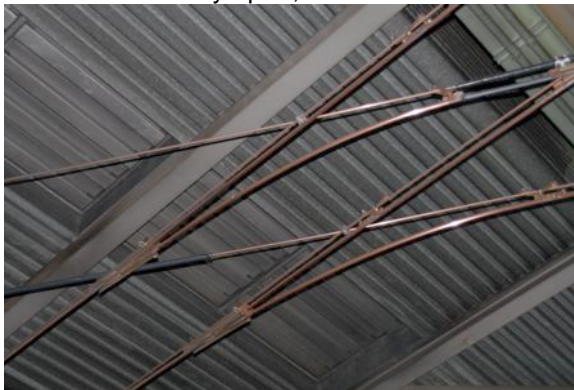


Virroittimien kiinnityskartiot

Niille kohtiin ajojohtojärjestelmää, joissa virroittimia kiinnitetään usein ajolankoihin, voidaan asen-
taa kiinnittämistä helpottavat ohjauskartiot. Samaten ohjauskartioita tarvitaan niihin kohtiin linjoil-
la, joissa hyödynnetään automaattista virroittimien nostoa.



Kaarrekisko torin ympäri, Zürich



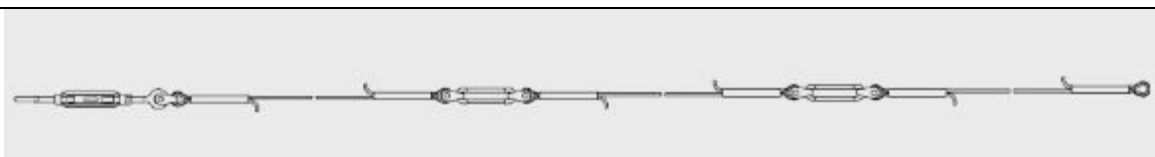
Kaarrekisko varikkohallin katossa



Kaarrekiskon liittymäkappale

Putkimainen kaarrekisko

Oikein jyrkissä ja hankalissa mutkissa ajojohto voidaan korvata jäykällä, ovaalin poikkileikkauksen omaavalla putkimaisella kiskolla. Ajolanka asennetaan tällöin putkikiskon yläpuolelle ja silloin vedosta ajolankaan aiheutuvat jyrkät taitokset eivät siirry laisinkaan virtakiskoon. Putkimainen kaarrekisko taivutetaan asennusvaiheessa. Näitä jyrkkiä kaarroksia on mm. varikoilla ja jyrkissä risteyksissä.



Kannatinvaijeriasetelma



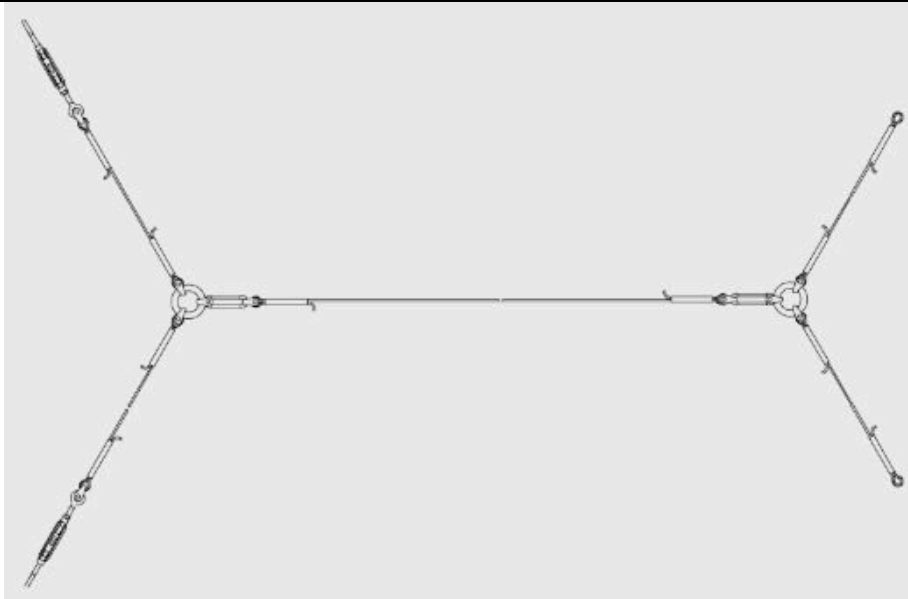
Solkieristin (lasikuitua)



Keinokuituinen värinänvaimennin (lyhyt)

Poikittainen kannatinvaijeri

Poikittaiseen tukivaijeriin kuuluu itse ripustusosien lisäksi kiinnitysosina mm. solkieristimiä, sakkeleita ja vanttiruuveja sekä usein keinotutuisia vaimennusköyziä, joilla eliminoidaan talojen seinärakenteisiin välittyvät värähtelyt.



YY-kannatinvaijeri

Y ja YY-kannatinvaijerit

Poikittaisen kannatinvaijerin lisäksi voidaan tehdä seinä- ja pylväskiinnikkeiden väliin lisää poikittaisjänteitä käyttämällä Y ja YY-rakenteita.



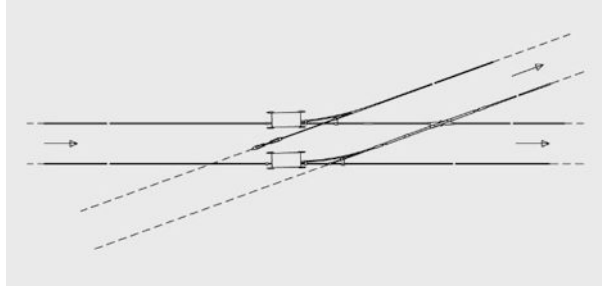
Kääntöorsipylväs, Zürich



Kääntöorsipylväs, Eberswalde

Pylväät ja kääntöorret

Kannatinvaijereiden sijaan ripustus voidaan kiinnittää kääntöorteen. Kääntöorsi on useimmiten kiinnitetty nivelkappaleella pylvääseen. Kääntöorsia voi olla pylvään molemmilla puolilla, jolloin yhdellä pylväällä voidaan rakentaa molempiin suuntiin kulkeva ajojohto myös ns. keskipylväsperiaatteella.



Vaihteen kaaviokuva



Vaihde alapuolelta nähtynä



Vaihde ja sen tarvitsemat ohjauslaitteet



Vaihteeseen liittyvä opastin



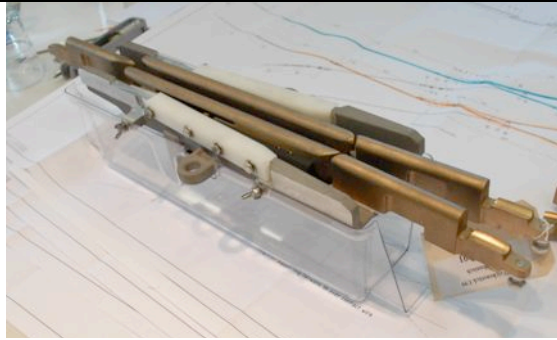
Vaihteen yläpuolelle asennettava tukitrapetsi

Vastavaihde

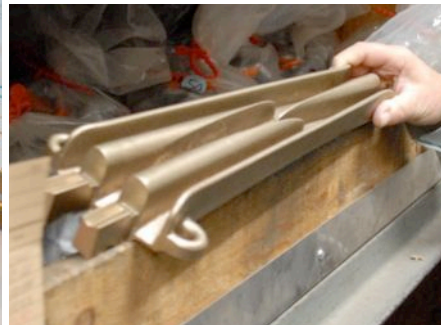
Vastavaihde on johdinauton ajojohtojärjestelmässä oleva sähköisesti ohjattava vaihde, joka jakaa johdinautolinjan kahdeksi eri haaraksi. Vaihteen ohjaus tapahtuu sähköisesti joko kuljettajan antaman ohjeen mukaisesti, tai automaattisesti järjestelmän tunnistaessa vaihteeseen tulevan ajoneuvon käyttämän linjan ja sen vaatiman reitin. Vaihteen kääntölaite on joko solenoidilla tai sähkömoottorilla toimiva. Sähkömoottorilla toimivat ovat solenoidia luotettavampia ja hiljaisempia, mutta kalliimpia. Ne saavat käyttöjännitteensä usein suoraan ajolangasta.

Vastavaihteita on tyypillisesti nopeita ja hitaita. Nopeissa vaihteissa risteyksen kaarresäde on suurempi kuin hitaissa. Tyypillinen nopean vaihteen kääntymiskulma on 10 astetta. Vaihteeseen voidaan ajaa jopa 50 km/h. Hitaissa vaihteissa kääntymiskulma on 20 astetta, mutta ajonopeuden on oltava alle 30 km/h.

Vaihde muodostuu kahdesta ajolangoilla olevasta sähköisesti liikuteltavasta kielestä, ohjauselektronikasta sekä opastintaulusta. Vaihteen on pysyttävä ajolankaan nähden vaakasuorassa, joten sitä varten asennetaan ajolankojen yläpuolelle erityinen tukivaijerikehikko, eli trapetsi.



Nopeasti ajettava myötävaihde alta



Hitaasti ajettava myötävaihde alta

Myötävaihde

Myötävaihde on mekaaninen vaihde, jossa kaksi johdinauton ajojohtoa yhdistyy. Myötävaihteeseen ei tarvita ohjauslaitteita. Nopeissa myötävaihteissa on mekaaninen, liikkuva kieli. Virroittimen tullessa vaihteeseen asettuu kieli automaattisesti oikeaan asentoon. Nopea myötävaihde voidaan ajaa jopa 60 km/h nopeudella. Varikoilla voidaan säästää tilaa ja kustannuksia asentamalla yksinkertainen myötävaihde, jossa ei ole lainkaan liikkuvia osia. Tällöin nopeus voi olla ainoastaan 20 km/h.



Trolli-trolli sähköinen risteämä alta



Trolli-trolli- hidas risteämä alta

Johdinautoristeämät

Vaihteen lisäksi risteyksiin tarvitaan erilaisia ristämäkappaleita. Nopeiden trollikkaristeysten yhteydessä voidaan käyttää sähköisesti vaihteen kanssa ohjattavaa risteämää. Tällöin voidaan hoitaa myös jatkuva virran syöttö johdinautolle. Hitaiden vaihteiden ja risteämien kanssa riittää, että käytetään yksinkertaista mekaanista risteyskappaletta. Tällöin kuitenkin johdinauton virran syöttö katkeaa risteyksessä risteämäkappaleen kohdalla. Risteämäkappaleita tarvitaan yksi vaihdetta tai risteämää kohden.

Kiinteän ristämän yhteydessä käytetään ajolangan tilalla lasikuituista tai muovista eristintä erotamaan sähköisesti ajolangat toisistaan.



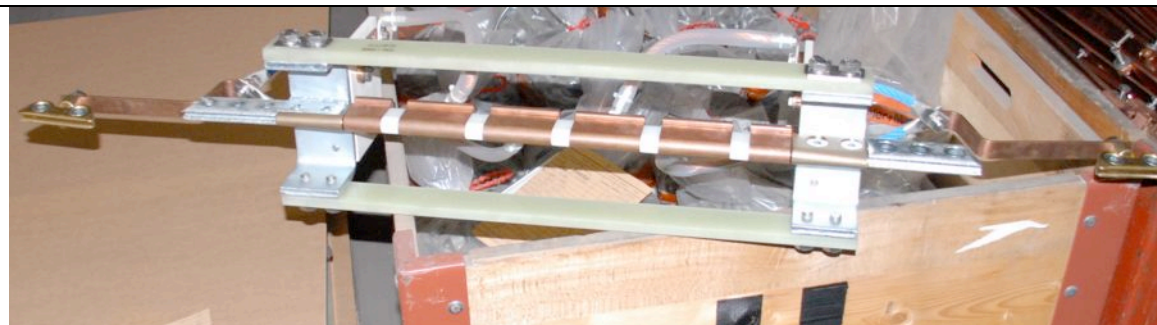
Siltaava trolli-raitiovaunuristeämä



Trolli-raitiovaunuristeämä

Trolli-Raitiovaunuristeämä

Johdinautojen ja raitiovaunureitin risteämäkohtaan on myös asennettava risteämäkappaleet. Siltaava risteämä mahdollistaa sekä johdinauton että raitiovaunun kulun risteysalueella ilman katkoja virran syötössä. Yksinkertaisessa risteyksessä jommankumman virran syöttö katkeaa ajoneuvon ylittäessä risteysaluetta. Johdinauton ja raitiovaunun ajojohtoja ei voi asentaa kohtisuoraan toisiaan vasten, vaan risteämän toiminta on sitä sulavampaa mitä loivemmin ne kohtaavat toisensa.



Diodilla varustettu ryhmityseristin

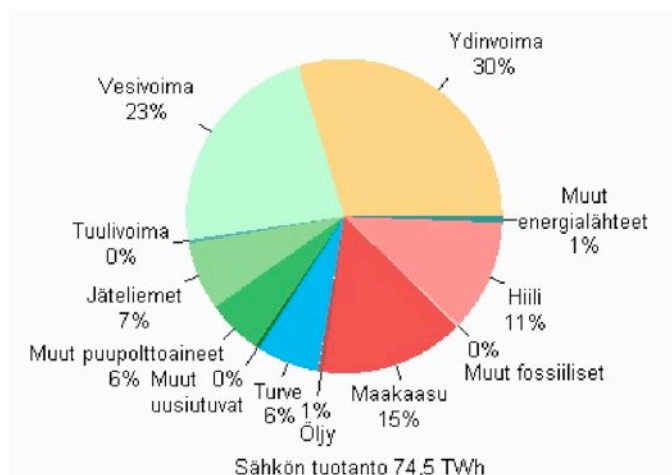
Ryhmityseristimet

Syöttöjaksojen rajalla käytetään ryhmityseristimiä erottamaan sähköisesti kaksi eri syöttöjaksoa. Ryhmityseristin voi olla joko sähköisesti täysin erottava tai varustettu diodein, jolloin virroitin voi kulkea eristimen ali saaden kuitenkin virtaa jommalta kummalta syöttöjaksolta.

4 Energia, energiavarastot ja vetytalous

4.1 Sähköenergian tuotanto

Sähkökäyttöisestä joukkoliikenteestä puhuttaessa nousee aina esille kysymys käytetyn sähkön alkuperästä. Sähkö on vain energian siirtäjä – itse energia tuotetaan monilla eri tavoin. Suomen sähköntuotanto muodostuu tällä hetkellä karkeasti neljästä osasta (kuva 4.1-1); ydinvoimasta, vesivoimasta sekä erilaisten polttovoimalaitosten tuottamasta sähköstä. Lisäksi Suomeen tuodaan Ruotsista, Venäjältä ja Virosta n. 10 % Suomessa käytetystä sähköenergiasta.

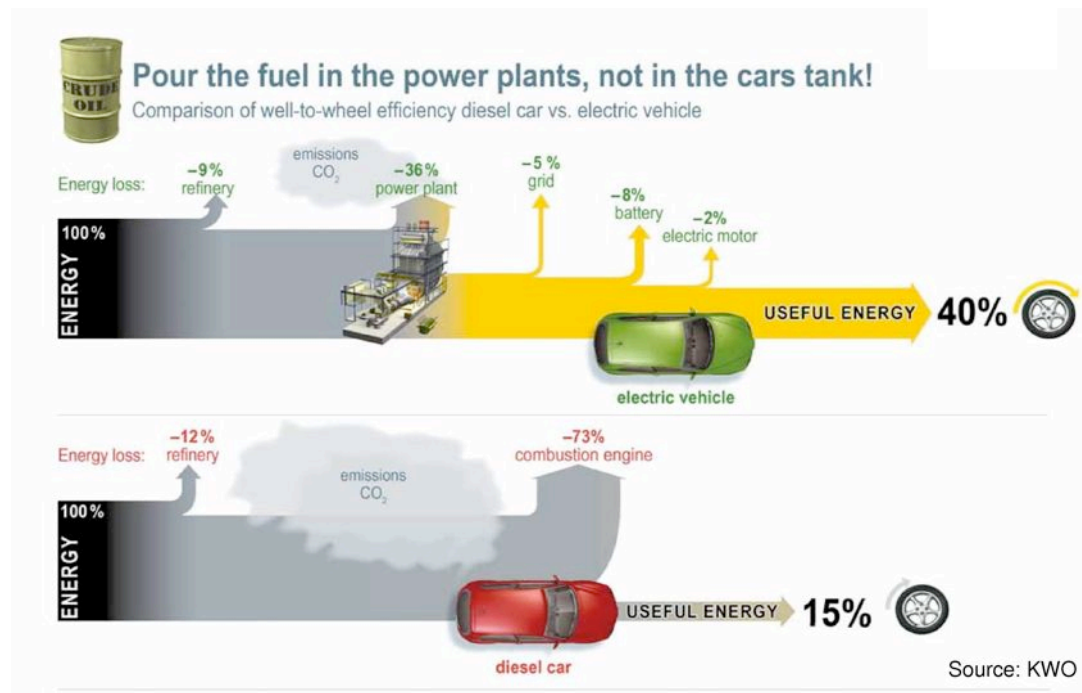


Kuva 4.1-1. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin 2008. (Tilastokeskus)

Tulevaisuudessa sähkön tuotantopaletti tulee muuttumaan. Siihen vaikuttavat valmistuvat kolme uutta ydinvoimalaa sekä toisaalta fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen seurauksena tulevaisuudessa fossiiliset polttoaineet korvautuvat vähitellen biopolttoaineilla, esim. puuhakkeella tai biokaasulla.

Johtoa pitkin tuleva sähkö ei ole erilaista riippuen millä se on tuotettu. Kysymys sähkön alkuperästä vaikuttaakin enemmän siihen, mistä ja minkälaiselta tuottajalta sähkö hankitaan. Ohjaamalla sähkön hankintaa tuottajille, jotka tuottavat sen halutulla tuotantomuodolla, voidaan jonkin verran ohjata tulevia sähkön tuotannon investointeja. Koska sähkön tuotantolaitokset ovat suuria ja pitkäikäisiä investointeja, ei nopeita muutoksia tuotantorakenteeseen kuitenkaan ole saatavissa. Esim. ydinvoimalaitokset rakennetaan olettaen niille vähintään 50 vuoden käyttöikä.

Polttoaineiden hyödyntämisen hyötysuhdetta on esitetty kappaleessa 2.5.1 olevassa johdinauton hyötysuhteen tarkastelussa. Tämän vertailutaulukon varsinainen viesti onkin sähköenergian voimalaitoshyötysuhteessa (kombi 60 % ja CHP 90 %), joka kaikissa tapauksissa on merkittävästi korkeampi kuin dieselin moottorihyötysuhde (42 %). Tämä merkitsee sitä, että sähköisen tien kautta saadaan primäärienergian kantajasta aina enemmän hyötyä kuin käyttämällä primäärienergiaa suoraan ajoneuvossa.



Kuva 4.1-2 Graafinen havainnollistus polttomoottorikäytön ja sähkökäytön energiatiestä lähteestä pyöriin (Jörg Aeberhard)

Suomi on tässä suhteessa erinomaisessa asemassa kansainvälisessä vertailussa, koska meillä sähköenergia tuotetaan korkealla hyötysuhteella. Sähköisen liikenteen haasteeksi jää luoda niin tiheästi verkotettu sähköä käyttävä liikenneverkosto, että muut ajoneuvot aina voivat "ottaa kopin" jonkun ajoneuvon vapauttamasta energiasta. Muussa tapauksessa energia on säilöttävä ajoneuvon.

Metro on tyypillisesti erinomainen esimerkki tällaisesta järjestelmästä, jossa verkkoon takaisin syötetty sähkö pystytään hyödyntämään tehokkaasti. Erityisesti tiuhasti verkotetuissa kaupungeissa kuten Berliinissä, jossa lisäksi käytetään laajalti hyvän sähkön siirtokyvyn omaavaa alumiinista virtakiskoa.

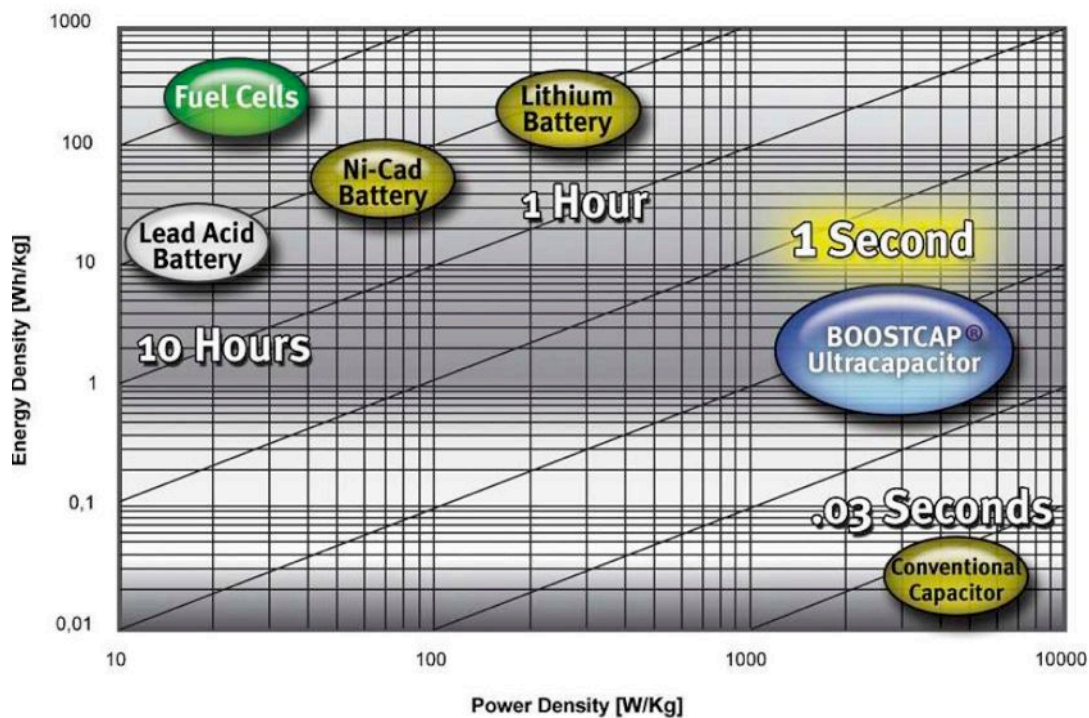
Biodiesel ja muut ajoneuvoissa mahdollisesti hyvät polttoaineet eivät ole relevantteja sähköntuotannossa, jossa käytetään jalostusarvoltaan huomattavasti alempia energiankantajia. Kysymys biopolttoaineista asettuu täysin eri valoon riippuen siitä tarkastellaanko nestemäistä polttoainetta primäärienergianaan käyttävää liikennevälinettä vai sähköä primäärienergianaan käyttävää liikennevälinettä. Biodiesel ajoneuvossa käytettynä vaikuttaa välittömästi päästötaseeseen omalta osuudeltaan.

Uusiutuvien energialähteiden osuus sähköntuotannossa lisääntyy luonnollista tietä lähinnä puunjalostusteollisuuden jätteiden hyödyntämisen ja mahdollisesti tällä hetkellä hyödyntämättömän hakkuujätteen kautta sekä Suomeenkin vähitellen tulevien jätteenpolttovoimaloiden lisääntymisen myötä.

4.2 Energiavarastot vuonna 2014-2019

Johdinauton energiavarastot on jaettavissa karkeasti hitaisiin ja nopeisiin energiavarastoihin sen perusteella miten ne pystyvät ottamaan vastaan ja luovuttamaan energiaa. Hitaiksi energiavarastoiksi on luettavissa erilaiset kemialliset akut kuten lyijyakut, nikkeliakut, litiumakut, sekä virtausakut. Nopeisiin, korkean dynamiikan omaaviin energiavarastoihin kuuluvat superkondensaattorit sekä vauhtipyöräjärjestelmät. Raja on kuitenkin häilyvä, sillä esim. litium- ja virtausakuista voidaan nykyisin rakentaa suurehkoja energiamääriä nopeasti antavia ja vastaanottavia järjestelmiä.

Energiavarastojen energiatiheudessa on saavutettu itse energiavarastokomponentin osalta noin 150 Wh/kg taso (kuva 4.2-1), mutta niiden oheen tarvittava elektroniikka, lämmönhallinta ja muut komponentit pudottavat todellisen energiasuhteiden (Wh/kg) toistaiseksi jopa kymmenesosaan tuosta arvosta. Yleinen vallitseva käsitys on, että energiasuhteetti kaksinkertaistuisi noin 5 vuoden välein.



Kuva 4.2-1. Energiavarastojen teho- ja energia-paino-suhde sekä latausajat. Bugnon, Maxwell capacitors 2008.

Kaikkiin ajoneuvossa oleviin energiavarastoihin liittyy myös olennaisesti kysymys niiden turvallisuudesta. Nykyisten polttoaineiden turvallisuusriskit ovat varsin hyvin nykyisin hallinnassa, vaikka palovaarallisina ja myrkyllisinä aineina niistäkin aiheutuu vahinkoja. Akkujärjestelmiin liittyy tarve suojata sekä itse akkuja että muuta ajoneuvoa liian suurilta lataus- ja purkuvirroilta. Oikosulku sähköjärjestelmässä voi saada aikaa nopeita ja suuria vahinkoja ilman riittävää suojauslaitteistoa. Laitteistojen pitää suojata myös henkilöt vaarallisilta jännitteiltä onnettomuustilanteissa.

Taulukko 4.2-2. Energiavarastojen etuja ja haittoja. + tarkoittaa järjestelmän olevan tehokas tai kehittynyt muihin järjestelmiin verrattuna. – tarkoittaa järjestelmän olevan kehittymätön tai huono muihin järjestelmiin verrattuna.

| Energiavarastot | Järjestelmän kehitysaste | Kohteiden määrä jossa on käytössä | Järjestelmän huoltotarve ja ikä | Järjestelmän paino | Järjestelmän hinta |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
| Hitaat energiavarastot | | | | | |
| Lyijyakut | +++ | ++ | - | --- | +++ |
| Nikkeliakut | ++ | + | -- | + | ++ |
| Litiumakut | ++ | ++ | + | ++ | ++ |
| Polttokennot | + | + | - | ++ | --- |
| Kemialliset virtausakut | - | - | ++ | -- | - |
| Nopeat energiavarastot | | | | | |
| Superkondensaattori | + | ++ | ++ | +++ | ++ |
| Vauhtipyörä | - | + | ++ | ++ | - |

4.3 Lyijyakut

Lyijyakut ovat käyneet pitkän kehityskaareen jo sadan vuoden aikana ja ne ovat edelleen yleisiä ajoneuvojen polttomoottorin apuakkuna. Ne ovat luotettavia ja edullisia, mutta niiden kyky varastoida sähköenergiaa ja antaa suuria tehoja on painoon nähden heikko. Lyijyakkuja on käytössä muutamassa sähköbussijärjestelmässä, mutta niissäkin ollaan joko akuista luopumassa tai niitä ollaan korvaamassa muilla akkujärjestelmillä. On helposti nähtävissä, että lyijyakuissa ei ole tulossa seuraavan kymmenen vuoden aikana sellaista kehitystä, joka tekisi niistä nykyistä käyttökelpoisempia johdinautojen energiavarastoina.

4.4 Nikkeliakut

Nikkeliakut, eli nikkelikadmium (NiCd) ja nikkelimetallihydridiakut (NiMH) olivat vielä kymmenen vuotta sitten parhaita sähköenergian varastoja hinnan, tehon ja painon suhteen. Ne olivat myös luotettavia ja toimivat hyvin erilaisissa käyttökohteissa kellon paristoista aina ajoneuvosovelluksiin saakka. Niiden kehitys on kuitenkin hidastunut huomattavasti 2000-luvun aikana, vaan ne ovat tulleet teknisen kehityksensä lähes päätepisteeseen. Ei ole nähtävissä että ne kehittyisivät merkittävästi tulevien kymmenen vuoden aikana. Tämä ei kuitenkaan ole pelkästään huono puoli, sillä jos nykyinen tekninen taso katsotaan riittävästi, voidaan olettaa että järjestelmän mahdolliset lasten- taudit olisi kaikki selvitetty.

4.5 Litiumakut

Litiumakut eli litiumioniakut (Li-ion) ovat kehittyneet perinteisistä akuista nopeimmin 2000-luvulla. Niiden valmistustekniikkaa on onnistuttu hallitsemaan siten että tuotannossa valmistuvat akut ovat tasalaatuisia. Myös akkujen lataussäätimet ovat kehittyneet ja niiden virranhallinta eri olosuhteissa pystytään nykyisin hallitsemaan kohtuullisesti. Litiumakuissa on silti ongelmia akkujen lämmön- sekä virranhallinnan kanssa. Litiumakut pystyvät nykyisin antamaan parhaimmillaan 140 Wh/kg energiatiheyden, mutta akkujen eliniän pidentämiseksi ei niitä tulisi purkaa tyhjäksi. Akkujen elinikä pitenee kaksinkertaiseksi kun purkaus- ja lataussyklin tehoa pienennetään 30 %.

Suuret autovalmistajat kuitenkin uskovat litiumakkujen käyttöön sähköautoratkaisuissaan. Käytännössä kaikissa nykyisissä hybridi- ja sähköhenkilöautoissa sähköenergiavarastot on toteutettu liti-

umakuilla. Yleisestä uskosta litiumakkujen käytön kasvamiseen ajoneuvoissa kertoo myös se, että ympäri maailmaa, myös Varkauteen Suomeen, on perustettu uusia litiumakkutehtaita tuottamaan ajoneuvojen litiumakkuja. Myös litiumakuilla toimivia sähkölinja-autoja on koekäytössä Suomessa ja Ruotsissa. Pekingissä on käytössä vaihdettavilla litiumakuilla toimiva kokonainen bussilinja.

Johtuen jatkuvasta litiumakkujen kehittelyyn tehdyistä suurista investoinneista ja lyhyessä ajassa tapahtuneesta nopeasta kehityksestä litiumakkuja on pidettävä varteenotettavana vaihtoehtona johdinautojen apuvoimanlähteen energiavarastoiksi.

Litiumakkujen lisäksi joissain sähköhenkilöautoissa on käytössä natriumakkuja, joissa energia on varastoitu sulaan, n. 300 asteiseen natriumiin. Nämä akut ovat energiasisällöltään ja teholtaan litiumakkuihin verrattavissa. Niiden suurin ongelma on sulan, kuuman natriumin aiheuttama turvallisuusriski sekä se, että järjestelmän vaatiman lämmön ylläpitäminen sulana kuluttaa energiaa, joka taasen on poissa ajoneuvon liikuttamiseen käytettävästä kapasiteetista.

4.6 Polttokennot ja vety

Polttokennojen kehitys on alkanut jo 1960-luvulla avaruusteollisuudessa, mutta niiden kehitys on ollut ennakoitua hitaampaa. Ne ovat kuitenkin avain mahdollisen vetyyn perustuvan energiatalouden kehittymisen kannalta. Polttokennoin tehdään siksi suuria kehitysinvestointeja. Siitä huolimatta ei ole nähtävissä että polttokennojen valmistustekniikassa otettaisiin lähivuosina suuria harppauksia. Polttokennot ovat edelleen kalliita ja niiden toiminta ilman lämmönhallintaa kylmissä oloissa on epävarmaa. Polttokennojen teho ja hyötysuhde ovat vielä riittämättömällä tasolla ja ne tarvitsevat rinnalleen jonkin toisen energiavaraston, esim. litiumakut.

Ks. vetytalous alempana.

4.7 Virtausakut

Virtausakulla tarkoitetaan akkua, jossa jännite muodostuu ohuen kalvon läpi tapahtuvassa vanadiumin hapetus- ja pelkistysreaktiossa. Virtausakun antama teho riippuu akun elektrolyyttien virtauksen nopeudesta. Virtausakut ovat skaalattavissa helposti erilaisille jännite- ja tehotasoille. Niiden suurin ongelma on kuitenkin niiden huono energiatiheys. Virtausakkujen voidaan olettaa kehittyvän huomattavasti tulevien kymmenen vuoden aikana, mutta niiden ominaisia käyttökohteita tulevat todennäköisesti olemaan erilaiset kiinteät asennukset kuten tuuli- ja aurinkovoimaloiden energiapuskureina toimiminen. Niiden käyttäminen ajoneuvoissa ei välttämättä toteudu koskaan.

4.8 Superkondensaattorit

Superkondensaattoreita voidaan pitää tällä hetkellä lupaavimpana johdinautojen energiavarastona. Kaksikerroskondensaattoritekniikka on hyötynyt nanoteknologian kehittymisestä ja erityisesti nanokokoisten hiilituubien kehittämisestä. Superkondensaattoreissa elektrodien pinta-alaa on pystytty radikaalisti kasvattamaan käyttämällä elektrodien pintamateriaalina hiilituubeja sisältävää aerogee- lin kaltaisia nanomateriaaleja. Superkondensaattoritekniikan kehitys on kytköksissä nanotekniikan kehitykseen ja tulee todennäköisesti olemaan nopeaa vielä jonkin aikaa.

Superkondensaattoreiden paras puoli on niiden kyky varata ja luovuttaa energiaa hyvin nopeasti, ts. niistä saatava teho on suuri ja niiden lataus on nopeaa. Superkondensaattoriakustojen tehopaino-suhte on perinteisiin akkuihin ja polttokennoihin verrattuna yli satakertainen. Superkondensaattorit eivät myöskään kulu käytössä, vaan kestävät lähes äärettömän määrän lataus- ja purkaussyklejä. Superkondensaattoreiden huono puoli on niiden heikohko energian varastoimiskyky. Energia-paino-suhte on alle kymmenesosa kemiallisiin akkuihin verrattuna. Nykyisille superkondensaattoreille on ominaista niiden hyvä toiminta talvisissa olosuhteissa. Sen sijaan kuumissa oloissa ne menettävät merkittävästi kapasiteettiaan. Superkondensaattorit ovat vielä kalliita verrattuna kemiallisiin akkuihin, mutta nanotekniikan valmistustekniikan nopea kehittäminen tulee laskemaan superkondensaattoreiden hintaa.

Superkondensaattoreitten käyttöä on tutkittu laajalti erityisesti diesel-sähköisissä järjestelmissä. Vuosina 2008 ja 2009 aloitti koekäytössä useita diesel-hybridi-järjestelmiä joissa akustot on korvattu superkondensaattoreilla. Helsingissä on ollut koekäytössä superkondensaattoreilla toimiva hybridibussi ja mm. Tallinnassa on kokeiltu superkondensaattoreilla varustettua johdinautoa. Suomessa on tutkittu myös superkondensaattoreiden käyttöä konttilukkien sähkökäyttöjen tehon tasaamisessa sekä hissikäyttöjen energian talteenotossa. Nürnbergissä (VAG, metro) on kiinteästi asennettu superkondensaattorijärjestelmä, joka alustavien mittauksen mukaan on kuitenkin energiavaraston sijaan ensisijaisesti toiminut jännitteentasaajana.

4.9 Vauhtipyöräjärjestelmät

Vauhtipyöräjärjestelmillä tarkoitetaan mekaaniseen pyörivään massaan varastoitua energiaa. Niiden käyttö keskittyy kuitenkin kiinteisiin asennuksiin, esim. sähköverkon jännitteen tasaukseen verkon äärilaidoilla. Vauhtipyöräjärjestelmien dynamiikka on erinomainen ja hyötysuhde 80 %. Elinikäodotus on yli 20 v (Rosseta GmbH, Rosslau).

Liikennekäytössä on Hampurin metrossa (HHA) kiinteästi asennettuna energiapuskurina vauhtipyöräjärjestelmä. Kokemukset sen toiminnasta ja taloudellisesta kannattavuudesta ovat olleet erinomaisia. Liikkuvassa kalustossa vauhtipyöriä on kokeiltu jo varsin kauankin sitten vauhtipyörävaaria, mutta heikolla menestyksellä. Esim. Baselissa oli koejohdinautossa energiapuskurina vauhtipyörä. Sen luotettavuus ei kuitenkaan ollut kovin hyvä.

Superkondensaattori- ja vauhtipyöräenergiavarastoista on erinomainen tarkastelu VDV:n julkaisussa Public Service Bus System vuodelta 2007. Tällä hetkellä ei ole nähtävissä muita tekniikoita, jotka soveltuisivat dynamiikaltaan yhtä hyvin liikennekäytön pulssimaiseen tehonvaihteluun ja olisivat energiaintensiteetiltään yhtä tehokkaita.

4.10 Käytäntöön sovellettavuus

Ajoneuvoon sijoitettujen suurten energiavarastojen taloudellisuus on kaikissa täysmittaisissa sovellysyhteyksissä osoittautunut heikoksi (Rooma ja Landskrona viimeisimpinä esimerkkeinä). Johdinautot näyttävät kuitenkin olevan kehittymässä eräänlaisiksi hybridijohdinautoiksi, millä tässä yhteydessä tarkoitetaan sitä, että autossa on niin suuri superkondensaattori ja sen lisänä mahdollisesti vielä (esim. litium) akusto, että se pystyy keräämään kaiken hidastuksissa vapautuvan ener-

gian ja hyödyntämään sen kiihdytyksissä. Samalla saavutetaan mahdollisuus ajaa ilman johdinyhteyttä kaupunkiliikenteen kannalta käyttökelpoisia matkoja – vähintään yksi pysäkinväli. Tällainen toimintamoodi yhdistettynä riittävän luotettavasti toimivaan virroitinautomatiikkaan mahdollistaa linjastojen vaikeiden kohtien ohituksen. Akkuteknologian kehittyminen mahdollistaa liukuvan siirtymisen yhä pitempään autonomiseen ajoon.

4.11 Vetytalous

Vetytaloudella tarkoitetaan energiajärjestelmää, jossa vetyä käytetään energian kantajana – kuten sähkö sähköjärjestelmissä. Erotuksena sähköstä, vetyä on myös kohtuullisen helppo säilöä ja kuljettaa erissä. Yleisellä tasolla vetytalouden katsotaan kuitenkin olevan nimenomaan vedyn käyttöä energian lähteenä korvaamaan nykyisiä fossiilisia polttoaineita.

4.12 Vedyn tuottaminen

Vetyä voidaan tuottaa haluttaessa varsin vähäisin päästöin elektrolyysissä sähköllä, jolloin päästöt riippuvat käytetystä sähköön tuotantomuodosta. Käytännössä kuitenkin nykyisin käytettävä vety on tuotettu maakaasusta, öljystä tai hiilestä, jolloin sen tuottamisesta aiheutuu merkittäviä hiilidioksidipäästöjä. Vain alle 4 % tuotetusta vedystä on tuotettu elektrolyysillä. Tällä hetkellä suurimmat vedyn käyttökohteet ovat kemianteollisuudessa, mm. lannoitteiden valmistamisessa ja raakaöljyn vedyllä tapahtuvassa jalostamisessa.

Syynä elektrolyysin vähäiseen osuuteen vedyn tuotannosta on sen heikko hyötysuhde ja korkea hinta. Hyötysuhde parhaissakin elektrolyysiprosesseissa on alle 80 %. Yhden vetykilon tuottamiseen tarvitaan yli 50 kWh sähköenergiaa. Käytännössä nykyisillä sähköenergianhinnoilla vedyn tekeminen sähköön avulla on 5-10 kertaa kalliimpaa kuin sen erottaminen maakaasusta tai öljystä.

Mikäli sähköenergiaa on kuitenkin käytössä ylimäärin, kuten mahdollisesti suurten tuulivoimaloiden tai aurinkovoimaloiden yhteydessä, voitaisiin tätä ylimääräistä sähköenergiaa muuttaa tarvittaessa vedyksi. Tulevaisuudessa myös mahdollisesti erilaisilla bio- ja kasviprosesseilla voidaan tuottaa riittävän puhdasta vetyä.

4.13 Vedyn varastointi ja kuljetus

Kaasumaista vetyä on vaikea kuljettaa sen suuresta tilavuudesta (pienestä tiheydestä) johtuen. Käytännössä vety on paineistettava kuljetusta ja varastointia varten. Paineistamisessa joudutaan käyttämään ulkopuolista energiaa, joka pienentää vedyn hyötysuhdetta yli 10 %.

Paineistetun vedyn kuljetus ja jakelu on nykyisiä polttoaineita hankalampaa. Vety täytyy säilöä hyvin alhaiseen lämpötilaan ja varastoinnin paine on pidettävä korkeana. Kaiken lisäksi vedyllä pienimolekyylisenä kaasuna on taipumus vuotaa vähänkin huokoisesta materiaalista, jopa teräksestä, läpi.

Yksi mahdollisuus kuljettaa ja säilöä vetyä, on erilaiset kemialliset hydridit ja absorptiomateriaalit. Näihin liittyy kuitenkin vaikeita hyötysuhteeseen ja lämmönhallintaan liittyviä ongelmia.

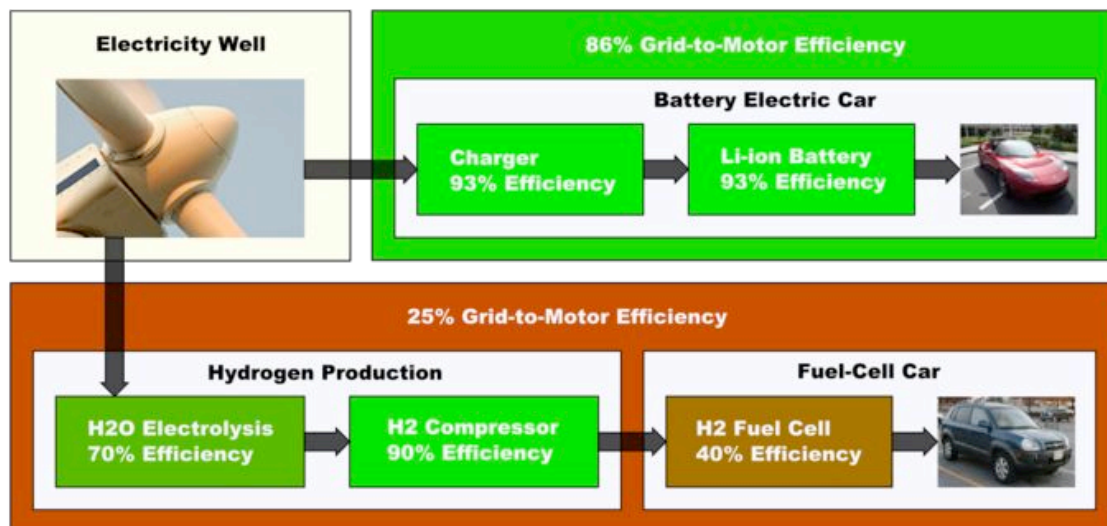
Tällä hetkellä yleisin tapa säilöä vetyä ajoneuvoissa on paineistaa se 700 barin paineeseen. Kuljetus tapahtuu pääasiassa säiliöautoilla. Tulevaisuudessa maakaasuverkkoa voidaan hyödyntää myös vedyn kuljettamiseen. Jakelu voidaan silloin tehdä huoltoasemilla, joissa vety paineistetaan ajoneuvoihin sopivaan paineeseen.

4.14 Polttokennot

Polttokennolla tarkoitetaan laitetta, joka hyödyntää vedyn ja hapen kemiallista reaktiota sähkövirran synnyttämiseksi. Kyse ei ole perinteisestä palamisreaktiosta, vaan polttokennon tuottama sähköinen jännite muodostuu ionien siirtyessä polttokennon kalvojen läpi. Polttokennoista saatavalla sähkövirralla voidaan sitten käyttää ajoneuvon sähkömoottoreita. Polttokenno tuottaa päästönään ainoastaan vesihöyryä.

Polttokennot ovat olleet intensiivisen teknisen kehityksen kohteena jo 1960-luvulta alkaen. Niitä kehitettiin aluksi avaruustekniikkaa varten, mutta nykyisin kehitys tapahtuu siviilikäytön vaatimusten pohjalta. Polttokennot ovat avainasemassa vetytalouden muodostumisessa. Huolimatta intensiivisestä ja pitkästä kehityksestä, ei polttokennoja pystytä vielä tuottamaan riittäviä määriä edullisesti. Nykyisten polttokennojen hyötysuhde on myös heikko. Nykyinen hintataso polttokennoille on luokkaa \$ 5,500 / kW.

Kuvassa 4.3.3 on vertailtu vedyn ja sähkö käyttämistä energian kantajan nykyisissä järjestelmissä. Vetyjärjestelmässä hyötysuhde on alle kolmannes siitä, mihin suoralla sähkökäytöllä voidaan päästä.



Kuva 4.3.3. Vedyn ja sähköön käyttö energian kantajina. (Svensson et al.)

Polttokennojen nykyinen asema arkipäivän liikennekäytössä kiteytyy Ralph Pützin VÖV – UTP päivien esitelmän loppulausumaan:

”Tulevaisuuden energiatalous perustuu vetyyn, mutta nähtävissä olevalla ajanjaksolla ovat perinteiset polttoaineet määräävässä asemassa; toki mahdollisesti täydennettyinä synteettisillä polttoaineilla.”

5 Läheteet

Hua Li; Electric Bus Line in Shanghai with Innovative Ultra Capacitor Buses and Fast-charging Stations; Shanghai Aowei Technology Development, 6th International Bus Conference, Lyon 2010, luentokalvot

Vossloh-Kiepe; Hybrid-Trolley-Bus, esittelykalvot 2010

Public Service Bus System; Verband Deutscher Verkehrsunternehmen – VDV 2007

Wurster et al. Energie-Infrastruktur 21; Rolle des Wasserstoffs angesichts der Herausforderungen im neuen globalen Energiesystem; DWV Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. 2009

Schindler et al: Wasserstoff und Brennstoffzellen, Starke Partner erneuerbarer Energiesysteme, Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. 2008

Ann Mari Svensson et al. (September 2006). "Well-to-wheel study of passenger vehicles in the Norwegian energy system". Energy 32 (4): 437–45.

Keskustelumuistio: Enrique Luque-Aleman, Vossloh-Kiepe GmbH, kesäkuu 2010

Keskustelumuistio: Jiri Kuch, Skoda Electric, Syyskuu 2010

Panelikeskustelu: Trolley-motion Innotrans, Berliini syyskuu 2010

Duo-Bus Esslingen; Eine Informationschrift zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben "Vorbereitung und Durchführung eines Duo-Bus-Referenzbetriebes in Esslingen a.N."; Städtischer Verkehrsbetrieb Esslingen, SVE; 1993

Tramways & Urban transit; 8/2010 sivu 295, Parry People Mover.

Jörg Aeberhard, ATEL Aare-Tessin AG für Elektrizität, esitelmä Zürichissä marraskuussa 2008, New Horizons for Urban Traffic konferenssissa.

Ralph Pütz, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen - VDV, VÖV- UTP Trolleybustagung, Luzern 2003

Trollikalinjojen oletetun kulkutapamuutoksen vaikutuksia

Tässä muistiossa on arvioitu, mitä yhteiskuntataloudellisia vaikutuksia olisi sillä, jos trollikoiden käyttöönoton myötä kyseisten linjojen matkustajamäärät nousisivat 5 % esim. imagosyistä tai koetun palvelutason parantumisen myötä. Taustalla on Keski-Euroopan kokemukset, joissa linjan muuttaminen trollikaksi on lisännyt linjan matkustajamääriä 10 - 25 %.

Laskelma on tehty kahdella olettamalla:

Kehikko A: 5 %:n matkustajamäärälisäyksestä 2,5 % on reittimuutoksia muusta joukkoliikenteestä ja 2,5 % on uusia joukkoliikennematkoja henkilöautoista.

Kehikko B: 5 %:n matkustajamäärälisäyksestä 2 % on reittimuutoksia muusta joukkoliikenteestä, 1,5 % on uusia joukkoliikennematkoja kevyestä liikenteestä (jalankulku/pyöräily) ja 1,5 % on uusia joukkoliikennematkoja henkilöautoista.

Laskelman lähtökohtana on trollikalinjojen perusennusteen mukaiset matkustajamäärät: n. 9 000 nousua ja 32 000 henkilökilometriä aamuhuipputunnissa. Henkilöautojen keskimääräisenä kuormituksena kulkutapamuutoksissa on käytetty 1,2 henkilöä / auto.

Joukkoliikenteen reittimuutokset eivät ole kulkutapamuutoksia, joten niitä ei tässä laskelmassa ole otettu huomioon. Reittimuutosten vaikutusten tulisi näkyä yhteiskuntataloudellisen laskelman muissa osioissa.

Tässä laskelmassa huomioon otettuja kulkutapamuutosten yhteiskuntataloudellisia vaikutuksia ovat:

- Lipputulojen lisäys uusista joukkoliikennematkoista, jotka ovat peräisin kevyestä liikenteestä tai henkilöautoista. Lipputulojen yksikköarvona on käytetty 0,54 euroa / nousu, joka on HKL:n vuoden 2006 tilastojen mukainen yhdestä noususta syntyvä keskimääräinen lipputulo Helsingin osalta.
- Tieliikenteen onnettomuudet, jotka vähenevät siltä osin, kuin henkilöautoliikenne vähenee. Onnettomuusriskinä on käytetty 0,5 henkilövahinkoon johtanutta onnettomuutta / milj. ajoneuvokilometri. Yhden onnettomuuden yksikköarvo on 0,47 milj. euroa.
- Tieliikenteen päästö- ja kunnossapitokustannukset, jotka vähenevät siltä osin, kuin henkilöautoliikenne vähenee. Päästökustannusten yksikköarvona on käytetty 1,8 eurosenttiä / ajoneuvokilometri (direktiivin 2009/33/EY mukainen, joka kaksinkertaistaa haitta-arvot taajamissa Yhtäli-ohjeeseen verrattuna) ja teiden kunnossapitokustannukseksi on oletettu 0,4 eurosenttiä / ajoneuvokilometri.

Melukustannuksia ei tässä ole huomioitu. Myöskään tieliikenteen vähenemisestä aiheutuvaa jäljelle jäävän tieliikenteen sujuvoitumista ei ole huomioitu,

sillä kyseessä on Helsingin kantakaupungin osalta alle puolen promillen liikenteen väheneminen, jonka vaikutukset ovat hyvin pienet.

Periaatteessa siirtyville uusille matkustajille syntyy hyötyjä ns. puolen säännön mukaisesti. Säännön mukaan uudet matkustajat saavat keskimäärin hyödyn, joka on puolet joukkoliikennettä ennen muutosta ja sen jälkeen käytävien hyödystä. Tässä yhteydessä ei kuitenkaan ole tiedossa, mikä on se hyöty ja sen määrä, joka bussien muuttamisesta trollikoiksi syntyy joka tapauksessa ko. linjoja käyttäville. Kyseessä voisi olla esim. koetun palvelutason muuttuminen jostain syystä niin, että se samalla houkuttelee uusia matkustajia siirtymään ko. linjoille.

Oheisessa taulukossa on esitetty laskelma ja sen perusteet:

| | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Trollikkalinjojen ennuste | 8 975 nousua/aht | 32 270 hlökm/aht |
| laajennettuna vuositason | 28 milj.nousua/v | 100 milj.hlökm/v |
| 5%:n lisäysolettama | 1.4 milj.nousua/v | 5.0 milj.hlökm/v |
| Kehikko A: lisäyksestä 50% reittimuutosta muusta joukkoliikenteestä, 50% uusia joukkoliikennematkoja henkilöautoista | | |
| Uusia joukkoliikennematkoja | 0.7 milj.nousua/v | 2.5 milj.hlökm/v |
| joka vähentää henkilöautoja (kuormitus 1.2 hlö/ajon) | | 2.1 milj.ajonkm/v |
| Lipputulolisäys (0.54 euroa/uusi nousu) | | 0.37 milj.euroa/v |
| Onnettomuuskustannukset (0.5 onn/milj.ajonkm) | | 0.49 milj.euroa/v |
| Päästökustannukset (1.8 snt/ajonkm) | | 0.04 milj.euroa/v |
| Kunnossapitokustannukset (0.4 snt/ajonkm) | | 0.01 milj.euroa/v |
| Kulikutapamuutosolettaman vaikutukset yhteensä | | 0.91 milj.euroa/v |
| Melukustannuksia ja ruuhkautumisvaikutuksia ei huomioida, ajoneuvoliikenteen vähenemä kantakaupungissa | | |
| | | 0.03 % |
| Kehikko B: lisäyksestä 40% reittimuutosta muusta joukkoliikenteestä, 30% uutta matkustusta kevyestä liikenteestä, 30 % henkilöautoista | | |
| Uusia joukkoliikennematkoja | 0.8 milj.nousua/v | 3.0 milj.hlökm/v |
| joka vähentää henkilöautoja (kuormitus 1.2 hlö/ajon) | | 1.2 milj.ajonkm/v |
| Lipputulolisäys (0.54 euroa/uusi nousu) | | 0.45 milj.euroa/v |
| Onnettomuuskustannukset (0.5 onn/milj.ajonkm) | | 0.29 milj.euroa/v |
| Päästökustannukset (1.8 snt/ajonkm) | | 0.02 milj.euroa/v |
| Kunnossapitokustannukset (0.4 snt/ajonkm) | | 0.01 milj.euroa/v |
| Kulikutapamuutosolettaman vaikutukset yhteensä | | 0.77 milj.euroa/v |
| Melukustannuksia ja ruuhkautumisvaikutuksia ei huomioida, ajoneuvoliikenteen vähenemä kantakaupungissa | | |
| | | 0.02 % |

Kehikko A:n olettamien mukaisesta kulikutapamuutoksesta on n. **0,9 M€** vuosittainen yhteiskuntataloudellinen hyöty, ja **kehikko B:**n olettamilla on n. **0,8 M€** vuosittainen yhteiskuntataloudellinen hyöty.

Luvut riippuvat täysin tässä tehdystä olettamasta 5 %:n matkustajamäärä-lisäyksestä. Luvun käyttäminen esim. kannattavuuslaskelmassa vaatisi perusteluja siitä, mihin kulikutapamuutosolettama perustuu, että sen uskottavuutta voitaisiin samalla arvioida.

Liite 3. Koskelan varikkoa koskevia tietoja

| HUONETILAT C-RAKENNUS KOSKELA | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|----------------|----|-----------------------------------|------------------|-------------|--------------|
| | | muutostarve | | muutoksen sisältö | muut vaatimukset | | |
| | | johdinautoille | | | ajojohtimet | sähkö 660 V | turvallisuus |
| huone | selitys | kyllä | ei | | | | |
| 101 | tuulikaappi | | x | | | | |
| 102 | käytävä | | x | | | | |
| 103 | käytävä | | x | | | | |
| 104 | käytävä | | x | | | | |
| 105 | toimisto | | x | | | | |
| 106 | toimisto | | x | | | | |
| 107 | toimisto | | x | | | | |
| 108 | toimisto | | x | | | | |
| 109 | toimisto | | x | | | | |
| 110 | toimisto | | x | | | | |
| 111 | toimisto a ja b | | x | | | | |
| 112 | toimisto | | x | | | | |
| 113 | toimisto | | x | | | | |
| 114 | toimisto a ja b | | x | | | | |
| 115 | toimisto | | x | | | | |
| 116 | toimisto | | x | | | | |
| 117 | tupakkahuone | | x | | | | |
| 118 | odotus | | x | | | | |
| 119 | toimisto | | x | | | | |
| 120 | toimisto | | x | | | | |
| 121 | työnjohto | | x | | | | |
| 122 | toimisto | | x | | | | |
| 123 | hydr.test. | | x | | | | |
| 124 | taukohuone | | x | | | | |
| 125 | kk | | x | | | | |
| 126 | suihku | | x | | | | |
| 127 | wc | | x | | | | |
| 128 | lepoh | | x | | | | |
| 129 | atk-huone | | x | | | | |
| 130 | ryhmähuone | | x | | | | |
| 131 | koulutus | | x | | | | |
| 132 | wc | | x | | | | |
| 133 | wc | | x | | | | |
| 134 | varasto | | x | | | | |
| 135 | porrash | | x | | | | |
| 136 | pukuh | | x | | | | |
| 137 | keittiö | | x | | | | |
| 138 | wc | | x | | | | |
| 139 | pesuh | | x | | | | |
| 140 | sauna | | x | | | | |
| 141 | sauna | | x | | | | |
| 142 | sauna | | x | | | | |
| 143 | pesuh | | x | | | | |
| 144 | siivousk | | x | | | | |
| 145 | päivystys | | x | | | | |
| 146 | wc | | x | | | | |
| 147 | pukuh | | x | | | | |
| 148 | wc | | x | | | | |
| 149 | pukuhuone | | x | | | | |
| 150 | pesuhuone | | x | | | | |
| 151 | sauna | | x | | | | |
| 152 | siivouskaappi | | x | | | | |
| 153 | wc | | x | | | | |
| 154 | wc | | x | | | | |
| 155 | puh | | x | | | | |
| 156 | pukuhuone | | x | | | | |
| 157 | var ja liik.tila | | x | | | | |
| 158 | katsastus | x | | | x | x | x |
| 159 | sisäpesu | x | | | | | |
| 160 | ajoluiska | x | | | x | x | x |
| 161 | toimisto | | x | | | | |
| 162 | varaosavar | x | | | | | |
| 163 | vaihto- ja osakor | | x | | | | |
| 164 | hitsaus | | x | | | | |
| 165 | sorvaus | | x | | | | |
| 166 | osien pesu | | x | | | | |
| 167 | wc | | x | | | | |
| 168 | sisäpesu | | x | | | | |
| 169 | varaosahuolto | | x | | | | |
| 170 | korikorjaamo | | x | | | | |
| 171 | huoltokorjaamo | x | | nosturijärjestelyt, sähköjohtimet | x | x | x |
| 172 | sähkök | | x | | | | |
| 173 | pesuaineasema | | x | | | | |
| 174 | alustanpesu | | x | | | | |
| 175 | siiv tarv var | | x | | | | |
| 176 | siiv väl hoito | | x | | | | |
| 177 | sähkö | | x | | | | |
| 178 | toimisto | | x | | | | |
| 179 | wc | | x | | | | |
| 180 | wc | | x | | | | |
| 181 | lepohuone | | x | | | | |
| 182 | vuorokausihuolto | x | | sähköjohtimet | x | x | x |
| 183 | iv-koneh | | x | | | | |
| 184 | pal nestevar | | x | | | | |
| 185 | jäte ja imurihuone | | x | | | | |
| 186 | varavaimakh | | x | | | | |
| 201 | huone | | x | | | | |
| 202 | iv-konehuone | | x | | | | |
| | halliosa 1 | x | | sähköjohtimet | x | x | x |
| | halliosa 2 | x | | | x | x | x |
| | halliosa 3 | x | | | x | x | x |

Liite 4. Vaihtoehtoiset laskelmat liikennöinnistä ja hyödyistä

Johdinautoliikenteen hankeselvityksessä selvitetään konventionaalisen johdinautojärjestelmän käyttöönoton vaikutuksia verrattuna siihen, että vastaavaa joukkoliikennettä kehitettäisiin vähitellen käyttöönottamalla uutta dieselbussiteknologiaa, esim. hybridibusseja sekä laajentamalla raitiovaunuliikennettä.

Tässä liitteessä esitetään vaihtoehtoinen ratkaisu dieselbussiliikenteen korvaamiseksi nopeassa tahdissa hybridibussikalustolla. Lisäksi tutkitaan kustannusvaikutuksia, jos hankittavat johdinautot ovat hintahaarukan alapäästä ja jos johdinautoissa hyödynnetään jarrutusenergian talteenottoa. Tarkoitus on näin hahmottaa hybridi- ja johdinautojen välistä eroa.

1. Linjastot

Hybridibusseille tehtävän arvioinnin pohjana käytetään hankeselvityksessä laadittua ja pääraportin luvussa 3.3 esitettyä johdinautolinjastoa A, jossa liikenne painottuu keskustan korkeasti kuormitetuille bussilinjoille. Tämän linjaston pohjana on nykyiset dieselbussilinjat 14, 18, 39, 40, 57, 65, 68 ja 70 sekä raitiotielinja 1.

Pääraportissa perusvaihtoehtona (0-vaihtoehto) on tutkittu tilannetta, jossa liikennettä jatkettaisiin kuten tällä hetkellä dieselbussikalustolla. Kaluston tekniikan on oletettu kehittyvän asteittain, mutta kaluston koko pysyy nykyisen kaltaisena. Linjasto ulottuu tulevaisuudessa myös rakennettavaan Hernesaareen (0+ -linjasto), jonka liikennetarpeet toteutetaan osin laajentamalla raitiotieverkkoa ja osin jatkamalla nykyisiä bussilinjoja.

Hybridibussivaihtoehdossa hybridikalustolla toteutettava linjasto noudattelee pääraportin A-vaihtoehdon johdinautolinjastoa. Polttomoottoria (diesel) voimanlähteenään käyttävällä hybridibussilla ei korvata kantakaupungin raitioliikennettä, mutta nykyisen dieselbussiliikenteen kehittämiseen ympäristöystävällisemmäksi se soveltuu hyvin. Hybridibussilinjastossa ei siis tehdä muutoksia raitiolinjaan nro 1. Johdinautolinjastossa myös raitiotielinja 1 on korvattu johdinautolinjoilla. (Johdinautolinja 14B liikennöisi Hernesaareen korvaten nykyisen bussilinjan 14B ja raitiolinjan 6 suunnitellun jatkeen.) (Johdinautovaihtoehdossa on linja 16 edelleen Hernesaareen, mutta sen korvaamista on jatkosuunnittelussa harkittava.)

Tämän liitteen laskelmissa esitettävään hybridibussi- ja johdinautolinjastoon kuuluu myös raitiovaunuliikennettä ja jonkin verran tavallisella dieselkalustolla ajettavaa liikennettä. Tämä liikenne on linjastojen muutosten yhteydessä muuttuneiden (ei siis korvattujen) raitiovaunu- ja bussilinjojen liikennettä.

2. Kalusto

Pääraportin vertailuarvioinnissa on oletettu, että 0-vaihtoehdossa dieselbussikalusto on nykyisen kaltaista joko kaksiakselisia tai telibussiautoja. Johdinautolinjastossa kaluston on oletettu olevan nivelautoja. Hybridibussilinjastossa myös dieselbussit on korvattu hybridibusseilla.

Tässä liitteessä esitettävässä hybridibussilinjastossa esitetään vaihtoehto, jossa linjaston dieselbussilinjoja ajettaisiin teknisesti todennäköisenä pidettävänä, vuonna 2016 saatavil-

la olevilla hybriditeknikalla varustetuilla nivelautoilla. Koska hybridiajoneuvoista on olemassa tällä hetkellä varsin niukasti käytännön kokemuksia, on vertailu tehty käyttäen kah-
ta erilaista hybridibussikalustoa. Toinen on edullinen rinnakkaishybriditeknikalla varustet-
tu nivelauto ja toinen kalliimpi sarjahybriditeknikalla toteutettu nivelauto.

Tässä liitteessä esitetään myös johdinautoille pääraportista poikkeava laskelma, jossa
johdinauton energiankulutuksessa on otettu huomioon jarrutusenergian takaisinsyöttö ja
talteenotto. Näin laskelma on tasavertaisempi ja paremmin soveltuva johdinauton ja hyb-
ridibussin vertailuun, sillä molempiin vaihtoehtoihin tämän teknologian on oletettu sisälty-
vän. Lisäksi on tarkasteltu kustannuksiltaan edullisemman johdinautokaluston (470 000
€/ajoneuvo) käyttöönottoa, joka laatutasoltaan olisi perustarkasteluun sisältyvää kalustoa
(675 000 €/ajoneuvo) alhaisempaa, mutta vastaa useiden Euroopassa viime vuosina to-
teutuneiden johdinautohankintojen hintatasoa.

Hybridibussien ja johdinautojen huoltokustannuksia on verrattu niveldieselbussiin. Hybri-
dibussien polttoaineenkulutusta on verrattu niveldieselin polttoaineenkulutukseen. Hybri-
disoinnilla on arvioitu saatavan 30 % säästö polttoaineenkulutuksessa. Johdinautoilla on
oletettu jarrutusenergian takaisinsyötöllä tai talteenotolla saatavan 30 % energian säästö.

Vertailtu kalusto on esitetty taulukossa 1. Taulukossa on vertailun vuoksi myös päärapor-
tin 0-vaihtoehdossa käytetty niveldieselbussin kustannukset. Erot kilometrikustannukses-
sa muodostuvat pääosin polttoaineen (sähkön) kulutuksesta ja huoltokuluista. Tuntikus-
tannus, joka muodostuu pääosin kuljettajien palkasta ja sivukuluista on kaikissa vaihto-
ehdoissa sama. Vaunupäivän hintaan vaikuttaa kaluston pääomakustannukset ja poisto-
aika. Diesel- ja hybridikalustolle poistoaika on 14 vuotta ja johdinautoille 20 vuotta.

HSL:n kilpailutuksista saamien kokemusten perusteella biodieselin käyttö kasvattaa polt-
toainekuluja 3,5 snt/km.

Taulukko 1. Vertailtava kalusto

| | Niveldiesel | Halpa hybridi | Kallis hybridi | Halpa johdinauto | Kallis johdinauto |
|--------------------------|-------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Esimerkkiajoneuvo | Volvo 7700 | Solaris Urbino 18 | Volvo 7700 hybrid | Solaris Trollino 18 | VanHool AG 300T |
| Hankintahinta | 330 000 € | 400 000 € | 550 000 € | 470 000 € | 675 000 € |
| Polttoaineen kulutus | 58 l/100 km | 41 l/100 km | 41 l/100 km | | |
| Sähköenergian kulutus | | | | 1,75 kWh/km | 1,75 kWh/km |
| Huoltokustannus p.u. | 1 | 1,33 | 1,5 | 1,22 | 1,22 |
| Akkujen uusimiskustannus | | | 3,5 snt/km | | |
| Linjakilometrikustannus | 0,84 €/km | 0,87 €/km | 0,93 €/km | 0,59 €/km | 0,59 €/km |
| Linjatuntikustannus | 31,88 €/h | 31,88 €/h | 31,88 €/h | 31,88 €/h | 31,88 €/h |
| Vaunupäivä | 172,42 € | 193,32 € | 238,08 € | 181,30 € | 228,29 € |

3. Liikennöinti ja liikennöintikustannukset

Taulukossa 2 on esitetty linjastojen linjakilometrit ja vuosittaiset liikennöintikustannukset.
0-linjasto on pääraportin luvussa 3.3 esitetty linjasto. A-linjasto on samaten vastaava kuin
pääraportin luvussa 3.3. D-linjasto on nivelhybridibusseilla liikennöitävä linjasto. Taulukos-
ta käyvät ilmi eri liikennemuodoilla tarvittavat liikennöintisuoritteet sekä niistä aiheutuvat

kustannukset. Hybridibussi- ja johdinautolinjastot sisältävät myös jonkin verran perinteistä dieselbussiliikennettä, joka muodostuu linjaston suunnittelun yhteydessä muutettujen dieselbussilinjojen liikenteestä. Tämä liikenne on oletettu toteutettavan 0-vaihtoehtoa vastaavalla dieselbussikalustolla.

Taulukko 2. Liikennöinti ja kustannukset.

| Linjaston aloitusvuosi | | 2014- | 2016- | 2020- | 2025- | 2035- |
|---|------------------------|------------|------------|----------------------|------------|------------|
| Kuvaus | | 0 | A- | A (ei Hernesaari) | A2 | A3 |
| Liikennöintikustannukset milj. eur/vuosi | 0+ | 39 930 000 | 40 052 000 | 40 173 000 | 40 212 000 | 40 212 000 |
| | A, "Trollikka", halpa | 39 930 000 | 39 904 000 | 37 617 000 | 37 738 000 | 37 738 000 |
| | A, "Trollikka", kallis | 39 930 000 | 17 943 000 | 38 522 000 | 38 704 000 | 38 704 000 |
| | D, "Hybridi", halpa | 39 930 000 | 40 389 000 | 39 858 000 | 39 821 000 | 39 821 000 |
| | D, "Hybridi", kallis | 39 930 000 | 40 804 000 | 40 952 000 | 40 914 000 | 40 914 000 |
| Liikennöintikustannukset milj. eur/vuosi | 0+, ratikka | 17 943 000 | 17 943 000 | 17 943 000 | 18 617 000 | 18 617 000 |
| | 0+, bussi | 21 987 000 | 22 109 000 | 22 230 000 | 21 595 000 | 21 595 000 |
| | 0+, trollikka | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0+, yhteensä | 39 930 000 | 40 052 000 | 40 173 000 | 40 212 000 | 40 212 000 |
| HALPA | A, ratikka | 17 943 000 | 17 943 000 | 16 850 000 | 16 850 000 | 16 850 000 |
| | A, bussi | 21 987 000 | 16 537 000 | 6 404 000 | 5 379 000 | 5 379 000 |
| | A, johdinauto | 0 | 5 424 000 | 14 363 000 | 15 509 000 | 15 509 000 |
| | A, yhteensä | 39 930 000 | 39 904 000 | 37 617 000 | 37 738 000 | 37 738 000 |
| KALLIS | A, ratikka | 17 943 000 | 17 943 000 | 16 850 000 | 16 850 000 | 16 850 000 |
| | A, bussi | 21 987 000 | 16 537 000 | 6 404 000 | 5 379 000 | 5 379 000 |
| | A, johdinauto | 0 | 5 769 000 | 15 268 000 | 16 475 000 | 16 475 000 |
| | A, yhteensä | 39 930 000 | 40 249 000 | 38 522 000 | 38 704 000 | 38 704 000 |
| HALPA | D, ratikka | 17 943 000 | 17 943 000 | 17 943 000 | 18 617 000 | 18 617 000 |
| | D, bussi | 21 987 000 | 16 537 000 | 6 404 000 | 4 744 000 | 4 744 000 |
| | D, hybridinivel | 0 | 5 909 000 | 15 511 000 | 16 460 000 | 16 460 000 |
| | D, yhteensä | 39 930 000 | 40 389 000 | 39 858 000 | 39 821 000 | 39 821 000 |
| KALLIS | D, ratikka | 17 943 000 | 17 943 000 | 17 943 000 | 18 617 000 | 18 617 000 |
| | D, bussi | 21 987 000 | 16 537 000 | 6 404 000 | 4 744 000 | 4 744 000 |
| | D, hybridinivel | 0 | 6 323 000 | 16 604 000 | 17 553 000 | 17 553 000 |
| | D, yhteensä | 39 930 000 | 40 804 000 | 40 952 000 | 40 914 000 | 40 914 000 |
| Ajoneuvokilometrit milj. km/vuosi | 0+, ratikka | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 442 000 | 2 442 000 |
| | 0+, bussi | 6 956 000 | 6 956 000 | 6 956 000 | 6 753 000 | 6 753 000 |
| | 0+, johdinauto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A, ratikka | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 240 000 | 2 240 000 | 2 240 000 |
| | A, bussi | 6 956 000 | 5 415 000 | 2 097 000 | 1 728 000 | 1 728 000 |
| | A, johdinauto | 0 | 1 419 000 | 4 138 000 | 4 437 000 | 4 437 000 |
| | D, ratikka | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 356 000 | 2 442 000 | 2 442 000 |
| | D, bussi | 6 956 000 | 5 415 000 | 2 097 000 | 1 525 000 | 1 525 000 |
| | D, hybridinivel | 0 | 1 419 000 | 4 123 000 | 4 371 000 | 4 371 000 |

Taulukon ylimmiltä viideltä riviltä havaitaan, että linjaston ollessa valmis vuonna 2025 halvimmat liikennöintikustannukset ovat johdinautolinjastoissa. Edullisemmalla hybridikalustolla liikennöintikustannukset ovat kolmanneksi halvimpia.

Koska ajoneuvojen investointikustannukset on sisällytetty vaunupäivän hintaan, kalliilla hybridillä liikennöintikustannuksia rasittavat polttoaine- ja akunvaihtokustannusten lisäksi hintaansa nähden lyhyestä pitoajasta johtuvat suuret investointikustannukset.

4. Päästöt

Hybridibussivaihtoehdoille ja johdinautovaihtoehdoille tehtiin vertailevat vaikutusarvioinnit. Pohjana pidetään pääraportissa esiteltyä 0-vaihtoehtoa. Vaikutusarviointi tehtiin liikennöintikustannuksista sekä ympäristöhyödyistä.

Päästölaskelmissa on käytetty päästöille seuraavia oletuksia:

- Biodiesel on käsitetty tässä laskelmassa tarkoittavan jäteöljyistä (esim. eläinrasvasta) tehtyä polttoainetta. Biodieselin CO₂-tase on silloin 80 % pienempi kuin perinteisen dieselpolttoaineen. Vastaavasti myös biokaasun CO₂-tase on 80 % pienempi kuin perinteisen maakaasun. Biodiesel alentaa VTT:n testien mukaan typenoksidipäästöjä (NO_x) 10 % ja pienhiukkaspäästöjä (PM) 30 %.

Lähtökohtana on 2-akselinen EEV-päästönormin täyttävä dieselbussi ja siitä on johdettu vastaavan nivelauton päästöt kertoimella 1,3, joka on sama kuin ajoneuvojen polttoaineen kulutuksen suhde. Sen jälkeen on arvioitu Euro-6 dieselmoottorilla varustetun hybridinivelbussin päästöt.

- Euro-6 hybridi kuluttaa 70 % vastaavaan EEV-dieseliin verrattuna.
- NO_x-päästöarvio Euro-6 2-akseliselle dieselbussille on 1,2 g/km ja nivelelle 1,3 * 1,2 eli 1,56 g/km, jonka arvioidaan alentuvan hybridisoinnin johdosta 50 % eli NO_x päästö on 0,78 g/km. Biodieselin käytöllä tästä saadaan tätä vielä pienennettyä 10 % eli päästö on 0,7 g/km.
- PM-päästöarvio Euro-6 2-akseliselle dieselbussille on 0,03 g/km ja hybridinivelelle 1,3 * 0,03 eli 0,039 g/km, jonka arvioidaan alentuvan hiukkaslouskulla 90 % eli PM-päästö 0,004 g/km. Biodieselin käytöllä tätä voidaan pienentää vielä 30 % jolloin PM-päästö on 0,003 g/km.

Taulukko 4. Dieselbussien päästöarvoja. Laskelmassa käytetään oikeanpuoleisimman sarakkeen arvoja.

| | 2-aks. EEV | Nivel EEV | Hybridinivel Euro-6 | Hybridinivel Euro-6 Biodiesel |
|---------------------------------|------------|-----------|---------------------|-------------------------------|
| Kulutus [l/100km] | 45 | 58 | 41 | 41 |
| NO _x [g/km] | 5,58 | 5,00 | 0,78 | 0,70 |
| PM [g/km] | 0,062 | 0,081 | 0,004 | 0,003 |
| CO ₂ -päästöt [g/km] | 1 116 | 1 451 | 1 017 | 203 |
| Työ vetävillä pyörillä [kWh] | 1,0 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| Kokonaishyötysuhde | 22 % | 22 % | 32 % | 32 % |

Yhteenveto hiukkaslouskulla varustetun jätöpohjaista biodieseliä polttoaineena käyttävän hybridinivelbussin päästöarvoista:

- CO₂ 203 g/km
- NO_x 0,7 g/km
- PM 0,003 g/km

Ympäristölaskelmissa on lisäksi huomioitu, että hybridibussin sähkömoottorin avulla liikumisesta on saatavissa 1/3 niistä melusäästöistä, jotka saataisiin täysin sähköllä liikkuvasta bussista (esim. johdinautosta).

Johdinautolle oletetaan, että jarrutusenergian talteenotolla voidaan saavuttaa 30 % energiansäästö. Pääraportissa, jossa jarrutusenergian talteenottoa ei oletettu käytettävän, energiankulutuksena on käytetty 2,5 kWh/km ja tässä esitetyissä laskelmissa siis 1,75 kWh/km.

5. Yhteiskuntataloudellinen laskelma

Taulukossa 4 on esitetty pääraportin luvun 11.7 mukainen laskelma yhteiskuntataloudellisista vaikutuksista, jossa verrataan eri hybridibussi- ja johdinautoliikenteitä 0-vaihtoehtoon. Yhtali-laskelma on tehty vuoden 2055 alkuun asti, mutta linjasto-, päästö- ja melumuutoksien on oletettu pysyvän samoina vuodesta 2035 eteenpäin, koska luotettavien ennusteiden tekeminen tämän jälkeen ei ole mahdollista. Yli 20 vuoden päässä olevien vaikutusten merkitys Yhtali-laskelmassa on lisäksi vähäinen, sillä kaukana tulevaisuudessa olevien vaikutusten nykyarvoa pienentää 5 %:n vuotuinen korkotekijä.

Taulukko 4. Yhteiskuntataloudelliset vaikutukset (Yhtali).

| Ero perusvaihtoehtoon nähden | Halpa johdinauto | Kallis johdinauto | Halpa hybridibussi | Kallis hybridibussi |
|---|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Liikennepalvelujen tuottajien hyödyt | | | | |
| Liikennöintikustannusten ero | 29,0 | 17,1 | 3,3 | -10,3 |
| Lipputulojen ero | 7,0 | 7,0 | 0,0 | 0,0 |
| Kunnossapitokustannusten ero | -1,9 | -1,9 | 0,0 | 0,0 |
| Matkustajien hyödyt | | | | |
| Matkakustannukset, aikasäästöt | 10,2 | 10,2 | 0,0 | 10,0 |
| Muut hyödyt | | | | |
| Onnettomuuskustannukset | 4,5 | 4,5 | 0,0 | 0,0 |
| Ympäristökustannukset | 5,3 | 5,3 | 2,0 | 2,0 |
| Investoinnin jäännösarvo | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| HYÖDYT , nykyarvo | 54,2 | 42,3 | 5,4 | 1,7 |
| Investointikustannukset | | | | |
| Joukkoliikenneinvestoinnit VE-0+ | 16,2 | 16,2 | 0,0 | 0,0 |
| Rakentamisaikaiset korot VE-0+ | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| INVESTOINNIT | 17,2 | 17,2 | 0,0 | 0,0 |
| NETTOHYÖTYJEN NYKYARVO | 37,0 | 25,1 | 5,4 | 1,7 |

Johdinautoille on oletettu 5 % matkustajamäärien lisäys. Tähän perustelut löytyvät pääraportista luvusta 11 (linjaston hahmotettavuus, vähäisempi melu, korkeampi laatutaso). Matkustajamäärien kasvu lisää lipputuloja verrattuna 0-vaihtoehtoon. Samaten se pienentää jonkin verran henkilöautoliikennettä, jolloin onnettomuuskustannukset pienenevät (vrt. pääraportti). Johdinautoille on myös laskettu paremmasta kiihtyvyydestä saatavaksi jonkin verran matkustajien aikasäästöjä (vrt. pääraportti).

Johdinautoille sekä kalliimmalle hybridibussille on laskettu 2% nopeutus matka-aikaan paremman kiihtyvyyden ansiosta. Kalliimpi hybridi on oletettu toteutettavan johdinauton tekniikkaa vastaavalla sarjahybriditekniikalla. Tästä syystä sekä johdinautoilla että sarjahybrideillä oletetaan saavutettavan matkustajien aikasäästöjä. Matkanopeuksien kasvun muutos on kuitenkin niin pieni, ettei sitä ole otettu huomioon kierrosajoissa eikä siten liikennöintikustannuksissa.

Kunnossapitokustannukset muodostuvat johdinautolinjastoissa ajojohto- ja sähköjärjestelmän kunnossapitokustannuksista. Ajoneuvojen kunnossapitokustannukset on sisällytetty kilometrikustannukseen (taulukko 1).

Laskelmassa esiintyvät investoinnit ovat ainoastaan infrastruktuuri-investointeja. Ajoneuvoinvestoinnit on laskettu mukaan vaunupäivän hintaan, joka sisältyy liikennöintikustannuksiin. 0+ -vaihtoehtossa tehtävät investoinnit ovat pääasiassa linjastoon kuuluvien raitiotielinjojen jatkamisesta aiheutuvia investointeja. Johdinautolinjastossa nämä tulevat raitiotielaajennukset jätetään tekemättä ja korvataan johdinautojen ajojohto- ja sähköjärjestelmän investointikululla. Johdinautojärjestelmän investointikulut tehdään tarkastelu-

jakson alussa kun taas 0-vaihtoehtoon raitiotieinvestoinnit tarkastelujakson loppupuolella. Tämän takia johdinautoinvestointien kustannukset ovat nykyarvoon siirrettynä 0-vaihtoehtoon investointeja kalliimpia.

Hybridibussilinjastossa taas raitiovaunulinjasto kehittyy kuten 0+ -vaihtoehtossa ja siinä tehdään siis täsmälleen samat investoinnit. Tällöin investointien erotuskin on 0 eikä H/K suhdetta voida laskea.

Yhtäli-laskelmassa on oletettu, että biopolttoaineille annetaan niiden alhaisten CO₂-päästöjen vuoksi veroetuksia verrattuna tavalliseen dieseliin. Tämä veroetuksia on huomioitu liikennöintikustannuksissa. Ilman veroetua biopolttoaineilla tehtävän bussiliikenteen kustannukset olisivat esitettyä suuremmat.

Yhtäli laskentaohjeen mukaisesti kulutusta ohjaavan verotuksen hyötyjä ei tule laskea kahteen kertaan. Tästä syystä biopolttoaineilla saatua CO₂-päästöjen alenemaa ei ole enää huomioitu ympäristökustannukset-rivillä.

Laskelma on biopolttoaineiden käytölle edullinen, sillä esimerkiksi Neste Oilin pääkaupunkiseudun bussiliikenteessä vuosina 2008-2010 tekemän NExBTL-kokeilun yhteydessä biodieseliin myönnettiin veroetuksia, joka oli n. 33 snt/litra. Tämä vastaa vuoden 2014 liikennöintimäärällä n. 1,03 milj € vuosittaista verohelpotusta. Vastaavasti johdinautojen vuosittainen CO₂-päästöjen alenemasta aiheutuva ympäristöhyötyjen arvo on noin 0,1 milj. €.

Biodieseliin liikennöinti on HSL:n kilpailutuskokemusten perusteella n. 3,5 snt/km kalliimpaa kuin tavallisella dieseliin liikennöinti. Jos dieselbussiliikenne toteutettaisiin tavallisella dieseliin, olisivat vuosittaiset liikennöintikustannukset 0- ja hybridilinjastoissa n. 0,2 M€ pienemmät ja johdinautoelinjastossa 0,06 M€ pienemmät kuin biopolttoaineilla.

Jos vertaillaan nettohyötyjen nykyarvoa, ovat molemmat johdinautoratkaisut kannattavia. Jos hyötyihin ei lasketa matkustajamääristä ja matka-ajan säästöstä saatavia hyötyjä, vaan ainoastaan liikennöintikustannukset ja ympäristökustannukset, on nettohyötyjen ja investointikustannusten erotuksen nykyarvo silti johdinautoille positiivinen.

Hybridibusseilla nettohyötyjen nykyarvot ovat myös positiiviset, mutta huomattavasti pienemmät kuin johdinautovaihtoehtoissa.

HSL:n julkaisuja 13/2011

ISSN 1798-6176 (nid.)

ISBN 978-952-253-089-9 (nid.)

ISSN 1798-6184 (pdf)

ISBN 978-952-253-090-5 (pdf)

HSL Helsingin seudun liikenne

Opastinsilta 6A, Helsinki

PL 100, 00077 HSL

puh. (09) 4766 4444

etunimi.sukunimi@hsl.fi

HRT Helsingforsregionens trafik

Semaforbron 6 A, Helsingfors

PB 100, 00077 HRT

tfn (09) 4766 4444

fornamn.efternamn@hsl.fi