

4

.....
22.2.2011

Selvitys syväuraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttöönoton hyödyistä ja edellytyksistä Helsingin raitiotieverkolla



www.hsl.fi

Selvitys syväuraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttöönoton hyödyistä ja edellytyksistä Helsingin raitiotieverkolla

HSL Helsingin seudun liikenne
Opastinsilta 6 A
PL 100, 00077 HSL
puhelin (09) 4766 4444

www.hsl.fi

Lisätietoja: Janne Peltola, 040-161 2149
janne.peltola@hsl.fi

Kansikuva: HSL / Lauri Eriksson

Edita Prima Oy
Helsinki 2011

Tiivistelmäsiivu

Julkaisija: HSL Helsingin seudun liikenne			
Tekijät: Janne Peltola		Päivämäärä 22.2.2011	
Julkaisun nimi: Selvitys syväuraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttöönoton hyödyistä ja edellytyksistä Helsingin raitiotieverkolla			
Rahoittaja / Toimeksiantaja: HSL Helsingin seudun liikenne			
Tiivistelmä: Tämän projektin tarkoituksena oli selvittää alustavasti kannattaako Helsingin raitioliikenteessä siirtyä raideristeyksissä pyörän kulkukehän varassa tapahtuvaan ajoon nykyisen laipan varassa tapahtuvan ajon sijasta. Uudistuksen tarkoituksena on <ul style="list-style-type: none">• Alentaa raitioliikenteen liikennöintikustannuksia – Kaluston ja radan kunnossapidon tarve muuttuu siten, että pyörien laippojen korkeus pysyy paremmin sallituissa mittarajoissa, mutta toisaalta pyöriä on pidettävä (profilointikoneen avulla) muodossaan nykyistä paremmin, johtuen vierintäkehän sisäreunan lisääntyneestä kulumisesta. Radan osalta kunnostustarve vähenee ristikkoalueiden laippaurien pohjien korjaushitsauksen ja hionnan osalta, mutta lisääntyy risteyskärkien ja siipikiskojen hionnan osalta. Jälkimmäistä työtä on pituusmetreissä laskien vähemmän ja siksi se vaatii Raitioliikenneyksikön käsityksen mukaan vähemmän työtä, kuin urapohjien hionta.• Lieventää vaihteista ja ristikoista itsestään johtuvia nopeusrajoituksia ja siten useissa tapauksissa mahdollistaa liikenneympäristön ja ratageometrian muuten salliman nopeus-tason käyttämisen turvallisuuden vaarantumatta vaihteista ja ristikoista huolimatta (nykyinen nopeusrajoitus vaihteissa ja raideristeyksissä on 10 km/h). Syvien urien avulla nopeusrajoitus myötävaihteissa (suoralla raiteella) voisi nousta noin 20–30 kilometriin tunnissa ja nopeusrajoitus poistuisi ns. isoista ristikoista. Vastavaihteissa nopeusrajoitus nousisi 15 kilometriin tunnissa. Vielä suuremmat nopeudet edellyttäisivät vastavaihteissa lukkiutuvia turvavaihteita ja myötävaihteissa automaattista vaihteenkääntöä.• Alentaa ristikkoajossa syntyvää melu- ja värinätaasoja ennen kaikkea siten, että niiden kesto muuttuu kerralla lyhyempiaikaiseksi, ja siten siedettävämmäksi. (Kalustoon ja rataan ristikoissa kohdistuvat voimat pienenevät).• Matalia uria voidaan edelleen käyttää niissä vaihteissa ja ristikoissa, joita ei risteysgeometrian takia voida muuttaa syväuraisiksi. Kannattavuuden arvioimiseksi projektissa on selvitetty mitä muutoksia Helsingin raitiotieverkossa täytyy tehdä, jotta raitiovaunuissa voidaan ottaa käyttöön nykyisiä 83 mm pyöriä leveämmät 110 mm pyörät, jotka ovat edellytys pyörän kulkukehän kantaan. Raitiotieverkon ja kaluston muutostarpeet koostuivat kolmesta osa-alueesta: <ol style="list-style-type: none">1) Katupäällysteen tason aleneminen tarvittavilta osuuksilta kiskon pinnan tasalle2) Nykyistä leveämpien pyörien vaihto vaunuihin3) Ristikoihin ja vastakiskoihin kohdistuvat muutostyöt Hankkeen kokonaiskustannukset tulevat olemaan arviolta noin 9–13 miljoonaa euroa riippuen raideristikoiden uusimisaikataulusta, eli siitä miltä osin ristikoita uusitaan normaalin kulumisen mukaan ja miltä osin tätä nopeammin. Hankkeen kustannukset saadaan katettua pääasiassa liikennöintikustannusten säästöistä, lisäksi saadaan merkittäviä säästöjä radan ja kaluston huolto- ja ylläpitokustannuksissa. Projektin takaisinmaksuaika on noin 9–17 vuotta – projektin takaisinmaksuaikaan vaikuttaa oleellisesti se, miten nopeasti ristikot uusitaan.			
Avainsanat: Raitiovaunu, ratatekniikka, vaihde, raideristeys, melu			
Sarjan nimi ja numero: HSL:n julkaisuja 4/2011			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-065-3 (nid.)	Kieli: Suomi	Sivuja: 68
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-066-0 (pdf)		
HSL Helsingin seudun liikenne, PL 100, 00077 HSL, puhelin (09) 4766 4444			

Abstract page

Published by: HSL Helsinki Region Transport			
Author: Janne Peltola		Date of publication 22.2.2011	
Title of publication: Introducing deep grooved turnouts and crossings to the Helsinki tramway network - Benefits and preconditions			
Financed by / Commissioned by: HSL Helsinki Region Transport			
Abstract: The objective of the project was to determine whether it would be beneficial to change the structure of the turnouts and the crossings of the tramway network in Helsinki so that trams can run over the turnouts and crossings on the wheel treads instead of running on the flange tips. Goals of the renewal are to: <ul style="list-style-type: none">• Decrease the operating costs of the tram system. The need of vehicle and track maintenance will change so that the flange height of wheels can be better kept within allowed dimensions but the need for maintaining the wheel surfaces in the right profile with the help of a wheel lathe will increase due to the increased wear of the inner side of wheel surfaces. The need for build-up welding and grinding of common crossings will decrease in the bottom of the flange grooves but increase in crossing noses and wing rails. Since there is less of the latter type of work counted in railmeters, the HKL Tram Unit expects that there will be less work in maintaining the running surfaces of the common crossings compared to grinding the bottom of the grooves.• Reduce the need for speed limits caused by turnouts and crossings and in most cases make it possible to increase the speed of tramway traffic to the level allowed by the rest of the traffic environment and the track geometry without affecting the overall safety of the road traffic. The flat grooves and the existing method for turning the tramway turnouts in HKL tramway network mean that there has to be a 10 km/h speed limit at the turnouts and crossings. By taking the deep grooved common crossings in use, the speed limit can be increased to 15 km/h in the facing direction, to about 20–30 km/h in the trailing direction and it can be removed at diamond crossings. The higher speed limits as mentioned here would require locking devices for the tongues at the facing pointed turnouts and an automatic turning system for the trailing pointed turnouts.• Decrease noise and vibration levels caused by driving over the turnouts and crossings especially by shortening the duration of the noise and vibration and thus making them more tolerable.• Flat grooves can still be used at those turnouts and crossings that cannot be changed to deep grooves. For the cost-benefit analysis it was necessary to evaluate how much and what kind of modernization actions have to be done on the whole tramway network so that the wider wheels (110 mm instead of 83 mm wide wheels used nowadays) can be taken in use. The wider wheels are a necessity for the deep groove crossings. Three kinds of modifications are needed in the tramway infrastructure and in vehicles: <ol style="list-style-type: none">1) The road surface (asphalt/paving stones) near the track has to be at the same level with the top of the rails so that the wider wheels have space to roll.2) The wider wheelsets have to be changed into the bogies of the trams.3) Modifications needed at common crossings, diamond crossings and in guard rails. Total costs of this project have been estimated to be about EUR 9–13 million, depending on how fast the crossings are renewed. If the crossings are renewed only as they wear out, the costs will naturally be lower. The capital costs of this project will be covered mostly by cutting the operating costs of the tramway system but there is also great potential for surplus by decreasing the maintenance costs of the conveyance and the tracks. The repayment period for this project is estimated to be about 9–17 years depending on how fast the crossings are renewed; a longer period/time means lower capital costs but a shorter time means that the profits can be received earlier.			
Keywords: Tram, rail technology, switch, crossing, noise			
Publication series title and number: HSL publications 4/2011			
ISSN 1798-6176 (nid.)	ISBN 978-952-253-065-3 (nid.)	Language: Finnish	Pages: 68
ISSN 1798-6184 (pdf)	ISBN 978-952-253-066-0 (pdf)		
HSL Helsinki Region Transport, P.O.Box 100, 00077 HSL, tel. +358 (0) 9 4766 4444			

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	9
2	Käsitteitä.....	11
3	Hankkeen kuvaus.....	16
4	Tarvittavat toimenpiteet	19
4.1	Yleiskuvaus.....	19
4.2	Katupäällysteen alentaminen.....	20
4.3	Pyörien vaihto.....	21
4.4	Ristikoiden uusiminen.....	21
4.5	Ristikoiden vaihtaminen.....	21
5	Hyödyt	22
5.1	Projektin suorat rahalliset hyödyt.....	22
5.2	Projektin kaupunkiympäristöön vaikuttavat, mutta rahassa vaikeammin mitattavat hyödyt	27
5.3	Tämän projektin yhteydet muihin projekteihin	27
6	Kustannukset.....	28
6.1	Katupäällysteen jyrskintä.....	28
6.2	Pyörien vaihto vaunuihin.....	28
6.3	Vaihteiden ja raideristeysten muutostyöt	29
6.4	Muutostyöt, joita vaununpyörien hionta- ja profilointilaitteistoihin on tehtävä	31
6.5	Kokonaiskustannukset.....	32
6.6	Aikataulu	33
7	Riskit	34
8	Johtopäätökset	35
9	Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi	36
	Lähdeluettelo	37
	Liitteet	39

1 Johdanto

Kiskoilla kulkevassa laitteessa tarvitaan pyörän vierintäkehän ulko- ja/tai sisäpuolelle laippa pitämään kyseinen laite kiskoilla ja ohjaamaan se oikeaan suuntaan kaarteissa ja raiteen haarautumiskohdissa ja raideristeyksissä. Rautatie- ja raitiotiekalustossa laipat sijoitetaan yleisesti pyörien sisäpuolelle.

Vaihteet koostuvat kielisovituksesta, välikiskoista ja risteyksestä. Kielisovituksessa vaunun tai veturin pyöräkerta ohjautuu suoralle tai poikkeavalle raiteelle sen mukaan, kummassa asennossa tukikiskon ja sivukiskon välissä rinnakkain eri kiskojojoilla sijaitsevat kaksi kieltä ovat. Myös yksikielisiä vaihteita on joissain erikoistapauksissa käytetty, mutta nykyään ne ovat erittäin harvinaisia.

Vaihteen risteyksessä (jäljempänä pikkuristikko) pyöräkerran toinen pyörä risteää poikkeavan raiteen kiskon kanssa ja tällöin kiskon pintaan muodostuu epäjatkuvuuskohta, ts. osa pyörän kehästä kulkee hetken aikaa tyhjän päällä johtuen poikkeavan raiteen urasta. Tämän epäjatkuvuuskohdan ohittamiseen on tyypillisesti kaksi tapaa:

- a) Pyörän vierintäkehän on oltava tarpeeksi leveä, jotta se ulottuu riittävältä matkalta poikkeavan raiteen uran yli, jotta risteyksen kärkikappaleen leveys on kasvanut tarpeeksi suureksi kyetäkseen vahingoittumatta kantamaan pyörän koko painon.
- b) Pyörän on ohitettava poikkeavan kiskon ura laippansa varassa. Tämä luonnollisesti edellyttää urien pohjien nostamista kärkikappaleen alueella ja laipalta ja uran pohjilta sopivaa muotoa.

Kohdan a tilanteessa on kyseessä syväurainen risteys ja kohdan b tilanteessa matalaurainen risteys.

Raitioliikenteessä on perinteisesti käytetty pyörän laipan varassa ajamista, koska raitiovaunuissa on käytetty kapeita pyöriä. Kapeiden pyörien käyttäminen puolestaan johtuu kiskojen sijoittamisesta upotettuna kadun pinnan tasalle. Koska katupäällyste on kiinni kiskon ulkoreunassa, eikä sen korkeusasemaa ole voitu taata, leveän pyörän kehän ulkoreuna olisi saattanut ottaa kiinni kadun päällysteen pintaan.

Nykyaikaisilla raitioteillä käytetään kuitenkin yleisesti leveitä pyöriä ja pyörän kehän kantoa vähintään osassa raideristeyksistä. Laipan varassa ajamiseen verrattuna pyörän kehällä ajaminen raideristeyksissä vähentää pyörien ja kiskojen kulumista ja raitioliikenteen aiheuttamaa melua ja tärinää. Melu- ja tärinätason pieneneminen parantavat matkustusmukavuutta ja mahdollisesti lisäävät matkustajamääriä. Samalla asumis- ja työskentelyviihtyvyyden paranevat raitioratojen risteämisalueilla. Raitioliikenteen matka-ajoilla on myös vaikutusta matkustajamääriin, ja vaikka vaihde- ja ristikoalueiden nopeusrajoitusten lieventäminen ei yksin nopeuta keskimääräisen matkustajan matka-aikaa, on tällä kuitenkin oma tärkeä osansa Helsingin raitioliikenteen yleisessä nopeuttamisessa/sujuvoittamisessa.

Rautateillä kulkeva kalusto ylittää vaihteet ja raideristeykset lähtökohtaisesti pyörän kehän varassa, eikä laipan varassa ajo normaalioloissa edes harkita, johtuen rautateillä yleisesti käytettyjen pyöräprofiilien laippojen erilaisesta muodosta ja tavallisesti pienemmistä risteyskulmista. Helsingin metron rataverkolla ajetaan kahdessa raideristeyksessä pyörien laippojen varassa, nimittäin Roihupellon metrovarikolta lähtevien kahden syöttöraiteen risteyksessä niin sanottua koestusraidetta metrovarikon eteläpuolella. Nämä kaksi raideristeystä ovat lähes suorakulmaisia ja ne on muutettu matalauraisiksi syksyllä 2009.

Syväraisten raitiotievaihteiden mitoitusta joudutaan joka tapauksessa käsittelemään mahdollisesti toteutettavien Raide-Jokerin ja mm. Tampereen ja Turun raitiotiehankkeiden kanssa, joten tällä selvitystyöllä on laajempiakin seurauksia, kuin pelkästään HKL:n nykyisen verkon muutostyöt.

Tämä selvitys on tehty, jotta saadaan kirjalliseen muotoon ne vaatimukset ja reunaehdot, mitä syväuraisten raideristeysten käyttöönotto Helsingin raitiotieverkolla vaatisi. Tätä ennen raitioratojen ristikko-osien mitoitusta on HKL:ssä perustunut lähinnä käytännön kokemukseen ja muutamiin kokeiluihin, mutta teoriatasolla asiaa ei ole käsitelty ainakaan julkisuudessa. Tämän selvityksen tarkoitus on ennen kaikkea toimia päätöksenteon tukena kertomalla syväuraisten raideristeysten vaatimien toimenpiteiden suuruusluokka ja alustava kustannusarvio muutostöille. Ristikko-osien tarkemmat mitoituseriaa on selvitetty perustuen BOSTrabin kisko-pyörä -ohjausta käsitteleviin teknisiin liitteisiin. Yksityiskohtaiset mitoituskalkulat tullaan julkaisemaan tämän raportin lisäliitteinä.

Työssä on selvitetty millä edellytyksillä Helsingissä voitaisiin siirtyä laipan varassa ajamisesta pyörän kehän kantaan riittävän pienikulmaisissa raideristeyksissä ja arvioitu muutoksen kannattavuutta. Selvitettiin alan kirjallisuudesta muutostöiden edellytykset, kartoitettiin Helsingin raitiotieverkon ja kaluston muutostarpeet, arvioitiin muutostöihin menevä aika ja yksikköhinnat töille, tehtiin koko projektin alustava aikataulusuunnitelma, kustannusarvio ja hyöty-kustannuslaskelma.

Johtuen lähes yksinomaan saksankielisestä lähdekirjallisuudesta tämän selvityksen käsittelemällä alalla, on seuraavassa luvussa kerrottu keskeisimpien käsitteiden saksankieliset vastineet suomenkielisten selitysten lisäksi.

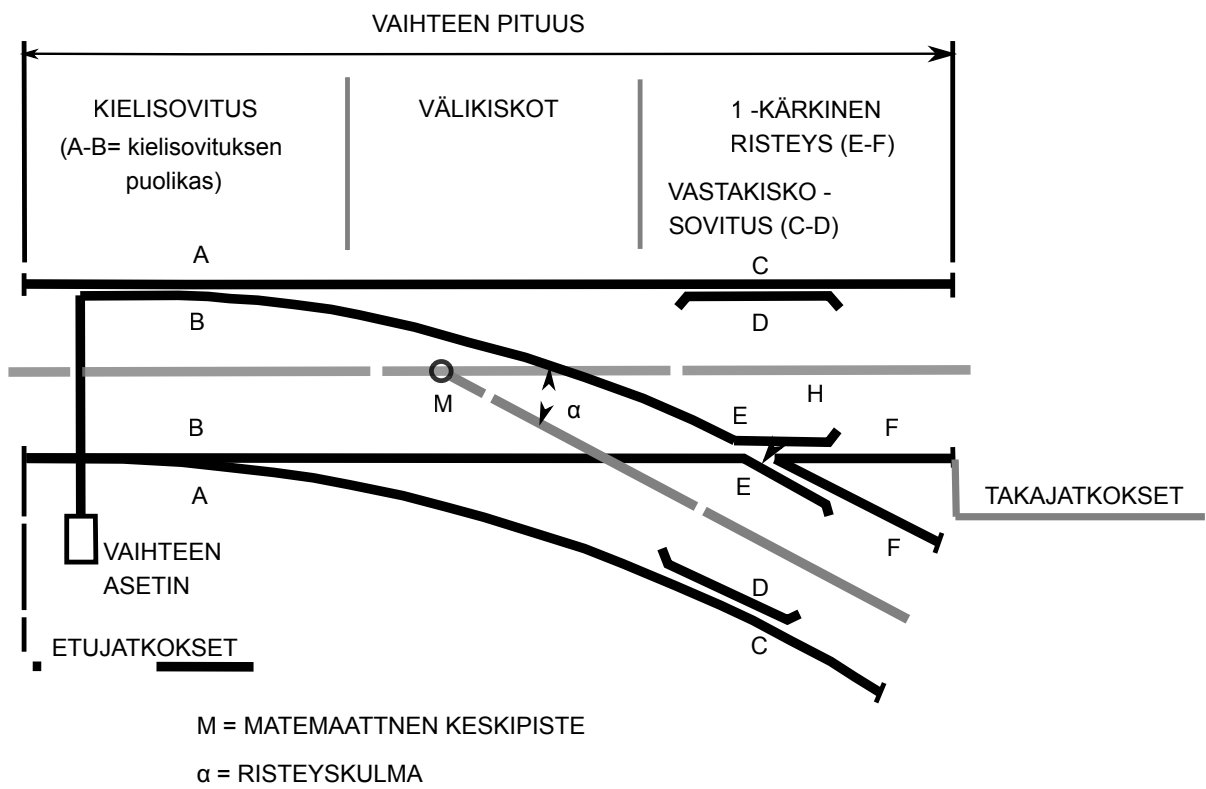
2 Käsitteitä

- -maß = -mitta, viittaa pyöräkertaan
- -weite = -leveys, viittaa raiteeseen
- Ajopinta (Gemeinsame Fahrflächentangente, GFT) = Raiteen yläpinnan poikkileikkauksen taso.
- Ajoreuna (Fahrkante) = Urakiskon uran ulkoreuna, eli ajokiskon puoleinen reuna.
- BOStrab (Virallisesti: Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)) = Saksan raitiotiesääntö. Lain ja asetusten alapuolella oleva säädös/viranomais määräys (1). BOStrabista löytyy määräyksiä liikennehenkilökunnasta, ratojen tietyistä suunnitteluperusteista, vaunukalustosta, liikennöinnistä, opastimista ja muista rataan liittyvistä varusteista ja laitteista (2). Suomessa ei vastaavia määräyksiä tällä hetkellä ole, vaan raitioliikenne noudattaa soveltuvin osin tieliikennelakia. Lisäksi Helsingin kaupungin liikennelaitoksen raitioliikenneyksikkö on antanut sisäisiä määräyksiä liittyen liikennöintiin, muun muassa Raitiovaunukuljettajien toimintaohjeet ja viimeksi syksyllä 2009 uudistetun Raitioliikennesäännön. HKL-Liikelaitoksen sisällä on erilaisia näkemyksiä siitä, miltä osin ja miten laajasti HKL:n raitioliikenteen liikennöinnissä ja rakentamisessa noudatetaan BOStrabia, erityisesti siksi koska BOStrabilla ei tällä hetkellä ole juridista asemaa Suomessa (3), (4), (5). Sitä voidaan kuitenkin jossain määrin pitää vakiintuneena käytäntönä, ja niin sanotusti ”parhaana saatavissa olevana ohjeistuksena”, ja tämän selvitystyön lähtökohtana on ollut BOStrabin määräysten ja ohjeiden noudattaminen.
- Iso ristikko = Tässä työssä käytetty määritelmä kahden raiteen risteyksestä silloin kun risteyskulma on selvästi alle 60°. Iso ristikko on tyypillisesti vaihteen poikkeavan raiteen ja vastakkaisen suunnan raiteen risteys. Isossa ristikossa on kaksi yksikärkistä ja kaksi kaksikärkistä risteyskappaletta.
- Kaksikärkinen risteyskappale (Doppelte Herzstück) = Risteyskappale, jonka kahdesta risteyskärjestä molemmille kohdistuu vaunun pyörän kuormitusta. Isossa ristikossa näitä kaksikärkisiä risteyskappaleita on kaksi kappaletta.
- Kammiokumi (Kammer-element) = Kiskon molemmin puolin voidaan asentaa kammiokumi, jotka sekä suojaavat kiskonkiinnikkeitä, varaavat kiskojen ulkopuolelta tilan leveille pyörille, eristävät kiskot katupäällysteestä ja nurmiradoilla myös estävät kasvillisuutta kasvavasta kiskojen yläpinnalle. Englanninkielinen termi on Chamber filling blocks ja saksankielinen termi on Kammerelement.
- Kielisovitus (Zungenvorrichtung) = Vaihteen kieliä kääntämällä saadaan vaunu menemään suoralle tai poikkeavalle raiteelle riippuen kielten asennosta.
- Leitkantenabstand = Urakiskoraiteen laippaurien sisäreunojen välinen etäisyys.
- Leitkreisabstand = Pyöräkerran laippojen sisäreunojen välinen etäisyys.
- Lukkiutuva turvavaihde = Turvavaihde, jossa on sähköisen varmistuksen lisäksi mekaaninen salpalaitte, joka estää vaihteiden kielten kääntymisen vaunun telin alla. Jos vastavaihteeseen liikennöidään yli 15 km/h nopeudella, niin BOStrabin määräysten mukaan vaihteen täytyy tällöin olla sekä sähköisesti että mekaanisesti lukkiutuva, jotta estetään vaihteen kääntymisen yliajavan vaunun alla.
- Mangaaniteräs = Runsaasti mangaania sisältävä teräslaatu, jonka erikoisominaisuutena on lujuuden kasvu kylmänä iskujen voimasta.
- Myötävaihde = Vaihteessa jossa vaunun kulkusuunta on risteyskappaleelta kohti vaihteen kielten kärkiä. Myötävaihteessa kaksi raidetta yhdistyy yhdeksi. (6)
- Nollaraja = Risteyskulma β_H , jolla liitteessä F olevan kaavan 1 erotukseksi saadaan 0, kun pyörän leveys b_P , laipan sisäreunan suurin sallittu kuluma pyörän poikkileikkauksen suunnassa

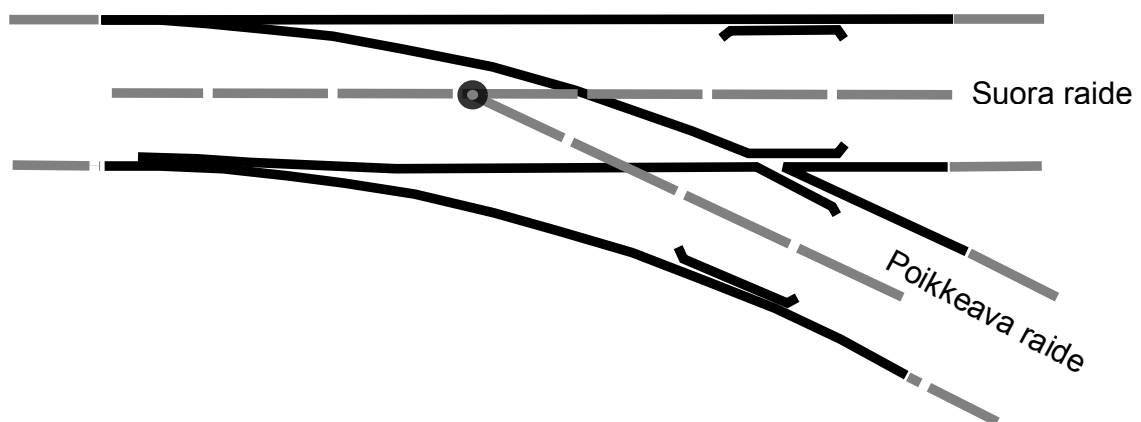
- f_{max} , suoran raiteen uran maksimileveys risteyksessä $W_{H,S,max}$, risteuksen kärjen kantopinnan sallittu minimileveys $b_{R,H}$, poikkeavan raiteen uran maksimileveys risteyksessä $W_{H,S,max}$ ja siipikiskon kantopinnan sallittu minimileveys $b_{R,F}$ tiedetään. Tulos määrittää rajan, jota suurempia risteyskulmia ei voida käyttää ilman risteuksen kärkikappaleen pysyviä muodonmuutoksia.
- Ohjausmitta (Leitmaß) = Pyöräkerran toisen pyörän laipan sisäreunan ja toisen pyörän laipan ulkoreunan välinen etäisyys.
 - Ohjausleveys (Leitweite) = Vaihteen risteuksen poikkileikkauksessa risteyskärjen ja vastakiskon ohjauspinnan väliin jäävä pienin etäisyys mitattuna radan tangenttilinjan ja raidelevyden mittaustason väliseltä alueelta. HKL-rakennusyksikkö käyttää termiä "ohjausleveys" vain tästä mittasuureesta, mutta BOSTrabin Technische Regeln Spurführungissa on lisäksi eroteltu sekä matala- että syväuraisilla risteyskappaleilla siipikiskon urapinnan (Rillenkante) ja vastakiskon ajopinnan (Leitkante) välinen suurin etäisyys. Edellisestä voidaan käyttää myös ilmaisua "risteyskappaleen ohjausleveys" (Leitweite über Herzstückrille) ja jälkimmäisestä ilmaisua "vastakiskon ohjausleveys" (Leitweite über Radlenkerrille). Liitteessä G olevassa kuvassa 3 selvennetään näitä käsitteitä.
 - Ohjauspinta (Leitkante) = Urakiskovaihteessa vastakiskon laippauran sisäreuna eli pyöräkerran ohjausreuna. Voi olla profiililtaan paikasta riippuen Ri 60, Ri 59, VK 60, risteyskisko tai risteysteräs.
 - Pikkuristikko (Einfache Kreuzung) = Vaihte koostuu kolmesta osasta: Kielisovituksesta, välikiskoista ja risteyksestä (vastakiskosovitukseen), jossa poikkeavan raiteen ulompi kisko risteää suoran raiteen sisemmän kiskon kanssa. Pikkuristikko koostuu yhdestä yksikärkisestä risteyskappaleesta.
 - Poissonin kerroin (Querkontraktionszahl) = Kun materiaalia puristetaan yhdessä suunnassa, se yleensä pyrkii laajenemaan puristussuuntaan nähden kohtisuorassa oleviin kahteen muihunkin suuntaan. Tätä ilmiötä kutsutaan Poissonin ilmiöksi. Poissonin luku (ν) on Poissonin ilmiötä mittaava suure. Poissonin luku on laajenemisen suhde (tai prosenttiosuus) jaettuna kokoonpuristumisen suuruudella (tai prosenttiosuudella) silloin kun nämä muutokset ovat pieniä.
 - Pyöräkerta = Kahden pyörän ja niitä yhdistävän akselin muodostama kokonaisuus. Nimitystä käytetään myös vaikka pyörien välillä ei olisi kiinteää akselia.
 - Raidelevyden mittaustaso (Gemeinsame Geometrieebene, GGE) = Raiteen tangenttilinjan alapuolella sijaitseva taso, josta raiteen raideleveys mitataan. Yleisimmillä urakiskoprofiileilla tämä taso on -10 mm tangenttilinjan alapuolella ja vignol-kiskoilla -14 mm tangenttilinjan alapuolella.
 - Raideleveys = Raideleveys (Spurweite) on suoralla 1000 mm. Se on radan urakiskojen hamparan kulkureunojen pienin etäisyys mitattuna radan tangenttilinjan ja raidelevyden mittaustason väliseltä alueelta. Raidelevyden mittaustaso ja mittapiste on 10 mm ajokiskon tangenttilinjan alapuolella.
 - Raideristeys (Kreuzung) = Raideristeyskällä tarkoitetaan kahden raiteen risteyskohtaa. Raideristeyksessä on neljä risteyskappaletta, joista kaksi on 2-kärkistä ja kaksi 1-kärkistä risteyskappaleita. Ensin mainittuja on vain risteysvaihteissa ja raideristeyksissä. Muissa vaihteissa, joissa raiteet erkanevat risteämättä toisiaan, on vain 1-kärkinen risteyskappale. Kuvat 1 ja 4.
 - Risteuksen kärki (Herzstückspitze) = Risteyskappaleen teräväkulmainen osa. Kärkikappaleita on urakiskovaihteiden risteyskappaleessa kaksi kappaletta. Yksikärkisessä risteyskappaleessa vain toiselle kärjelle kohdistuu pystysuuntaista kuormitusta, kaksikärkisessä risteyskappaleessa molemmille kärjille.
 - Technische Regeln Spurführung (virallisesti: Technische Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOSTrab)) = Pyörän ja kiskon välistä kontaktia käsittelevä ohjeistus käytettäväksi niillä radoilla joilla noudatetaan BOSTrabin määräyksiä.

Technische Regeln Spurführung sisältää seuraavanlaista tietoa:

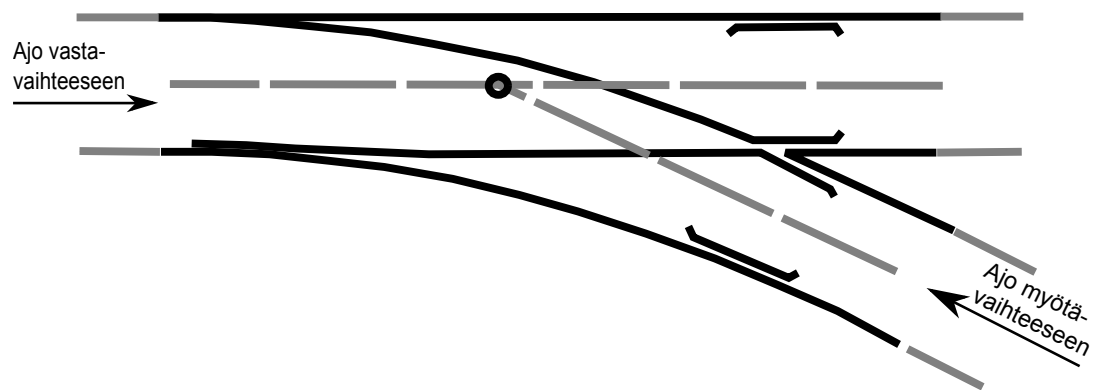
- Technische Regeln Spurführung (TR Sp) Kisko-pyöräohjauksen yleisiä perusteita.
 - Anhang 1 Laskukaavat, joiden avulla voidaan laskea pyörän laipan tarvitsema lisätilan tarve kaarteissa verrattuna tilantarpeeseen suoralla raiteella.
 - Anhang 2 Tiivistelmä tarvittavista laskukaavoista
 - Anhang 3 Liitteen 1 (Anhang 1) laskukaavojen avulla laskettu esimerkkitapaus (tosin normaaliraidelevydelle).
 - Anhang 4 Laskukaavat ja diagrammit pyörän ja kiskon välisen kontaktipinnan minimileveyden määrittämistä varten.
- TR Sp = Katso Technische Regeln Spurführung
 - Turvaraja = Risteyskulma β_H , jolla liitteessä G olevan kaavan 1 erotukseksi saadaan +10, kun pyörän leveys b_P , laipan sisäreunan suurin sallittu kuluma pyörän poikkileikkauksen suunnassa f_{max} , suoran raiteen uran maksimileveys risteyksessä $W_{H,S,max}$, risteyskärjen kantopinnan sallittu minimileveys $b_{R,H}$, poikkeavan raiteen uran maksimileveys risteyksessä $W_{H,Z,max}$ ja siipikiskon kantopinnan sallittu minimileveys $b_{R,F}$ tiedetään. Muun muassa Freiburgin liikennelaitoksen (RVF) käyttämä raja, joka määrittää sen että voidaanko risteys muuttaa syväuraiseksi.
 - Turvavaihte = Rautatiemaailmassa turvavaihteeksi kutsutaan vaihdetta, jonka ainoa tarkoitus on antaa sivusuoja kulkutieraiteelle. Turvavaihteen toinen haara johtaa raiteelle, jota se suojaa, ja toinen raide lyhyelle turvaraiteelle, joka ei johda mihinkään. Turvavaihte on pyrittävä suunnittelemaan niin, että sen kulkutietä suojaava asento on poikkeavalle raiteelle. Sivusuoja voidaan toki antaa muullakin vaihteella kuin turvavaihteella. Turvavaihteiden käytöstä on erityistä etua liikenteenohjausraiteilla, jotka ovat vastakkaisiin suuntiin kulkevien junien kohtaamisia tai samaan suuntaan kulkevien junien ohituksia varten. Junakulkutien ohiajovaraksi saadaan turvavaihte ja -raide, eikä linjaraitteen vaihdetta tarvitse varata. (6)
Raitiotiemaailmassa ja tässä selvityksessä taas turvavaihteella tarkoitetaan vaunulta saatavan tiedon perusteella automaattisesti kääntyvää vaihdetta, jossa on sähköinen lukitus estämässä vaihdetta kääntymästä edellä menevän vaunun ollessa vaihteen kielialueella, tai lähestymässä sitä, ja mekaaninen lukitus varmistamassa vaihteen kielten pysymisen ääriasennossa kerran kääntyttyään.
 - Vastakisko (Radlenker) = Kun (kiinteäakselisen) pyöräkerran toinen pyörä kulkee risteyskappaleen alueella ohjauksettomalla osalla, ottaa vastakkaisen pyörän laipan sisäreuna tukea vastakiskon ohjausreunasta ja ohjaa tällä tavalla pyöräkerran turvallisesti tämän ohjauksettoman osan yli.
 - Vastakiskosovitus (Radlenkenbereich) = Vastakiskosovitus koostuu vastakiskosta ja vastakiskon tukikiskosta. Vastakisko ohjaa pyöräkertaa/pyöräparia vaihteen risteyskohdalla. Urakiskovaihteissa ei yleensä ole erillistä vastakiskoa, vaan vaunun pyörä ottaa tukea kiskouran sisäreunasta (eli ohjausreunasta). Katso kuva 1.
 - Vastavaihte = Vaihte jossa vaunun kulkusuunta on vaihteen kielten kärjestä kohti risteyskohdalle. Vastavaihteessa yksi raide haarautuu kahdeksi. (6)
 - Yksikärkinen risteyskappale (Einfache Herzstück) = Pikkuristikossa on yksi yksikärkinen risteyskappale. Yksikärkisessä risteyskappaleessa vain toinen kärjistä kantaa pystysuuntaisia kuormia.



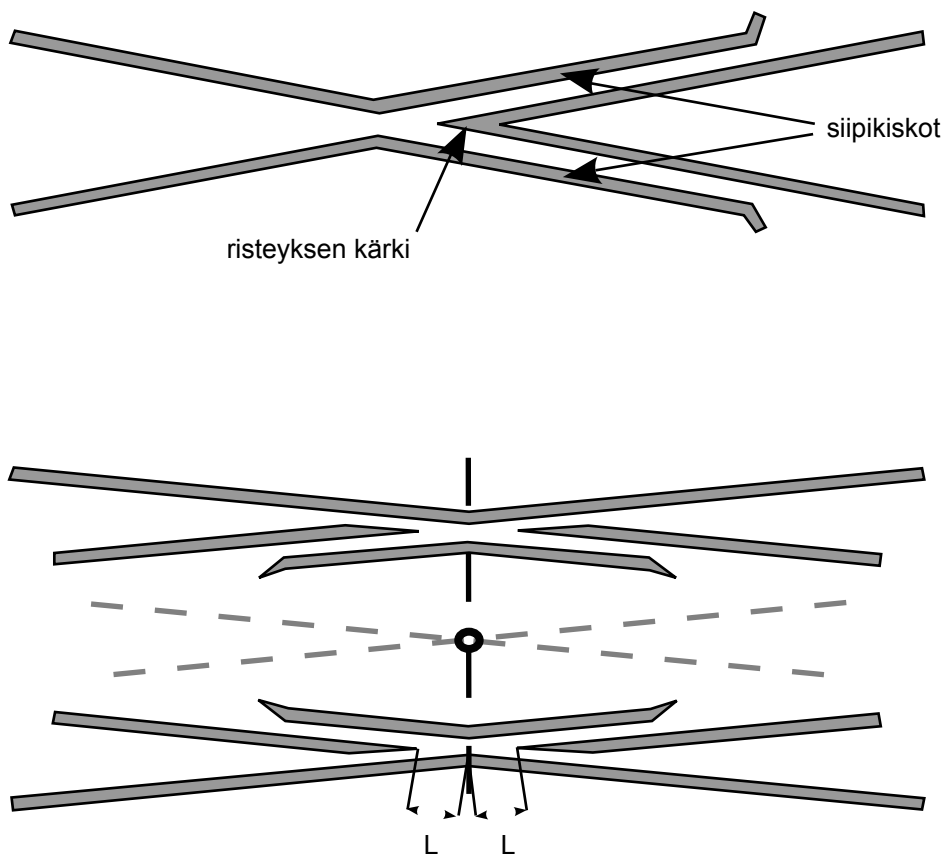
Kuva 1. Vaihtteen pääosat. (6)



Kuva 2. Käsitteet "suora raide" (Stammgleis) ja "poikkeava raide" (Zweiggleis). (6)



Kuva 3. Käsitteet "ajo myötävaihteeseen" ja "ajo vastavaihteeseen". (6)



Kuva 4. Yksikärkisen ristikon pääosat ja iso ristikko. Kuvat ovat rautatievaihteista, joten urakiskovaihteiden osalta kuvat ovat osittain viitteellisiä. L = Pyöräkerran ilman ohjausta kulkema osuus vaihteessa. (6)

3 Hankkeen kuvaus

Projektissa selvitettiin ensin että mikä merkitys pyörien laippojen varassa ajamisella on vaunukaluston ja radan kestävyuden, matkustusmukavuuden, liikenneturvallisuuden sekä ympäristön kannalta. Sen jälkeen tutkittiin millä toimenpiteillä näistä haittavaikutuksista voitaisiin päästä eroon ja mitä niiden toimenpiteiden toteuttaminen vaatisi.

Laippojen varassa ajaminen ristikkoalueilla kuluttaa sekä laippoja, kiskojen urien pohjia ristikkoalueilla ja myös rasittaa vaunukalustoa fyysisesti.

Siirryttäessä ajamaan kaikissa vaihteissa ja suurimmassa osassa ristikoita pyörän kehien varassa, lisääntyy toisaalta pyörien kehien, risteyskärkien ja siipikiskojen kuluminen. Näiden ongelmien hallintaan on kuitenkin omat keinonsa, joista lisää kappaleessa 7 Riskit.

Selvitettiin mitä muutoksia vaunukalustoon tai rataaan pitäisi tehdä, jotta tästä laippojen varassa ajamisesta päästäisiin eroon. Kirjallisuuden mukaan HKL:n raitiovaunujen pyöriä pitäisi leventää nykyisestä 83 mm:stä vähintään 105:een ja mieluummin 110 millimetriin, jotta ristikoissa voitaisiin ajaa pyörien kulkukehien varassa laippojen sijasta. Tätä leveämpiä pyöriä ei kirjallisuudessa suositeltu raitioteillä käytettäväksi, rautatiekalustossa sen sijaan normaali pyörien leveys on 135 mm. Tosin ilmeni rajoite, että 110 mm:n pyörät mahdollistavat kehän varassa ajon maksimissaan noin 30–40° risteyskulmilla. Tämän takia selvitettiin Helsingin rataverkolla olevien pikkuristikoiden, isojen ristikoiden ja raideristeysten risteyskulmat.

Nivelvaunujen teleissä olevia lokasuojia joudutaan mahdollisesti muokkaamaan pyörien leventämisen yhteydessä, mutta raitioliikennesuojien mukaan tämä ei ole iso ongelma. (7)

Rataverkkoon vaadittavat muutostyöt selvitettiin alan kirjallisuudesta ja keskustelemalla asiantuntijoiden kanssa. Koska normaalin urakiskon hamaran ja uran yhteenlaskettu leveys on kiskon profiilista riippuen 93 mm (Ri60) tai 99 mm (Ri59), pitäisi kiskojen ulkopuolelle tehdä vähintään 20 mm leveydeltä tilaa leveille pyörille. Kävi ilmi, että kadun päällyste tulee Helsingissä monin paikoin aivan kiinni kiskon pintaan, ja päällysteen pinta on monin paikoin maan routimisesta tai radan painumisesta johtuen kiskon yläpintaa korkeammalla. Viimeisen viidentoista vuoden aikana tehtyjen ratatöiden yhteydessä on kuitenkin kiskojen ulkoreunalle jätetty 15–25 mm leveä rako, joka on töiden lopuksi täytetty joustavalla massalla (kumibitumilla). Tämä varmistaa sen että raitiovaunujen leveille pyörille on tilaa kulkea ja tätä tai vastaavaa menetelmää on käytettävä myös tulevien ratatöiden yhteydessä.

Vaihteisiin ja raideristeyksiin vaadittavien muutostöiden sisältö oli HKL-rakennusyksikössä pääosin selvillä, mutta alan kirjallisuudesta piti varmistaa tietojen oikeellisuus ja selvittää muutostöiden yksityiskohdat. Kävi ilmi, että pyörän kulkuun risteysalueella vaikuttavia mittasuureita on runsaasti, näitä kaikkia ei ole dokumentoitu kokonaisuudessaan yhdessä julkaisussa eivätkä ne ole täysin yksikäsitteisiä. Lisäksi risteyskärjen kestävyys arvelutti HKL:n Rakennusyksikköä, syynä VR:n ja Ratahallintokeskuksen ongelmat vastaavien osien kanssa rautatieverkolla (3). Piti siis ottaa selville minkälaisia kuormituksia risteyskärkeen tulisi kohdistumaan, mikä on kestävyuden kannalta suurin sallittu syväuraisen ristikon risteyskulma tietyllä pyörän leveydellä ja minkälaista terästä risteyskärkikappaleen olisi oltava.

Sekä raitioliikenne- että rakennusyksiköissä oltiin lisäksi huolestuneita siitä mahdollisuudesta, että Variotram-vaunujen pyörä heiluessaan osuisi risteyskärkeen ja rikkoisi sitä tai peräti suistaisi

vaunun kiskoilta (3), (4).

Tutkittiin Helsingin raitiotieverkon kunto siltä osin, millä rataosilla leveille pyörille on jo nyt tilaa ja millä rataosilla tarvitsee jyrsiä tai muulla menetelmällä poistaa katupäälystettä kiskojen reunasta. Rataosuudet käytiin läpi silmämääräisesti ja tarvittaessa mitattiin itsetehdyllä mittavälineellä, että kiskonharjan ulkopuolella on kiskon yläpinnan tasossa vähintään kolmen senttimetrin leveydeltä tilaa. Rataosat taulukoitiin ja jyrjinnän tarve ja katupäälysteen tyyppi kirjattiin ylös.

Projektissa tutkittiin vaatisiko leveiden pyörien vaihto vaunuihin muuta kuin pyörien vaihdon tai riittäisikö että pyörästä vaihdetaan vain osa. Selvisi että vaunujen pyörät koostuvat useammasta osasta (8). Esimerkiksi Valmetin nivelvaunujen pyörien konstruktiossa telien akseleissa on kiinni ns. peruspyörä, jossa on pulteilla sivuittain kiinni ns. välipyörä ja näiden välissä on pyöreiden levyjen muotoisia ”kumilimppuja” vaimentamassa radasta aiheutuvaa värinää ja melua. Tämän ns. välipyörän ympärille on asennettu ensin kuumentamisen avulla suurennettu ja sitten jäähtyessään kutistuva rengas, jonka välityksellä pyörä on yhteydessä kiskoon. Pyörän laippa on kiinteä osa tätä rengasta.

Matalalattiivaunujen, Variotramien, pyörien rakenne on tekniikasta johtuen hieman erilainen. Välipyörää ei ole ja peruspyörän ja renkaan välissä on kyllä kumijoustoelementit, mutta ne ovat rengasmaisesti näiden välissä. Joustovara on siis paljon pienempi ja teliin kohdistuvat rasitukset suuremmat kuin nivelvaunuissa (8).

Aluksi oletettiin että pelkkä renkaiden vaihto riittäisi, mutta asiaa eräältä pyörien valmistajalta kysyttäessä kävi ilmi, että koska nykyinen välipyörä on tulevaa 110 mm leveä rengasta kapeampi, ei renkaiden kestävydestä olisi valmistajan mukaan takuuta (8). Selvitystyötä päätettiin jatkaa siltä pohjalta, että vaunujen pyöristä vaihdetaan sekä renkaat että välipyörät. Samalla kun pyörät avataan, voisi pyöristä tarkistaa myös kumijoustoelementtien kunnan ja vaihtaa huonokuntoiset elementit.

Vaihteiden ja raideristeysten risteyskulmat on HKL:n piirustusarkistosta saatavissa olleilta osin tarkistettu ratapiirustuksista ja loput on kysytty Rakennusyksiköstä (9). Muutamat risteykset on myös pistokoeluonteisesti käyty tarkastusmittaamassa astemitan avulla.

Pikkuristikot todettiin kaikki muutokelpoisiksi, koska niiden risteyskulmat ovat alle 15° ja isot ristikot jaettiin kolmeen ryhmään risteyskulman perusteella: varmasti muuntokelpoiset, harkintaa vaativat ja liian jyrkkäkulmaiset ristikot. Kriteeriksi isojen ristikoiden edellä mainitulle jaottelulle määriteltiin kaavan liitteessä G olevan kaavan 1 antamat erotukset +10 ja 0. Erotus +10 on niin sanottu turvaraja, jonka antamaa risteyskulman arvoa loivemmat ristikot voidaan varmasti muuntaa syväuraisiksi. Tätä jyrkempien risteystenkin muuttamista syväuraisiksi voidaan harkita, kunhan niiden risteyskulma on loivempi, kuin mitä liitteessä 6 olevalla kaavalla 1 saadaan risteyskulman arvoksi, kun tämän kaavan antama erotus on 0. Tätä jyrkempien ristikoiden muuttaminen syväuraisiksi ei onnistu ilman että ratageometriaa muutetaan kyseisillä ristikkoalueilla. Varmasti muuntokelpoisten isojen ristikoiden suurimmaksi sallituksi risteyskulmaksi on tässä vaiheessa arvioitu alle 32°, harkintaa vaativissa ristikoissa on yksi tai useampi kulma yli 32°, mutta alle 39° ja liian jyrkkäkulmaisiksi arvioitujen ristikoiden yksi tai useampi kulma oli yli 39°.

Linjakäytössä olevilla rataosuuksilla näitä liian jyrkkiä isoja ristikoita on kahdeksan kappaletta, joista kolme Helsinginkadun ja Kaarlenkadun risteyksessä, kaksi Aleksanterinkadun, Snellmaninkadun ja Katariinankadun risteyksessä, yksi Aleksanterinkadun ja Mannerheimintien risteyksessä ja yksi Helsinginkadun ja Läntisen Brahenkadun risteyksessä. Lisäksi harkinnanvarsi merkityistä isoista ristikoista erityisesti Toisen Linjan ja Porthaninkadun risteyksessä oleva iso ristikko on aivan har-

kinta-alueen ylärajalla. Liian jyrkkäkulmaisiksi merkityistä ristikoista erityisesti Helsinginkadun ja Kaarlenkadun risteys on sellainen, että parantamalla tässä risteyksessä ratageometriaa, voitaisiin sen kaikki isot ristikot muuttaa syväuraisiksi.

Raitioliikenteen rataverkolle jää joka tapauksessa muutama risteysalue, tarkemmin sanoen Aleksanterinkatu-Katariinankatu-Snellmaninkatu, Mannerheimintie-Simonkatu-Kaivokatu, Mannerheimintie-Runeberginkatu-Helsinginkatu, Sturenkatu-Aleksis Kiven katu ja Sturenkatu-Mäkelänkatu, joihin jää suorakulmaisia raideristeyksiä, jotka eivät ilman kokeellista tekniikkaa ja/tai suuria kustannuksia ole muutettavissa syväuraisiksi. Lähitulevaisuuden suunnitelluista hankkeista Topeliuksenkadun ratayhteys saattaa aiheuttaa sen, että Mannerheimintien ja Nordenskiöldinkadun risteykseen muodostuu uusi jyrkkäkulmainen ($> 45^\circ$) raideristeyksryhmä. Lisäksi Itä-Pasilassa on Asemapäällikönkadun ja Ratapihantien ja Ratamestarinkadun ja Radanrakentajantien risteyksissä varmuudella yli 45° raideristeykset, joita ei myöskään saa syväuraisiksi.

4 Tarvittavat toimenpiteet

4.1 Yleiskuvaus

Syväuraprojekti on toteutettava kolmessa vaiheessa – katupäällysteen jyrshintä, pyörien vaihto ja ristikoiden vaihto.

Asfaltin ja nupukivien jyrshinnät on tehtävä ennen kuin vaunuihin aletaan laajasti vaihtaa leveitä pyöriä. Jyrshintä on työteknisesti melko yksinkertainen toimenpide, mutta jyrshinnät on asfalttiin jyrshintävän uran täyttämiseen tarvittavan bitumin ominaisuuksien takia tehtävä lämpimänä vuodenaikana.

Leveiden pyörien vaihto vaunuihin on hoidettava niin, että ensin vaihdetaan pyörät vapaana oleviin telihin ja sitten vaihdetaan leveäpyöräiset telit vaunuihin. Näin menetellen vaunujen seisonta-aika jää mahdollisimman lyhyeksi.

Pyörien vaihto yhteen vaunuun kestää noin viikon, ja tästä ajasta vaunu joutuu seisomaan telien vaihtamiseen kuluvan ajan, eli noin puoli työpäivää (7).

Viimeistään kun koko vaunukalustoon on vaihdettu leveät pyörät, voidaan aloittaa ristikko-osien vaihto rataverkolla. Tämä kannattaa toteuttaa niin, että ensin vaihdetaan Koskelan varikkoalueella yksi ristikko tai kaksi eri kulmaista ristikkoa vastakiskoineen ja tehdään vielä viimeinen ristikoiden mittojen oikeellisuuden tarkistus koeajojen avulla, ennen kuin asennetaan varsinaiset koeristikot raitioteiden linjaverkolle.

Jos koeajot onnistuvat, voidaan seuraavaksi vaihtaa linjaverkolle muutamaan eri kulmaiseen risteyskappaleeseen syväurainen risteyskappale, ja seurataan niiden kulumista esimerkiksi vuoden ajan, ennen kuin päätetään jatkotoimenpiteistä. Koeristikoita on syytä olla sekä loiva-, että jyrkkäkulmaisia, niiden tulisi olla helposti vaihdettavissa jos on tarve ja lisäksi niiden tulisi sijoittua melko runsaasti kuormitettuihin risteyskoisiin, kuitenkin niin, ettei mahdollisista ongelmista aiheudu puolta kaupungin raitioliikennettä seisauttavaa kaaosta. Mikäli tämänkin kokeilun tulokset ovat myönteisiä, voidaan ristikko-osien vaihto koko rataverkolle aloittaa. Sen riskin suuruutta, että Variotram-vaunujen pyörän laippa osuisi syväuraisissa ristikossa risteyskappaleeseen, ollaan jo osittain selvitetty tämän selvitystyön aikana videokuvaamalla vaunun pyörien liikettä kiskourassa, mutta hankkeen toteutusvaiheessa pitää tehdä vielä varmistavat koeajot todellisissa olosuhteissa (3). Jos koeajojen perusteella tullaan siihen tulokseen, ettei ristikko-osien vaihtoa syväuraiseksi voida aloittaa, koska riski Variotram-vaunujen pyörän laipan osumisesta risteyskappaleeseen on olemassa, niin on selvitettävä risteyskulman ja ristikkoalueen muiden mittasuureiden, erityisesti ohjausleveyden (sekä vastakiskon ohjausleveyden että risteyskappaleen ohjausleveyden) merkitys vaunun suistumisriskin ja risteyskappaleen rikkoutumisriskin suuruuteen.

Jos siirtymistä syväuraisiin ristikoihin halutaan nopeuttaa, voidaan yhteen Variotram-vaunuun tilata leveät pyörät valmiiksi ja tehdä yhden ison ristikon ja yhden pikkuristikon ristikko-osat valmiiksi mahdollisimman pian. Jos näiden koeajojen tulos on myönteinen, niin jo ennen kuin päällysteen jyrshinnät koko rataverkolla on saatu valmiiksi, voidaan nämä etukäteen valmistetut syväuraiset ristikko-osat vaihtaa sellaiselle rataosalle, jolla jyrshinnät on jo suoritettu ja jolla kulkee hallireittien tai poikkeusreittien takia mahdollisimman vähän muuta kuin yhden tai kahden linjan liikennettä. Täten koeajot päästään suorittamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, ja näiden koeajojen onnistuessa päästään ristikko-osien sarjatuohtanto aloittamaan.

Syväuraisista ristikoista saadaan melko piankin hyötyjä, jos niitä päästään vaihtamaan rataverkolle jo ennen kuin kaikissa vaunuissa on leveät pyörät. Tämä tosin edellyttää sitä, että leveäpyöräiset vaunut pidetään tiukasti tietyillä linjoilla ja ristikoiden vaihto suunnitellaan linjoittain niin, että kapeapyöräisillä vaunuilla liikennöitävien linjojen tarve käyttää näitä rataosia on mahdollisimman pientä.

4.2 Katupäällysteen alentaminen

Alustavien tutkimusten perusteella kaksiraiteiselta radalta on jyrstävää asfalttia noin 11,8 kilometrin matkalta, vastaten noin 23,7 kilometrin raidepituutta. Yksiraiteisia rata-osuuksia, tai sellaisia rataosuuksia joissa vain toisen suunnan raiteen vierestä on jyrstävää asfalttia, on noin 2,5 km. Kiskometreissä tämä on yhteensä noin 52,4 km. Lisäksi kiskojen vieressä olevan nupukiveyksen tasoa on alennettava tietyillä rataosilla, yhteensä noin 900 metrin pituudelta kaksiraiteista rataa. Raide metreissä tämä on noin 1800 m ja kiskometreissä 3600 m. Lisäksi Helsinginkadulta väliltä Mannerheimintie-Vauhtitie itään päin menevän raiteen molemmilta puolilta on alennettava kiveyksen tasoa. Kenttätutkimuksissa vahvistui yleinen käsitys siitä, että raitiotiekiskojen ollessa autoliikenteen kanssa samalla kaistalla, painaa autoliikenne katupäällysteen pintaa alaspäin kiskojen yläpinnan tasalle ja vähentää siten tässä projektissa tarvittavan jyrstätyön määrää. Havaittiin myös, että joissakin paikoissa asfaltti on syöpynyt tiesuolan ja sään vaikutuksesta niin, ettei jyrstää tulla tarvitsemaan. Tarkemmin rataosuudet on käyty läpi liitteessä A. Ratatöiden työmenetelmiä on kuitenkin pari vuotta sitten muutettu niin, että kiskojen asennuksen yhteydessä levitetään kiskojen ulkopuolelle HKL:n käyttämää Ratasuomo-bitumia 30 mm leveydeltä siten että bitumimassa tulee kiskon yläpinnan tasalle (3), (10). Tämä vähentää jyrstävää metrimäärää ja nyt ja tulevaisuudessa onkin ensisijaisen tärkeää huolehtia tämän tai vastaavan menetelmän käyttämisestä ratatöissä tilan turvaamiseksi leville pyörille.

Asfaltti

Asfalttipäällyste jyrstetään pois tarvittavilta rataosilta kiskojen ulkoreunoilta ~ 30 mm leveydeltä, asfalttijäte harjataan pois ja syntynyt ura bitumoidaan kiskon yläpinnan tasoon. Syntynyt asfalttijäte kerätään talteen ja kuljetetaan pois. Työsuorituksessa on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei asfaltin reunaan synny terävää särmää, joka saattaisi puhkaista erityisesti polkupyörien renkaita.

Nupukivi

Vaihtoehto 1)

Kiveyksen reunaan leikataan timanttilaikalla pois tarvittavilta rataosilta kiskojen ulkoreunoilta ~ 30 mm leveydeltä, kivijäte ja -pöly harjataan pois ja syntynyt ura bitumoidaan kiskon yläpinnan tasoon. Syntynyt kivijäte kerätään talteen ja kuljetetaan pois. Työsuorituksessa on kiinnitettävä huomiota erityisesti siihen, etteivät käsiteltävät tai niiden viereiset nupukivet pääse työn kuluessa liikkumaan paikaltaan. Asfalttipäällysteen tavoin on työsuorituksessa kiinnitettävä huomiota myös siihen, ettei kiveyksen reunaan synny terävää särmää, joka saattaisi puhkaista erityisesti polkupyörien renkaita.

Vaihtoehto 2)

Kiveys poistetaan kiskojen ulkopuolelta sellaiselta kaistaleelta, että se voidaan latoa uudestaan niin, että kiskojen ja kiveyksen väliin jää riittävästi tilaa leveän pyörän kulkea (~ 3 cm) ja tämä väli sitten bitumoidaan umpeen.

Mannerheimintien pohjoisosan suhteen välillä Kiskontie-Kytösuontie on vielä epäselvää, onko rataosa päällystetty betonilla vai asfaltilla. Jos päällyste on betonia, se jyrstetään timanttilaikalla ja syntynyt ura bitumoidaan umpeen.

4.3 Pyörien vaihto

Leveiden pyörien vaihto vaunuihin tehdään viimeistään sitten kun kaduille on tehty tilaa leveille pyörille. Ensin vaihdetaan leveät pyörät vapaisiin teleihin ja sitten leveäpyöräiset telit vaihdetaan vaunuun. Näin menetellen vaunujen seisonta-aika jää mahdollisimman lyhyeksi.

4.4 Ristikoiden uusiminen

Kaiken kaikkiaan muutettavana on linjaradoilla 93 kappaletta myötävaihteiden- ja 93 kappaletta vastavaihteiden pikkuristikoita ja 74 kappaletta isoja ristikoita. Jokaisessa vaihteessa on lisäksi kaksi vastakiskosovitusta, jotka on myös muutettava syväuraisiksi, ja samalla tarkistettava että risteyskappaleen ohjausleveys (Leitweite über Herzstückrille) säilyy oikeana (3). Lisäksi on huomioitava kuvassa liitteen G kuvassa 4 esitetty tilanne, jossa vaihteen ja viereisen raiteen ison ristikon ollessa sopivasti vierekkäin, on sekä vaihteen pikkuristikko, että ison ristikon yksikärkinen risteyskappale IV mitoitettava urien ja ohjausleveyden osalta kuten kaksikärkisen risteyskappaleen tapauksessa. Raitioliikenneyksikön ratarakentamoon mukaan vaihteiden vastakiskosovitukset tehdään nykyään syväuraisiksi, jos vaihteen vieressä ei tule olemaan matalauraista osuutta toisesta vaihteesta tai ristikosta johtuen (11).

Kaikki Helsingin nykyisen rataverkon vaihteet, isot ristikot ja raideristeykset on listattu liitteissä D ja E ja lisätietoa risteyskulman merkityksestä liitteessä G.

Risteyskappaleiden valmistaminen

Risteyskappaleiden valmistaminen voidaan tehdä Koskelan ratarakentamolla omana työnä ja/tai tilata ulkopuolisilta konepajoilta valmistusta

Risteyskappaleiden ja vastakiskojen mittasuureet on ensin määriteltävä HSL:n Liikennepalveluosaston, ja HKL:n Rakennus- ja Raitioliikenneyksiköiden yhteistyönä. Lisäksi kustakin vaihdettavasta kappaleesta on tehtävä mittapiirustus ja malli jyrsinkoneelle.

4.5 Ristikoiden vaihtaminen

Ristikoiden vaihtotyön alustava aikataulusuunnitelma käy ilmi liitteestä B. Vaihtotyön teknisestä toteutuksesta ja tarkasta aikataulusta sovitaan myöhemmin. Rakennusyksiköstä saadun tiedon mukaan yhden risteysalueen vaihtotyö kestää suunnittelun ja esivalmistelut huomioiden kolme viikkoa, jonka lisäksi on varattava viikon verran aikaa muille töille ennen kuin seuraavan risteysalueen vaihtotöiden suunnittelu voidaan aloittaa (3), (10). Yksi risteysalue koostuu kahdesta vaihteesta pikkuristikoineen ja yhdestä isosta ristikosta. Näitä risteysalueita on HKL:n raitiotieverkolla noin 43 kappaletta jos isot risteysalueet lasketaan aina yhdeksi kokonaisuudeksi. Täten kaikkien ristikoiden vaihto kestäisi minimissään noin viisi vuotta.

Ristikot voidaan uusita hitaamminkin kuin viidessä vuodessa, mutta tällöin hyötyjä saadaan hitaammin, mutta samalla investoinnin hinta pienenee ristikoiden osalta. Hyödyt pystytään maksimoimaan uusimalla ristikoihin sieltä, mistä se on liikenteen nopeutumisen/sujuvoitumisen, melun ja tärinän tai nykyisten matalauraisten ristikoiden kulumistarpeen kannalta tarpeellista. Isojen risteysalueiden vierestä (Sturenkatu - Mäkelänkatu, Mannerheimintie - Helsinginkatu - Runeberginkatu mm.), joissa 90° ristikoiden takia joka tapauksessa säilyy nopeusrajoitus 10 km/h, ei muita ristikoihin kannattane ainakaan ensivaiheessa muuttaa syväuraisiksi, mutta toisaalta esim. pitkällä suorilla olevia ristikoihin

tai raitioliikenteen sujuvuutta muuten haittaavia pitkiä ristikkoryhmiä (Vallilan varikon edusta, Mannerheimintie - Nordenskiöldinkatu, Kaivokatu - Mikonkatu mm.) tai ympäristön kannalta herkissä paikoissa olevia ristikoita (Kauppatori, Senaatintori, Kolmensepänaukio esim.) olisi perusteltua uusia jopa laskennallisen käyttöikänsä puolellavälissä.

Ristikkoryhmien uusimisjärjestys ja -aikataulu on projektin kuluessa suunniteltava tarkemmin, huomioiden muun muassa

- Muut katu- ja ratatyöt, joiden kanssa voidaan samanaikaisesti tehdä muutostöitä tietyllä risteysalueella siten että aiheutuva häiriö muulle ajoneuvo- ja raitioliikenteelle on mahdollisimman pieni.
- Ne rataosuudet, missä ajetaan varmuudella vain leveäpyöräisillä vaunuilla (jos ristikoita ryhdytään uusimaan jo ennen, kun kaikkiin vaunuihin on vaihdettu leveät pyörät)
- Kunkin ristikon/ristikkoryhmän syväuraiseksi muuttamisen hyödyt
- Automaattivaihteisiin ja syväuraisiin ristikoihin liittyvät turvallisuusriskit erityisesti kevyen liikenteen osalta -> Tarvitseeko koko vaihde siirtää tai muuttaa ratageometriaa?

5 Hyödyt

5.1 Projektin suorat rahalliset hyödyt

- Urien pohjien täyttöhitsauksen tarve loppuu 186 kappaleesta vaihteita ja 74 kappaleesta isoja ristikoita. Vuonna 2008 on risteysalueilla täyttöhitsattu kiskourien pohjia 1343 m (12). Henkilötyöpäivinä tämä vastaa noin 315 työpäivää. Ratojen korjaushitsaukseen on Raitioliikenneyksikkö käyttänyt kahta tai kolmea työryhmää, joissa on kaksi miestä kussakin. Hitsaustyötä on tehty seitsemänä päivänä viikossa huhtikuusta lokakuuhun, eli seitsemän kuukautta vuodessa. Urien pohjien korjaushitsaukseen on kulunut hitsausryhmien kokonaistyöajasta noin 30 prosenttia. Loput 70 % hitsausryhmien työajasta on kulunut suurimmaksi osaksi kiskon reunojen korjaushitsaamisen rataverkon kaarteissa (12).
- Ristikoiden kärkien ja siipikiskojen korjaushitsauksen tarve on arvioitava erikseen, ja siihen parhaita lähteitä ovat sekä pyörien vaihdon jälkeen asennettavien koeristikoiden kunnon seuranta, että tällä hetkellä suunnilleen vastaavalla kalustolla ja vastaavissa olosuhteissa liikennöivät eurooppalaiset raitiotieoperaattorit. (Mannheim, Karlsruhe, Strasbourg, Budapest)
- Vaunujen pyörien laippojen kuluminen ja litistyminen (ns. sieni-ilmiö) korkeussuunnassa vähenevät suunnilleen samassa suhteessa, kuin ristikoita muutetaan syväuraisiksi. Pyörän kehän lisääntyvä kuluminen hoidetaan kappaleessa 7 Riskit kuvatulla tavalla.
- Energian kulutus vähenee – myötävaihteissa ja isoissa ristikoissa ei yleisesti tarvitse enää hidastaa ja uudestaan kiihdyttää.

Ainakin toistaiseksi vaihde- ja ristikko ajossa suurimmat sallitut ajonopeudet ovat HKL-Liikelaitoksen sisäinen asia, ja viime kädessä luvan ristikonopeuksien nostamiseen voinee myöntää HKL:n turvallisuuspäällikkö kuultuaan ensin asiasta Raitioliikenneyksikön ja Rakennusyksikön johtajia. Vaihdenopeusrajoitusten nostoon liittyvät vastuukysymykset on ennen päätöstä nopeusrajoitusten nostamisesta selvitettävä perusteellisesti, ja huomioon otettavaa nykyistä lainsäädäntöä on ainakin Raideliikennevastuulaki.

Vastavaihteissa hidastamisen tarve riippuu BOStrabin noudattamisesta ja Helsingin raitioliikenteessä voimassa olevasta kohtaamiskiellostä, joka kieltää ajamasta vastavaihteeseen jos poikkeavan

raiteen linja risteää vastaan tulevan vaunun ajolinjan kanssa. Raitioliikenneyksikön kannan mukaan BOStrabin määräyksiä suurimmista sallituista vaihdenopeuksista noudatetaan (4), (5). Myötävaihteissa voidaan syvien urien ansiosta nostaa ajonopeus noin 20–30 km/h tunnissa. Ajonopeuden nosto tätä suuremmaksi edellyttäisi automaattista vaihteenkääntöä myös myötävaihteisiin (3). Energian kulutuksen vähenemisen kautta alenevat myös raitioliikenteen kilometrikustannukset.

- Liikenne nopeutuu – raitioliikenneyksikössä on päätetty kaluston ja radan kestävyuden, liikenneturvallisuuden sekä raitioliikenteen aiheuttamaan melun ja tärinän vuoksi laskea raitioliikenteen nopeusrajoituksia myös myötävaihteissa ja ristikoissa 10 km/h ja tämän huomioimisesta aikataulusuunnittelussa. Ennen vuotta 2009 ainoastaan vastavaihteissa on liikenneturvallisuuksista ollut voimassa 10 km/h nopeusrajoitus.
- Suoran rataosuuden keskellä olevaan myötävaihteeseen tai isoon ristikoon ei tarvitse enää hidastaa ja myös pysäkeille tullessa voidaan vauhtia hidastaa aiempaa myöhemmin jos juuri ennen pysäkkiä on vaihde. Myös käännytessä voidaan monessa paikassa ajaa 20 km/h ristikkoalueista huolimatta. Vastavaihteissa voidaan BOStrabin määräysten mukaan nostaa ajonopeutta suuremmaksi kuin 15 km/h vain lukkiutuvien turvavaihteiden avulla.

Verrattuna tilanteeseen jossa raitioliikenteellä on kaikissa vaihteissa ja ristikoissa nopeusrajoitus 10 km/h, jo pelkkien syväuraisten ristikoiden avulla vaihde- ja ristikkoalueiden ylitysajat lyhenevät niin paljon, että varovaisesti arvioiden tämä vastaisi raitiolinjoiden kierrosajat nopeutumista keskimäärin 3 minuutilla, vaihteluvälin ollessa 2–4 min ja parhaassa tapauksessa jopa 7 minuutilla, vaihteluvälin ollessa 5–8 min. Keskimääräiseksi kierrosajan nopeuttamisvaraksi voidaan arvioida linjasta riippuen 4–6 min, olettaen että kierrosta kohden jokaisella linjalla olevista vaihteista on puolet vastavaihteita, joissa edelleen säilyisi nopeusrajoitus 10 km/h ja että myötävaihteissa voitaisiin ajaa keskimäärin 20 km/h. Vaunujen keskimääräisen pituuden ollessa 24,5 m ja vaihteen matalan uran pituuden noin 4,5 m, on yhden vaihteen ylitykseen kuluva aika on nopeudella 10 km/h noin 10,5 s, nopeudella 20 km/h noin 5,2 s ja nopeudella 30 km/h noin 3,5 s. Tästä nähdään että vaihteissa sallitun ajonopeuden nosto 10 km/h -> 20 km/h nopeuttaa raitioliikennettä enemmän kuin nopeusrajoitusten nosto 20 km/h:sta ylöspäin.

Lähes kaikilla raitiolinjoilla myötä- ja vastavaihteita on likimain yhtä paljon. Linjalla 7A ero on sekä absoluuttisesti että suhteellisesti suurin, koska sillä on 15 vastavaihdetta ja 11 myötävaihdetta. Tällä kierrosaikojen nopeutumisella on rahallista merkitystä, koska matalauraisten ristikoiden aiheuttama kierrosaikojen hidastuminen on suurimmalla osalla linjoista vähintään puolet ruuhka-ajan vuorovälistä ja erityisesti yhdessä muiden raitioliikenteen nopeutta ja täsmällisyyttä lisäävien toimenpiteiden kanssa (mm. lukkiutuvat turvavaihteet ja kuljettajarahastuksen poistaminen) voitaneen usealla linjalla säästää yksi ruuhkavuoro tai jopa kokopäivävuoro nykyisestä, vuorovälin pysyessä silti samana.

- Raitioliikenne pääsee nopeammin läpi liikennevaloristeyksistä jos risteysalueella on vaihteita/ristikoita. Tämä helpottaa liikennevalojen ohjelmointia ja raitioliikenteen nollaviive-etuksien toteutusta, silloin kun vaunuja saapuu peräperää risteykseen. Jos vaunut saapuvat liikennevaloihin tasaisesti, ei tällä risteysalueen ylitysajan lyhentymisellä ole Helsingin kaupunginsuunnitteluviraston liikennevalotoimistosta saadun lausunnon perusteella kuitenkaan kovin suurta merkitystä (13).
- Liikennöintikustannusten kokonaissäästöt ovat lopputilanteessa noin 0,91 miljoonaa euroa vuodessa. Esimerkiksi linjan 6 osalta säästö on noin 105 000 euroa vuodessa ja muilla linjoilla päästään arviolta 80 - 90 prosentin tasoon tästä. Säästöt on arvioitu siten, että jokaiselta linjalta on laskettu yhden ruuhkavuoron hinta ja jaettu se kahdella.

Taulukko 1. Kierrosajan teoreettinen nopeutuminen linjoittain syväuraisten ristikoiden ansiosta. Suurimmat sallitut nopeudet on arvioitu tapauskohtaisesti.

Kierrosajan laskennallinen nopeutuminen minuuteissa syväuraisilla vaihteilla ja ristikoilla riippuen siitä, ovatko rataverkon vaihteet automaattisesti kääntyviä ja lukkiutuvia, vaiko eivät.

Linja	Lukkovaihteilla minuuttia	Ilman lukkoja minuuttia	Lukkovaihteilla prosenttia	Ilman lukkoja prosenttia
1	3,4	1,4	5,4	2,2
1A	4,0	1,6	4,9	1,9
3B	4,6	1,7	6,6	2,5
3T	4,4	2,1	6,3	3,0
4	3,9	1,8	5,0	2,3
4T	3,8	1,7	4,8	2,1
6	7,2	3,0	9,2	3,9
7A	2,7	1,0	4,8	1,7
7B	3,2	1,4	6,0	2,5
8	5,8	2,1	7,6	2,8
9	5,1	2,0	7,9	3,1
10	3,7	1,9	5,4	2,8
Keskiarvo min	4,3	1,8	6,1	2,6
Mediaani min	4,0	1,8	5,7	2,5
Maksimi min	7,2	3,0	9,2	3,9
Minimi min	2,7	1,0	4,8	1,7

Taulukossa 1 on esitetty kierrosaikojen teoreettinen nopeutuminen linjoittain, joka ihanneolosuhteissa olisi saavutettavissa. Kierrosaikojen teoreettista nopeutumista laskettaessa on oletettu että liikennevaloihin ei tarvitse erikseen hiljentää tai pysähtyä

Tarkasteltaessa epäedullisinta tilannetta, jossa välittömästi (n. 6 m) ennen vaihdetta/ristikkoa olevista liikennevaloista päästään viiveittä läpi, mutta matalien urien takia joudutaan ajonopeus hidastamaan risteuksen ylityksen ajaksi 10 km/h, verrattuna tilanteeseen jossa urien ollessa syvät, joudutaan pysähtymään punaisiin valoihin ja voidaan välittömästi lähteä liikkeelle kiihdyttäen normaalisti, voidaan todeta syväuraisesta ristikosta olevan edelleen lähes yhtä suuri hyöty kuin edullisimmassa tilanteessa, jossa liikennevaloihin ei tarvitsisi pysähtyä ollenkaan. Tämä johtuu siitä, että kun vaunun pituus (tarkalleen ottaen etutelin etureunan ja takatelin takareunan välinen etäisyys) on HKL-raitioliikennesyksikön nykyiselläkin kalustolla ≥ 15 m, ja tulevaisuudessa oletettavasti huomattavasti tätä pidempi, niin ristikon ylitykseen kuluva aika on selvästi suurempi kuin hetkellisen pysähtymisen takia menetetty aika.

Siinäkin tilanteessa, että liikennevaloissa joudutaan seisomaan pidempään, on syväuraisista ristikoista yhtäläinen hyöty, koska taas nimenomaan ristikon ylitysaika (matalauraisen osuuden pituus + vaunun pituus) on syväuraisen ristikon tapauksessa ratkaisevasti lyhyempi kuin matalauraisen tapauksessa.

Tilanteessa jossa toteutettaisiin muita raitioliikenteen nopeuttamistoimenpiteitä, mutta ristikot jäisivät matalauraisiksi ja vaihteiden ohjaustapa nykyiselleen, muodostuisi ristikoiden aiheuttamien pistemäisten nopeusrajoitusten merkitys selvästi nykyistä suuremmaksi ajoaikojen ja raitioliikenteen energiankulutuksen kannalta. Toisin sanoen vaikuttaa selvästi siltä, että Helsingin raitioliikenteen nopeuttamiseen ja liikennöintikustannusten alentamiseen tähtäävä työ on aloitettava nimenomaan pis-

temäisiä nopeusrajoituksia aiheuttavien tekijöiden vähentämisellä/poistamisella.

Vaihteiden ja ristikoiden lisäksi pistemäisiä nopeusrajoituksia aiheutuu radan kaarteista, sivuttaissiirtymistä (S-kaarteet) ja tietyllä todennäköisyydellä liikennevaloista, suojateistä ja paikoin myös raitio liikenteen puutteellisesta erottelusta muista tienkäyttäjistä. Pistemäisten nopeusrajoitusten väheneminen myös luultavasti auttaa yhdenmukaistamaan raitiovaunukuljettajien ajotapoja, josta taas on apua liikennevalojen ajoitusten säätämisessä raitioliikenteen ajorytmiä suosivaksi.

Lopullisena tavoitteena raitioverkon pistemäisten nopeusrajoitusten poistamisessa on osaltaan mahdollistaa pysäkkien välisten rataosuuksien ajaminen aina pysäkkivälin perusteella määräytyvällä (järkevällä) maksiminopeudella.

Ristikkokohtaisia nopeusrajoituksia arvioitaessa on luonnollisesti huomioitu liikenneympäristön vaikutus käytettävään nopeustasoon yleisesti, mutta on kuitenkin oletettu, etteivät muut tienkäyttäjät häiritse raitioliikennettä kuin satunnaisesti. Ratageometrian vaikutus on huomioitu kaarresäteiden, risteyskulmien ja vaihteen erkanemissuunnan osalta, sekä siten että välittömästi nopeutta rajoittavaa ristikkoo ennen tai sen jälkeen sijaitsevassa ristikossa ei käytetty ajonopeus voi olla mielivaltaisen suuri. Arvioinnissa käytetyt ajonopeudet ovat 10, 15, 20, 30 ja 40 km/h. Myötävaihteissa käytettäviä ajonopeuksia arvioitaessa ei ole käytetty suurempaa nopeuden arvoa kuin 30 km/h, johtuen siitä että tätä selvitystä tehdessä on oletettu myötävaihteiden säilyvän jatkossakin suurimmaksi osaksi auki-ajettavina, toisin sanoen ilman automaattista kääntöä, ja jos myötävaihte ajetaan auki suuremmalla nopeudella kuin 30 km/h, on vaihteen kääntökoneiston rikkoutuminen todennäköistä (3).

Tilanteessa jossa toteutetaan vain syvät urat vaihteisiin ja ristikoihin, muttei automaattista kääntöä vastavaihteisiin, on vastavaihteissa säilytetty nykyisin käytössä oleva nopeusrajoitus 10 km/h. Vastavaihdetta seuraavissa isoissa ristikoissa on tällöin arvioitu nopeudeksi 10 km/h ja vastavaihdetta seuraavassa myötävaihteessa paikasta riippumatta 15 km/h. Muuten rajoitukset ovat samat kuin automaattivaihteiden tapauksessa, eli isoissa ristikoissa käytävän nopeuden määrää liikenneympäristö.

Tarkastelussa käytetyt arviot ristikkonopeuksista perustuvat tämän selvityksen tekijän kokemuksiin raitiovaunukuljettajana HKL-raitioliikenneyksikössä vuosina 2004–2007, vuoden 2009 aikana selvityksen tekijän liikenteessä tekemiin havaintoihin Helsingin raitioliikenteestä sekä saatavissa olleelta osin HKL:n piirustusarkistosta olevista vaihde- ja ristikkokuvista selvitettyjen kaarresäteiden perusteella tarkastettuihin nopeusrajoituksiin.

Lukollisten vaihteiden kunnossapito vaatii nykyistä selvästi enemmän resursseja, mutta samalla kunnossapidon painopiste siirtyy ”tulipalojen sammuttamisesta” ennakoivan kunnossapidon suuntaan (14). Vaihteiden kielisovitukset pysyvät paremmassa kunnossa, koska kielten ja tukikiskojen väliin jäävän välyksen on oltava selvästi pienempi kuin nykyään -> vaihteita on käytävä puhdistamassa useammin, erityisesti jos vaihteen kielisovituksen päälle ohjataan autoliikennettä. Samalla puhdistusryhmän käynnistä vaihteella saadaan luotettava tieto, koska vaihde on käännettävä sähköisesti ja tästä jää logitieto vaihteiden ohjaus-/valvontajärjestelmään (14). Olisi myös syytä selvittää vaihteiden rakenteelliset muutokset ja muut toimenpiteet, joilla vaihteiden puhdistustarvetta voidaan vähentää. Puhdistustarve vähenee esimerkiksi vaihteiden kielten alla olevaa ”hiekkakaivoa” suurentamalla, muuttamalla vaihteen rakenne rautatietyypiseksi siten että vaihteen kielet eivät ole kiskourissa, vaan koko kielten väliin jäävä alue (ns. pikkuväli) on avointa tilaa ja/tai siirtämällä nykyisin suojaiteiden tai ajokaistojen kohdalla olevat vaihteiden kielisovitukset pois näistä paikoista niin sanotun eteenvedyn kielisovituksen (Vorgezogene Zungenbereich/Zungenvorrichtung) avulla.

Taulukko 2. Projektin hyöty-kustannussuhde laskettuna muutamalla vaihtoehdoisella takaisinmaksuajalla ja uusi-
mistahdilla. (27)

Nopeutettu, 1 vaunupäivä, kesto 11 vuotta, takaisinmaksu 11 vuotta			Nopeutettu, 1 vaunupäivä, kesto 17 vuotta, takaisinmaksu 17 vuotta		
	Lukkovaihteilla	Ilman lukkovaihteita		Lukkovaihteilla	Ilman lukkovaihteita
KUSTANNUKSET	M€	M€	KUSTANNUKSET	M€	M€
Investointi	-12,96	-12,96	Investointi	-12,73	-12,73
Investoinnin poisto vuodessa	-1,18	-1,18	Investoinnin poisto vuodessa	-0,75	-0,75
Järjestelmän käyttökustannukset	-0,04	-0,04	Järjestelmän käyttökustannukset	-0,04	-0,04
Kustannukset yhteensä (M€ / vuosi)	-1,22	-1,22	Kustannukset yhteensä (M€ / vuosi)	-0,79	-0,79
HYÖDYT			HYÖDYT		
Tuottajain (joukkoliikenteen tilaaja) ylijäämän muutos			Tuottajain (joukkoliikenteen tilaaja) ylijäämän muutos		
Raitioliikenteen liikennöintikustannussäästöt	1,20	0,48	Raitioliikenteen liikennöintikustannussäästöt	0,35	0,14
Rataverkon kunnossapidon säästöt	0,12	0,12	Rataverkon kunnossapidon säästöt	0,10	0,10
Lipputulojen lisäys (uudet joukkoliikennematkustajat)	1,01	0,42	Lipputulojen lisäys (uudet joukkoliikennematkustajat)	1,01	0,42
Kuluttajain (joukkoliikenteen käyttäjät) ylijäämän muutos			Kuluttajain (joukkoliikenteen käyttäjät) ylijäämän muutos		
Matkustajien aikahyödyt	7,67	3,21	Matkustajien aikahyödyt	7,67	3,21
Hyödyt yhteensä (M€ / vuosi)	10,00	4,23	Hyödyt yhteensä (M€ / vuosi)	9,13	3,87
Karkea hyöty- kustannussuhde	8,21	3,47	Karkea hyöty- kustannussuhde	11,58	4,91
Kuluminen, 1 vaunupäivä, kesto 17 vuotta, takaisinmaksu 9 vuotta			Nopeutettu, 1 vaunupäivä, kesto 17 vuotta, takaisinmaksu 14 vuotta		
	Lukkovaihteilla	Ilman lukkovaihteita		Lukkovaihteilla	Ilman lukkovaihteita
KUSTANNUKSET	M€	M€	KUSTANNUKSET	M€	M€
Investointi	-9,21	-9,21	Investointi	-9,21	-9,21
Investoinnin poisto vuodessa	-0,84	-0,84	Investoinnin poisto vuodessa	-0,84	-0,84
Järjestelmän käyttökustannukset	-0,04	-0,04	Järjestelmän käyttökustannukset	-0,04	-0,04
Kustannukset yhteensä (M€ / vuosi)	-0,88	-0,88	Kustannukset yhteensä (M€ / vuosi)	-0,88	-0,88
HYÖDYT			HYÖDYT		
Tuottajain (joukkoliikenteen tilaaja) ylijäämän muutos			Tuottajain (joukkoliikenteen tilaaja) ylijäämän muutos		
Raitioliikenteen liikennöintikustannussäästöt	1,27	0,51	Raitioliikenteen liikennöintikustannussäästöt	0,32	0,13
Rataverkon kunnossapidon säästöt	0,10	0,10	Rataverkon kunnossapidon säästöt	0,10	0,10
Lipputulojen lisäys (uudet joukkoliikennematkustajat)	1,01	0,42	Lipputulojen lisäys (uudet joukkoliikennematkustajat)	1,01	0,42
Kuluttajain (joukkoliikenteen käyttäjät) ylijäämän muutos			Kuluttajain (joukkoliikenteen käyttäjät) ylijäämän muutos		
Matkustajien aikahyödyt	7,67	3,21	Matkustajien aikahyödyt	7,67	3,21
Hyödyt yhteensä (M€ / vuosi)	10,05	4,24	Hyödyt yhteensä (M€ / vuosi)	9,10	3,86
Karkea hyöty- kustannussuhde	11,46	4,83	Karkea hyöty- kustannussuhde	10,37	4,40

Erityisesti nykyisin suojateiden kohdalla olevien kielisovitusten suhteen ongelmaksi muodostuu lisäksi muiden tienkäyttäjien turvallisuus siinä tapauksessa, että vaihteet kääntyvät automaattisesti, eikä vaihdetta lähestyvän vaunun kuljettaja voi vaikuttaa vaihteen kielten kääntymishetkeen (14). Tämän turvallisuusongelman poistamiseksi on joko suojatietä, vaihteen kielisovitusta tai koko vaihdetta siirrettävä. Nämä paikat, joissa vaihteen kielisovitus on suojatien kohdalla, on Turvavaihte-projektin yhteydessä kartoitettava ja laadittava niistä suunnitelmat liikenneturvallisuusongelman poistamiseksi. Erityisesti jos suojateitä päädytään siirtämään, on samalla mahdollista suunnitella uudet liikenejärjestelyt niin, että ne tukevat raitioliikenteen toimintaedellytysten kehittämistä esimerkiksi poistamalla tarpeen ohjata raitioradan ylittävä suojatie liikennevaloin, kun suojatie porrastetaan.

5.2 Projektin kaupunkiympäristöön vaikuttavat, mutta rahassa vaikeammin mitattavat hyödyt

Meluhaitat ja tärinähaitat vähenevät – jyrinä ja tärinä poistuu 186 kappaleesta vaihteita ja 74 kappaleesta isoja ristikoita. Syväurainen ristikko ei tosin ole täysin äänetön sekään, mutta useita sekunteja kestävä jyrinän sijaan syväuraisen ristikon yliajosta aiheutuu vain kolaus jokaisen pyörän kohdalla. Asutuksen tai kaupunkiympäristön kannalta merkittäviä lähes meluttomaksi saatavia risteysalueita ovat mm. Fredrikinkatu - Bulevardi, Tehtaankatu - Laivurinkatu, Runeberginkatu - Ruusulan-
katu Runeberginkadulla, Arkadinkatu - Fredrikinkatu, Mikonkadun ratoihin liittyvät ristikot, Aleksanterinkatu - Unioninkatu, Kauppatori, Katajanokka, Töölön varikon edusta ja Vallilan varikon edusta. Täysin meluttomaksi ei Helsingin ydinkeskustasta saada esimerkiksi Mannerheimintien ja Aleksanterinkadun risteystä, koska Aleksanterinkadun päässä oleva isoristikko joudutaan jättämään matalauraiseksi johtuen liian suurista kulmista tässä ristikoissa, ellei tällä kohdalla tehdä poikkeusta. Muita asutuksen tai kaupunkiympäristön kannalta merkittäviä risteysalueita, joihin jää muutamia matalauraisia ristikoita ovat Mannerheimintie - Kaivokatu - Simonkatu, Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu - Katariinankatu, Mannerheimintie - Runeberginkatu - Helsinginkatu ja Helsinginkatu - Kaarlenkatu.

5.3 Tämän projektin yhteydet muihin projekteihin

Rakennusyksikön sähköitiimin käynnistämän Turvavaihte-projektin hyödyistä osa realisoituu vasta tämän syväuraprojektin myötä. Turvavaihte-projektin tarkoituksena on muuttaa Helsingin raitiotieverkon vaihteiden kääntötapa siten, että nykyisen tavan sijaan, jossa kuljettaja vaihdetta lähestyessään katsoo vaihteen asennon vaihteen kielistä ja tarvittaessa kääntää sähkömagneetin avulla vaihteen, sellaiseksi että vaihteet kääntyisivät vaunuun automaattisesti liikennöitävän linjan mukaan. Lisäksi vaihteissa olisi sähköinen esto, ettei vaihdetta voi kääntää edellä menevän vaunun ollessa vaihtealueella. Lisäksi kuljettaja saisi radan varteen sijoitetun vaihteopastimen avulla tiedon vaihteen asennosta hyvissä ajoin ennen vaihdetta, joten hänen ei tarvitsisi jokaisessa vaihteessa hidastaa 10 km/h, vaan suurin sallittu nopeus vaihteessa määräytyisi liikenneolosuhteiden, ratageometria ja ajosuunnan mukaan.

Nykyinen vaihteenkääntötapa on syynä tähänkin asti vastavaihteissa olleeseen 10 km/h nopeusrajoitukseen. Tämä nopeusrajoitus johtuu siitä, että kuljettajan on lähestyttävä vaihdetta niin hitaasti, että hän ehtii ennen vaihteen kääntämistä nähdä vaihteen kielten asennon ja ehtii myös pysäyttää vaunun ennen vaihteen kieliä, jos vaihte ei syystä tai toisesta käännnykään. Hyötyjen täysimääräinen toteutuminen edellyttää tosin vielä sitä, että vaihteissa on salpalukko, joka mekaanisesti estää vaihdetta kääntymästä vaunun telin alla. Rakennusyksikön sähköitiimi on parasta aikaa tekemässä hankesuunnitelmaa automaattisen vaihteenkääntötoimenpiteen toteuttamiseksi HKL:n raitiotieverkolle, ja tämä hankesuunnitelma sisältää myös mainitut salpalukot. Salpalukkojen käyttöönotto kuitenkin asettaa lisävaatimuksia vaihteiden kunnossapidolle ja vaihteen osien toleransseille, mutta toisaalta kunnossapidon parantuminen pidentää vaihteiden käyttöikää ja vähentää yllättävien häiriötilanteiden määrää (14).

6 Kustannukset

6.1 Katupäällysteen jyrshintä

Jyrsittävänä on noin 24 raide-km asfalttia ja 2,3 raide-km nupukiveä. Asfalttiosuuksien jyrshinnän + bitumoinnin kustannus on alustavan tarjouksen mukaan noin 570 000 euroa eli 24 euroa/raidemetri (10). Nupukiveä on jyrsittävänä noin kymmenesosa asfalttiosuuksien pituudesta, joten jos nupukivien jyrshinnän hinta arvioidaan viisinkertaiseksi asfaltin jyrshintään nähden, kokonaiskustannukset olisivat noin 850 000 euroa.

6.2 Pyörien vaihto vaunuihin

Linjaliikenteeseen käytettäviä vaunuja on seuraavasti: 62 nivelvaunua, 40 matalalattia-vaunua (Variotram), noin kaksikymmentä väliosanivelvaunua, neljä mannheimilaista vaunua ja kuusi väliosalla varustettua mannheimilaista vaunua. Lisäksi on yhdeksän kappaletta tilausliikenteeseen käytettäviä, kaksi kappaletta perävaunuja ja kolme kappaletta työvaunuja. Vaihdeettavana on siis noin 1688 kappaletta linjaliikenteen vaunujen pyöriä ja 104 kappaletta muiden vaunujen pyöriä.

Pyörien vaihdon kustannus riippuu siitä, millä aikajänteellä vaihtotyö suoritetaan ja minkä verran suuremmat leveämpien pyörien materiaalikulut ovat. Pyöriä joudutaan joka tapauksessa sorvaamaan ja vaihtamaan kulumisen myötä, joten vaihto-operaation todellinen lisäkustannus on nykyisten pyörien jäljellä olevan käyttöiän arvo ja mahdollisen nopeutetun vaihto-operaation vaatimien lisäresurssien tarve.

Pyörien renkaiden hinnaksi on Raitioliikenneyksikkö arvioinut noin 1000 euroa, ja välipyörien hinnaksi noin 4000 euroa (8). Pyörän renkaita hankitaan noin 1700 kappaletta ja nivelvaunuihin välipyöriä noin 1070 kappaletta. Raitioliikenneyksikön mukaan pyörien renkaista puolet ja välipyöristä kaikki joudutaan vaihtamaan ennen laskennallisen käyttöikänsä loppua, muodostuu vaunujen pyöriin vaihdettavien osien materiaalikulujen hinnaksi $0,5 * 1700 * 1000 \text{ €} + 1070 * 4000 \text{ €} = 5\,130\,000 \text{ euroa}$ (8).

Taulukko 3. Pyörien vaihdon kustannukset materiaalikulujen osalta

	Kappalemäärä	Hinta euroa / kappale	Hinta yhteensä euroa
Pyörien renkaita	0,5 * 1700	1000	850 000
Välipyöriä	1070	4000	4 280 000
Hinta yhteensä euroa			5 130 000

Pyörien vaihto yhteen vaunuun kestää noin viikon, ja tästä ajasta vaunu joutuu seisomaan telin vaihtamiseen kuluvan ajan, eli noin puoli työpäivää. Matkustajaliikennekäytössä olevia vaunuja on HKL:llä yhteensä 132 kappaletta, joten jos vaunuja muutetaan leveäpyöräisiksi yksi kerrallaan, vie operaatio kolme vuotta.

Taulukko 4. Ristikoiden valmistuksen kustannukset.

Ristikoiden valmistus	Pikkuristikko	Isoristikko
Kappalemäärä kpl	186	74
Materiaalimenekki/yksikkö kg	1600	3000
Henkilötuntunteja/yksikkö h	200	320
Henkilötuntunteja yhteensä h	37200	23680
Materiaalin yksikköhinta eur/kg	1	1
Työn yksikköhinta eur/h	50	50
Materiaalimenekki yhteensä kg	297600	222000
Materiaalikustannus eur	300000	230000
Työkustannus eur	1860000	1184000
Kokonaiskustannus eur	2160000	1414000
Yhteensä		3574000
Puolet arvosta		1787000

Yksittäisen syväuraisen pikkuristikon koneistaminen kestää Raitioliikenneyksikön ratakorjaamon mukaan noin viikon ja kokoaminen noin kaksi viikkoa (11). Ison ristikon valmistaminen vie yhteensä arviolta neljä viikkoa. Suurina sarjoina tehtäessä työt voidaan ketjuttaa niin, että uuden ristikon koneistaminen aloitetaan heti edellisen valmistettua (11). Pikkuristikoiden koneistaminen kestää siis yhteensä 186 viikkoa ja isojen ristikoiden koneistaminen 296 viikkoa, yhteensä 482 työviikkoa. Vastaavasti pikkuristikoiden kokoaminen vie yhteensä 744 työviikkoa ja isojen ristikoiden kokoaminen 296 työviikkoa, yhteensä 1040 työviikkoa eli noin 20 vuotta. Koska kokoaminen on määräävä tekijä ristikoiden valmistuksessa, vie ristikko-osien valmistaminen kokonaisuudessa 20 vuotta, jos niitä tehdään vain yhdessä paikassa. Työviikkoon sisältyy viisi kahdeksan tunnin työpäivää. Koneistukseen tarvitaan yksi henkilö ja kokoamiseen kaksi henkilöä. Jos näitä ristikko-osia teetetään useamassa kuin yhdessä paikassa, kaikkien osien valmistamiseen kuluva aika tietysti lyhenee.

Työtunteja ristikko-osien valmistukseen kuuluu $186 \times 5 \times 8 + 186 \times 2 \times 2 \times 5 \times 8 + 74 \times 2 \times 2 \times 5 \times 8 + 74 \times 2 \times 2 \times 5 \times 8 = 7440 + 29760 + 11840 + 11840$ eli yhteensä noin 60880 työtuntia. Tuntipalkan arvioidaan sivukuluineen olevan noin 50 euroa tunnissa, muodostuu työpalkoiksi valmistuksen osalta noin 3 040 000 euroa. Tästä taas puolet on 1 520 000 euroa.

Ristikko-osien vaihtotyön hinta on arvioitu siten, että itse vaihtotyö vaatii kahdeksalta–kymmeneltä henkilöltä kolmen työpäivän työpanoksen joka kuukausi viiden vuoden ajan ja töiden suunnittelu vaatii neljän hengen työpanoksen 120 työtunnin ajaksi per työkohte. Perustuntipalkaksi sivukuluineen on työntekijöiden osalta arvioitu 37 euroa tunti ja suunnittelun osalta 50 euroa tunti. Lisäksi työntekijöiden palkka on kerrottu kahdella johtuen heille maksettavista sunnuntailisistä. Yhteensä tästä tulee noin 1 990 000 euroa, josta taas puolet on 1 000 000 euroa.

Taulukko 5. Ristikoiden vaihtotyön suunnittelun ja toteutuksen kustannukset.

Ristikoiden vaihto		
	Pikkuristikko	Isoristikko
Kappalemäärä kpl	186	74
Työkohteita arviolta kpl		43
Henkilötyötunteja suunnitteluun/työkohde h		480
Henkilötyötunteja vaihtotyöhön/työkohde h		216
Henkilötyötunteja suunnitteluun yhteensä h		20640
Henkilötyötunteja vaihtotyöhön yhteensä h		12960
Työtunnin kustannus suunnittelu eur/h		50
Työtunnin kustannus vaihtotyö eur/h		74
Kustannukset suunnittelu eur		1032000
Kustannukset vaihtotyö eur		959040
Kustannukset yhteensä		1991040
Puolet arvosta		995520

6.4 Muutostyöt, joita vaununpyörien hionta- ja profilointilaitteistoihin on tehtävä

Raitioliikenneyksiköstä saadun tiedon mukaan Töölön varikolla olevaan vaununpyörien hiomakoneeseen olisi tehtävä melko isoja muutoksia jotta nykyistä leveämpien 110 mm pyörien hiominen onnistuisi. Tämä hiomakone olisi saadun tiedon mukaan tarkoitus uusia joka tapauksessa, eli tästä ei ole laskettu lisäkustannuksia tähän projektiin (15).

Koskelan varikolla olevan vaununpyörien profilointikoneen ohjelmisto on päivitettävä vastaamaan uutta pyöräprofiilia. Tästä aiheutuu arviolta 3500 euron kustannus (15). Vallilan varikolla olevaan akselisorviin on myös tehtävä muutoksia, jotta leveitä 110 mm pyöriä voidaan käyttää, mutta tämäkin laite vaatisi saadun tiedon mukaan joka tapauksessa kunnostuksen, joten tästäkään ei suuria lisäkustannuksia aiheudu (15).

Leveiden pyörien takia vaunujen pyörien hiontaan ja profilointiin kuluva aika lisääntyy vuositasolla noin kolmanneksella, eli hiontojen osalta noin 22000 eurolla ja profiloinnin osalta noin 18000 eurolla. Raitioliikenneyksiköstä saadun tiedon mukaan tosin tavoitteena on, ettei nykyinen pyörien hiomakone olisi käytössä enää siinä vaiheessa, kun ensimmäiset leveäpyöräiset vaunut tulevat käyttöön, vaan vaunujen pyörien kunnosta huolehdittaisiin pääasiassa profilointikoneen avulla. Täten edellä mainittua 22000 euron vuosikustannusta hiontatyön lisääntymisen vuoksi ei syntyisi (15).

Leveät pyörät vaativat hieman enemmän varastointitilaa varikoilta ja myös rahtikulut lisääntyvät pyörien kasvaneen painon ja koon takia hieman. Välipyörien ja renkaiden paino kasvaa noin kolmanneksella (15).

6.5 Kokonaiskustannukset

Projektin kokonaiskustannukset muodostuvat seuraavasti: Katupäällysteen alentamisen kustannukset ovat maksimissaan noin 850 000 euroa + vaunukaluston pyörien jäljellä olevan käyttöiän arvo on renkaiden osalta arviolta noin puolet uushankintahinnasta, ja välipyörien osalta täysi hinta, eli yhteensä noin 5 100 000 euroa jos pyörien keskimääräiseksi käyttöiäksi arvioidaan noin neljä vuotta. HKL:n metrojunien pyörien käyttöikä on noin kymmenen vuotta ja raitiovaunujen pyörät ovat huomattavasti kovemalla rasituksella johtuen rataverkon tiukoista kaarteista ja usein toistuvista kiihdytyksistä ja jarrutuksista (16) + uusittavien risteysosien jäljellä olevan käyttöiän arvo joka, arvioituna vastaavasti kuin pyörien käyttöiän arvo, on materiaalikustannusten osalta noin 270 000 euroa, valmistuskustannusten osalta noin 1 520 000 euroa ja suunnittelu- ja vaihtotyökustannusten osalta noin 1 000 000 euroa + niiden muutostöiden hinta, joita vaunupyörien hionta- ja profilointilaitteistoihin on tehtävä, noin 3500 euroa + leveiden pyörien aiheuttaman työ määrän lisääntymisen takia vaunupyörien hiontaan ja profilointiin kuluva lisäraha määrä noin 40 000 euroa vuodessa. Projektin kokonaiskustannuksiksi muodostuu siis noin 9 200 000 euroa.

Taulukko 6. Yhteenvedo hankkeen kustannuksista ja tuotoista, jos vaihteita ja ristikoita uusitaan syväuraisiksi normaalin kulumisen tahdissa ja liikennöintikustannusten säästöksi arvioidaan puoli vaunupäivää.

Tuhatta euroa	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Projektin tuotot	0	0	0	0	219	321	423	525	717	829	921	1023	1035	1035	1035	1035	1035	1035
Liikennöintikustannusten säästö linja 6	0	0	0	0	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Muut yhdeksän linjaa, säästöt	0	0	0	0	90	180	270	360	540	640	720	810	810	810	810	810	810	810
Ristikoiden urien korjaushitsaus, säästöt	0	0	0	0	24	36	48	60	72	84	96	108	120	120	120	120	120	120
Projektin kustannukset	0	0	-850	-2550	-2745	-199	-203	-207	-211	-215	-219	-223	-227	-227	-227	-227	-227	-227
päällysteen jyrästä	0	0	-850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pyörien vaihto	0	0	0	-2550	-2550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ristikoiden materiaali	0	0	0	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
ristikoiden valmistus	0	0	0	0	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102
ristikoiden vaihto	0	0	0	0	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67
muut kustannukset	0	0	0	0	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-32	-36	-40	-40	-40	-40	-40	-40
Projektin tuotto	0	0	-850	-2550	-2526	122	220	318	506	614	702	800	808	808	808	808	808	808
Kumulatiivinen kassavirta	0	0	-850	-3400	-5926	-5804	-5584	-5266	-4760	-4146	-3444	-2644	-1836	-1028	-220	588	1396	2204

Taulukko 7. Yhteenveto hankkeen kustannuksista ja tuotoista, jos vaihteita ja ristikoita uusitaan syväuraisiksi nopeutetulla aikataululla ja liikennöintikustannusten säästöiksi arvioidaan yksi vaunupäivä.

Tuhatta euroa	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Yhteensä
Projektin tuotot	0	0	0	0	414	798	1362	1746	1950	1950	1950	1950	1950	14070
Liikennöintikustannusten säästö linja 6	0	0	0	0	210	210	210	210	210	210	210	210	210	1890
Muut yhdeksän linjaa, säästöt	0	0	0	0	180	540	1080	1440	1620	1620	1620	1620	1620	11340
Ristikoiden urien korjaushitsaus, säästöt	0	0	0	0	24	48	72	96	120	120	120	120	120	840
Projektin kustannukset	0	0	-850	-2984	-4114	-1154	-1154	-1154	-1154	-40	-40	-40	-40	-12724
päällysteen jyräjä	0	0	-850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-850
pyörien vaihto	0	0	0	-2980	-2980	0	0	0	0	0	0	0	0	-5960
ristikoiden materiaali	0	0	0	0	-106	-106	-106	-106	-106	0	0	0	0	-530
ristikoiden valmistus	0	0	0	0	-608	-608	-608	-608	-608	0	0	0	0	-3040
ristikoiden vaihto	0	0	0	0	-400	-400	-400	-400	-400	0	0	0	0	-2000
muut kustannukset	0	0	0	-4	-20	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-344
Projektin tuotto	0	0	-850	-2984	-3700	-356	208	592	796	1910	1910	1910	1910	1346
Kumulatiivinen kassavirta	0	0	-850	-3834	-7534	-7890	-7682	-7090	-6294	-4384	-2474	-564	1346	

6.6 Aikataulu

Taulukko 8. Syväuraprojektin karkea aikataulusuunnitelma. Projektin yksityiskohtaisempi aikataulusuunnitelma on liitteessä B.

Syväuraprojektin toteutuksen aikataulusuunnitelma

Tehtävä	2010	Q1/11	Q2/11	Q3/11	Q4/11	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Esiselvityksen valmistuminen	[Gantt chart bar]																				
Esiselvityksen julkaisu (paperi, web)	[Gantt chart bar]																				
Käsittely ja päätöksenteko luottamuselmissä	[Gantt chart bar]																				
Pyörien videointi	[Gantt chart bar]																				
Jyräjä	[Gantt chart bar]																				
Pyörien vaihto	[Gantt chart bar]																				
Ristikoiden uusinta	[Gantt chart bar]																				
Koeajot	[Gantt chart bar]																				
Hankinnat	[Gantt chart bar]																				

7 Riskit

Tässä projektissa ei yleisesti ottaen ole normaalia suurempia työsuorituksiin liittyviä riskejä. Teknisesti ainoa epävarmuus liittyy Variotram-vaunujen toimintaan syväuraisissa ristikoissa.

Projektin suurimpana riskinä erityisesti HKL-rakennusyksikössä pidetään Variotram-vaunujen pyörän törmäämistä risteyskärkeen ja sitä seuraavaa vaunun suistumista kiskoilta, koska vaunun teliin raideleveys ei pysy vakiona, vaan pyöräntuennan rakenteen johdosta pyörän+napamoottorin yhdistelmä pääsee liikkumaan teliin nähden sivusuunnassa (3). Tämän riskin ennakoitavuutta voidaan parantaa laskelmilla pyörän äärimmäisistä liikkeistä ristikkoalueella, selvittämällä risteyskulman ja ristikkoalueen mittasuureiden vaikutus suistumisriskin suuruuteen, ennen ristikoiden vaihtotyöhön ryhtymistä toteutettavalla Variotram-vaunun pyörien liikkeiden videokuvaamisella ja pyörien vaihdon jälkeen toteutettavilla koeajoilla Koskelan varikkoalueella.

Risteyskärkien nopea rikkoutuminen erityisesti Variotram-vaunujen teliin ja pyöräntuennan rakenteen aiheuttaman ennakoimattoman kuormituksen johdosta on projektin toiseksi suurin riski (3). Tätä riskiä voidaan pienentää ja sen vaikutuksia voidaan hallita suistumisriskin hallinnan yhteydessä esitettyjen menetelmien lisäksi risteyskärkien säännöllisillä kuntotarkastuksilla ja muuttamalla ristikko-osien kiinnitystä luvun 11 lopussa ehdotetulla tavalla.

Ristikoiden uusinnassa on suurimpana riskinä se, etteivät uudet osat sovi suoraan vanhojen paikalle johtuen taipumista ja painumista kiskoissa tms. Tällöin kyseisen osan paikalleen saamiseen menee ennakoitua enemmän aikaa -> lisääntyneet työkustannukset kun joudutaan piikkaamaan betonia, hitsaamaan tms. enemmän kuin normaalisti olisi tarpeen, mahdolliset liikennehäiriöt ja pahimmassa tapauksessa koko projektin viivästyminen aina viikon kerrallaan. Tämä on kolmanneksi suurin riski tässä projektissa.

HKL:n Rakennus- ja Raitioliikenneyksiköissä ollaan huolestuneita myös pyörien kulkukehien lisääntyneestä kulumisesta, kun siirrytään ajamaan ristikoissa pyörän kehän varassa (3), (17). Tätä ongelmaa voidaan osittain pienentää ottamalla raitiovaunujen pyörissä käyttöön ns. kulumisprofiilin ja kartioprofiilin yhdistelmä, jossa pyörän sisäkehän profilointi jo valmiiksi kulumismuotoon vähentää ajossa tapahtuvaa kulumista ja ulkokehän profilointi kartiomuotoon säilyttää kartioprofiilisen pyörän hyvät ominaisuudet kaarre- ja ristikkoajossa. Lisäksi on seurattava, muodostuuko pyöriin niin sanottua ulkolaippaa (englanniksi false flange) (17).

Asfaltin ja nupukivien jyrinnässä riskeinä ovat kiskoja ympäröivän bitumin lohkeaminen ja huolimattoman viimeistelyn aiheuttamat haitat kaksipyöräiselle liikenteelle. Kiskon jalan ja varren ympärillä oleva bitumi toimii vesieristeenä ja vaimennusmateriaalina. Bitumointityötä ei voi tehdä talvella, koska ilman lämpötilan on bitumia levitettäessä oltava vähintään +5 °C. Lisäksi sade estää bitumin levittämisen (10). Nämä riskit tosin ovat aina olemassa ratatöitä tehdessä, että sinänsä suurempaan huoleen ei ole syytä. Nupukivien jyrinnässä riskinä on lisäksi jyrstävien ja niitä reunustavien kivien liikkuminen, jolloin ne täytyy latoa ja tiivistää uudestaan. Samalla myös kiskojen ulkopuolelle tuleva bitumointi on tehtävä uudestaan.

Vaunupyörien hionta- ja profilointilaitteistojen käyttöönotossa on jonkin verran riskejä liittyen koneiden käytön opetteluun ja ohjelmistovikoihin. Pyörien vaihto vaunuihin on teknisesti yksinkertainen operaatio. Riskinä ovat lähinnä materiaaliongelmat. Ristikoiden uusinnassa on riskinä myös resursien riittävyys ja koneistamon tuotantohäiriöt.

Rakennushankkeissa kustannus- ja aikataulusuunnitelmien pitävyys ja työn laatu korreloivat käytännössä aina keskenään.

8 Johtopäätökset

- Leveiden pyörien käyttöönotto edellyttää paitsi katupäällysteen alentamista, myös vaihteisiin ja raideristeyksiin tehtäviä muutostöitä.
- Jos hanke toteutetaan nopeutetulla aikataululla, ovat kokonaiskustannukset ovat arviolta 13 000 000 euroa. Syntyvien säästöjen perusteella projektin takaisinmaksuajaksi tulee noin 11 tai 17 vuotta riippuen siitä, miten suuriksi syntyvät liikennöintikustannussäästöt lasketaan.
- Jos taas ristikoita uusitaan vain sitä mukaa, kuin niitä normaalistikin uusittaisiin, muodostuu hankkeen kokonaiskustannuksiksi arviolta 9 200 000 euroa. Takaisinmaksuajaksi muodostuu 9 tai 13 vuotta riippuen siitä, miten suuriksi syntyvät liikennöintikustannussäästöt lasketaan.
- Kustannusten ja takaisinmaksuaikojen eroja selittää se, että vaihtoehdoissa joissa ristikoita uusitaan kulumisen mukaan, muodostuu hankkeen kesto niin pitkäksi, että vaunujen pyöränrenkaista ja ristikoista arvioidaan joutuvan vaihtamaan maksimissaan puolet ennen laskennallisen käyttöikänsä loppua.
- Edellä olevia takaisinmaksuaikoja laskettaessa on huomioitu vain raitioliikenteen nopeutumisesta syntyvä kierrosaikojen nopeutuminen ja siitä seuraava vaunutarpeen väheneminen ja liikennöitsijälle maksettavien vaunupäiväkorvausten pieneneminen.
- Raitiovaunujen pyöriä leventämällä ja tämän mahdollistamalla syväuraisiin risteyskiin siirtymisellä voidaan alentaa raitioliikenteen kustannuksia ja vähentää melua ja tärinää kaupunkiympäristössä.
- Panostamalla radanpitoon (ja radan rakenteeseen, erityisesti päällysrakenteeseen) nykyistä enemmän, pyritään säästämään raitioliikenteen liikennöintikustannuksissa. Tämän projektin tapauksessa muutostöillä vähennetään sekä pyörien laippojen kulumista, ristikko-osien urien kulumista ja vaunuihin ja rataan kohdistuvia rasituksia.
- Raitioliikenteen liikennöintikustannusten alentaminen on erittäin tärkeää raitioverkon laajentamista ajatellen. Tämä siitä syystä, että nykyinen arviointitapa painottaa liikennöinnin yksikkökustannuksia kokonaiskustannusten sijaan.
- Samalla kun kehitetään ratatekniikkaa ja alennetaan raitiotiejärjestelmän kokonaiskustannuksia, saadaan samalla aikaiseksi parempaa kaupunkiympäristöä.
- Toteutuessaan ja onnistuessaan tämä projekti tuottaa erinomaista pr:ää raitioiteille sekä Helsingin kaupungin sisäisessä organisaatiossa, että erityisesti asukkaiden ja yrittäjien keskuudessa.
- Lisäksi luvussa 5 (Hyödyt) on käsitelty syväuraisten raideristeysten vaikutuksia liittyen raitioliikenteen liikennevalo-etuuksiin, matka-aikoihin ja turvavaihteisiin.

9 Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi

Variotram-vaunujen pyörien sivuttaisheilumisen määrä ja ulottuvuus on selvitettävä siten, että vaunuun kiinnitetään tarpeeksi nopea ja laadukas videokamera kuvaamaan jonkin telin etummaisen pyörän laipan etureunan liikettä ja vaunulla ajetaan kuormattuna rataverkolla videokameran kuvattaessa ja tulosta tarkastellaan projektin vastuuhenkilöiden voimin videolta. Kuvaamiseen käytettävää laitteistoa suunniteltaessa ja asennettaessa on kiinnitettävä huomiota pyörän ja kiskon kosketuspinnan kunnolliseen valaistukseen, ja tarvittaessa maalattava merkkiviiva pyörän kulkukehälle (3).

Yhteistyössä raitioliikenneyksikön kanssa on selvitettävä, kuinka helppoa olisi saada tietyt vaunuyksilöt pysymään nimetyllä linjalla. Tämä sen takia, että syväuraisia ristikoita voitaisiin kokeilla mahdollisimman aikaisessa vaiheessa matkustajaliikenteessä ja tämän edellytyksenä on se että leveäpyöräiset vaunut saadaan pysymään sillä linjalla, jonka rataosuuksilla ristikot vaihdetaan syväuraisiksi. Näitä leveäpyöräisiä vaunuja pitäisi linjan normaalin ruuhka-ajan vaunumäärän lisäksi olla riittävä määrä varalla.

Kun asfaltin jyrännät aloitetaan, tulee samalla kuljettaa mukana leveäpyöräistä raitiovaunun teliä tai vastaavaa luotettavaa mittavälinettä, jonka avulla tarkistetaan, mitkä kohdat todella on jyräyttävä. Tällä hetkellä arvio asfaltin jyräintätarpeesta perustuu vain silmämääräiseen tarkasteluun (3), (10).

Projektin yhteydessä nousi myös esiin kysymys siitä, onko nykyisin käytetty raitiovaunujen pyöräprofiili optimaalinen sekä suoralla radalla että kaarteissa ja erityisesti onko se optimaalinen ajatellen syväuraisissa ristikoissa ajamista. Keskusteluissa on käynyt ilmi, että pyörän laipan mitoitus on nykyisellään hyvä, eikä siihen tarvinne koskea. Sen sijaan pyörän kehän ulkoreunan viisteen jyrkentämistä 1:40 -> 1:10 pidettiin hyvänä, koska tämä pehmentää painon siirtymistä siipiskolta risteysten kärjelle ja toisin päin (3), (16). Uudesta pyöräprofiilista täytyy joka tapauksessa tehdä projektin yhteydessä päätös.

Ristikko-osien osalta voisi olla syytä pohtia osien kiinnitystapaa alla olevaan betonilaattaan ja kosketusta ympäröivään katupäällysteeseen. Nykyinen tapa, jossa ristikko-osat ovat välissä olevasta bitumoinnista huolimatta käytännössä suorassa kosketuksessa alustaan ja ympäröivään katupäällysteeseen aiheuttaa ylimääräistä työtä osia vaihdettaessa, koska osat joudutaan käytännössä piikkaamaan irti. Vaihtoehtoinen tapa olisi kiinnittää ristikko-osat ensisijaisesti kiskonkiinnikkeillä alustaan, tasata melua ja tärinää vähentävällä vaimennusmateriaalilla kiskon ja alusbetonin välinen rako ja suojata kiskokiinnikkeet sekä erottaa kiskot katupäällysteestä ristikko-osien viereen tulevilla niin sanotuilla kammiokumeilla. Tällöin ristikko-osat olisivat nykyistä nopeammin vaihdettavissa tarpeen tullen.

Lähdeluettelo

1. Wikipedia. Hakusana: Säädös. Wikipedia - vapaa tietosanakirja. [Online] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Säädös>.
2. Deutsche Bundesministerium der Justiz. Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung - BOStrab). Richtlinien, BOStrab. Bonn : Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung - BOStrab), 1987.
3. Myllymäki, Pentti. Ratapäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
4. Mutka, Erkki. Liikennepäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
5. Tuomonen, Eija. Liikennemestari. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
6. Ratahallintokeskus. Ratahallintokeskuksen ratatekniset ohjeet (RATO). Helsinki : Ratahallintokeskus, 2010.
7. Norrena, Petri. Korjaamopäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
8. Heikkilä, Ollipekka. Kehittämispäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
9. Metsola, Mikko. Ratasuunnittelija. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
10. Tauriainen, Matti. Rakennuttajainsinööri. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
11. Waris, Ville. Korjaamoinsinööri. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
12. Sohlberg, Tommy. Hitsausmestari. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
13. Sane, Kari. Apulaisosastopäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
14. Jussila, Juha. Sähköjärjestelmäpäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. Helsinki, 2009.
15. Keisala, Markus. Huoltopäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
16. Laaksonen, Tellervo. Metron pyörien kulumisen optimointi ja seuranta. Espoo : Teknillinen korkeakoulu, 2008.
17. Rintala, Veli. Ratapäällikkö. [haastateltava] Janne Peltola. 2009.
18. Oberbaurichtlinien und Oberbau-Zusatzrichtlinien(OR/OR-Z) des VDV für der Bahnen nach BOStrab - Saksalaiset päällysrakenneohjeet rauta- ja raitioteille, joilla noudatetaan BOStrabin määräyksiä.
19. Technische Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) - Technische Regeln Spurführung (TR Sp) + Anlage 1-4, Düsseldorf: Deutsche Bundesministerium der Justiz, 2006.
20. Helsingin kaupungin liikennelaitos / Rakennusyksikkö (HKL-RAY). Raitioteiden rakentaminen. Ratojen yleinen työselostus (RYT). Helsinki : HKL, 2007.
21. Der Verband öffentlicher Verkehr. Sveitsin joukkoliikenneliiton VÖV:n rakentamisohjeet metrin raideleveydelle rakennettaville rautateille. Bern : VÖV.
22. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV). Fahrwege der Bahnen in Nah- und Regionalverkehr in Deutschland - Local and regional railway tracks in Germany. Düsseldorf : Druckerei Knipping, 2007.
23. Transport Technologie Konsult Karlsruhe GmbH (TTK). Helsinki Tram Infrastructure and System Assessment. Karlsruhe : TTK, 2008.
24. Karr, Martin. Mehrsystemkonzepte der Schienenbahnen in Europa. Karlsruhe : Universität Karlsruhe, 1998.
25. Teknillinen Korkeakoulu (TKK), Hölttä, Pasi. Rautatietekniikan opetusmonisteet. Espoo : Teknillinen Korkeakoulu, 2008.
26. Group, Thyssen. Oberbauhandbuch. Essen : Thyssen Group, 2008.
27. HKL. Bussien ja raitiovaunujen reaaliaikainen paikannus- ja liikennevaloetusjärjestelmä ("Helmi2"). Helsinki : HKL-liikelaitos, 2008. Julkaistu Helsingin kaupungin joukkoliikennelautakunnan 29.05.2008 pidetyn kokouksen esityslistan liitteenä.

Liitteet

- A** Hankkeen vaihtoehtoiset tuotot vs. kustannukset -laskelmat
- B** Hankkeen aikataulusuunnitelma
- C** Rataosalistat
- D** Luettelot Helsingin raitiotieverkon vaihteista
- E** Luettelot Helsingin raitiotieverkon isoista ristikoista ja raideristeyksistä
- F** Kartta jyrkintää vaativista rataosista
- G** Vaunun pyörän kulku risteysalueella

Liite A Hankkeen vaihtoehtoiset tuotot vs. kustannukset -laskelmat

Taulukko 1. Yhteenveto hankkeen kustannuksista ja tuotoista, jos vaihteita ja ristikoita uusitaan syvärauksiksi nopeutetulla aikataululla ja liikennöintikustannusten säästöiksi yhdessä automaattivaihteiden kanssa lasketaan yksi vaunupäivä per linja.

Tuhatta euroa	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Yhteensä
Projektin tuotot	0	0	0	0	414	798	1362	1746	1950	1950	1950	1950	1950	14070
Liikennöintikustannusten säästö linja 6	0	0	0	0	210	210	210	210	210	210	210	210	210	1890
Muut yhdeksän linjaa, säästöt	0	0	0	0	180	540	1080	1440	1620	1620	1620	1620	1620	11340
Ristikoiden urien korjaushitsaus, säästöt	0	0	0	0	24	48	72	96	120	120	120	120	120	840
Projektin kustannukset	0	0	-850	-2984	-4114	-1154	-1154	-1154	-1154	-40	-40	-40	-40	-12724
päälysteen jyräintiä	0	0	-850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-850
pyörin vaihto	0	0	0	-2980	-2980	0	0	0	0	0	0	0	0	-5960
ristikoiden materiaali	0	0	0	0	-106	-106	-106	-106	-106	0	0	0	0	-630
ristikoiden valmistus	0	0	0	0	-608	-608	-608	-608	-608	0	0	0	0	-3040
ristikoiden vaihto	0	0	0	0	-400	-400	-400	-400	-400	0	0	0	0	-2000
muut kustannukset	0	0	0	-4	-20	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-344
Projektin tuotto	0	0	-850	-2984	-3700	-356	208	592	796	1910	1910	1910	1910	1346
Kumulatiivinen kassavirta	0	0	-850	-3834	-7534	-7890	-7682	-7090	-6294	-4384	-2474	-564	1346	

Taulukko 2. Yhteenveto hankkeen kustannuksista ja tuotoista, jos vaihteita ja ristikoita uusitaan syväuraisiksi nopeutetulla aikataululla ja liikennöintikustannusten säästöiksi yhdessä automaattivaihteiden kanssa lasketaan puoli vaunupäivää per linja.

Tuhatta euroa	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Yhteensä
Projektin tuotot	0	0	0	0	219	423	717	921	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	13665
Liikennöintikustannusten säästö linja 6	0	0	0	0	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	1575
Muut yhdeksän linjaa, säästöt	0	0	0	0	90	270	540	720	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	10530
Ristikoiden urien korjaushissaus, säästöt	0	0	0	0	24	48	72	96	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	1560
Projektin kustannukset	0	0	-850	-2984	-4114	-1154	-1154	-1154	-1154	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-12964
päällysteen jyrysintä	0	0	-850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-850
pyörien vaihto	0	0	0	-2980	-2980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5960
ristikoiden materiaali	0	0	0	0	-106	-106	-106	-106	-106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-530
ristikoiden valmistus	0	0	0	0	-608	-608	-608	-608	-608	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3040
ristikoiden vaihto	0	0	0	0	-400	-400	-400	-400	-400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2000
muut kustannukset	0	0	0	-4	-20	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-584
Projektin tuotto	0	0	-850	-2984	-3895	-731	-437	-233	-119	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	701
Kumulatiivinen kassavirta	0	0	-850	-3834	-7729	-8460	-8897	-9130	-9249	-8254	-7259	-6264	-5269	-4274	-3279	-2284	-1289	-294	-294	701

Taulukko 3. Yhteenvedo hankkeen kustannuksista ja tuotoista, jos vaihteita ja ristikoita uusitaan syväraiksi normaalin kulumisen tahdissa ja liikennöintikustannusten säästöiksi yhdessä automaattivaihteiden kanssa lasketaan yksi vaunupäivä per linja.

Tuhatta euroa	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Yhteensä
Projektin tuotot	0	0	0	0	414	606	798	990	1362	1574	1746	1938	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	23078
Liikennöintikustannusten säästö linja 6	0	0	0	0	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	3150
Muut yhdeksän linjaa, säästöt	0	0	0	0	180	360	540	720	1080	1280	1440	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	1620	18560
Ristikoiden urien korjaushit-saus, säästöt	0	0	0	0	24	36	48	60	72	84	96	108	120	120	120	120	120	120	120	1368
Projektin kustannukset	0	0	-850	-2550	-2745	-199	-203	-207	-211	-215	-219	-223	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-9211
päällysteen jyräintä	0	0	-850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-850
pyörien vaihto	0	0	0	-2550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5100
ristikoiden materiaali	0	0	0	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-270
ristikoiden valmistus	0	0	0	0	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-1530
ristikoiden vaihto	0	0	0	0	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-1005
muut kustannukset	0	0	0	0	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-32	-36	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-456
Projektin tuotto	0	0	-850	-2550	-2331	407	595	783	1151	1359	1527	1715	1723	1723	1723	1723	1723	1723	1723	13867
Kumulatiivinen kassavirta	0	0	-850	-3400	-5731	-5324	-4729	-3946	-2795	-1436	91	1806	3529	5252	6975	8698	10421	12144	13867	

Taulukko 4. Yhteenveto hankkeen kustannuksista ja tuotoista, jos vaihteita ja riskikoita uusitaan syväuraisiksi normaalin kulumisen tahdissa ja liikennöintikustannusten säästöiksi yhdessä automaattivaihteiden kanssa lasketaan puoli vaunupäivää per linja.

Tuhatta euroa	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Yhteensä
Projektin tuotot	0	0	0	0	219	321	423	525	717	829	921	1023	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	12223
Liikennöintikustannusten säästö linja 6	0	0	0	0	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	1575
Muut yhdeksän linjaa, säästöt	0	0	0	0	90	180	270	360	540	640	720	810	810	810	810	810	810	810	810	9280
Ristikoiden urien korjaushitsaus, säästöt	0	0	0	0	24	36	48	60	72	84	96	108	120	120	120	120	120	120	120	1368
Projektin kustannukset	0	0	-850	-2550	-2745	-199	-203	-207	-211	-215	-219	-223	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-9211
päälysteen jyrästä	0	0	-850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-850
pyörin vaihto	0	0	0	-2550	-2550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5100
ristikoiden materiaali	0	0	0	0	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-270
ristikoiden valmistus	0	0	0	0	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-102	-1530
ristikoiden vaihto	0	0	0	0	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-1005
muut kustannukset	0	0	0	0	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-32	-36	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-456
Projektin tuotto	0	0	-850	-2550	-2526	122	220	318	506	614	702	800	808	808	808	808	808	808	808	3012
Kumulatiivinen kassavirta	0	0	-850	-3400	-5926	-5804	-5684	-5266	-4760	-4146	-3444	-2644	-1836	-1028	-220	588	1396	2204	3012	

Liite C Rataosalistat

Taulukko 1. Rataosuudet, joilta täytyy jyrsiä asfaltti kiskojen vierestä molemmissa liikennöintisuunnissa.

Välioppiiri	Rataosan numero	Rataosuus	Reittikatu	Suunnassa 1 jyrjittävää	Suunnassa 2 jyrjittävää	Pintamateriaali	Muuta	Pituus (~m) 2-raiteista rataa
1	5	Tukholmankatu	Paciuksenkatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		25
1	7	Meilahdentien pysäkki- ja risteysalue	Meilahdentien pysäkki- ja risteysalue	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		66
1	8	Paciuksenkaaren pysäkki- ja risteysalue	Paciuksenkaaren pysäkki- ja risteysalue	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		61
1	17	Valpurintie	Kuusitie	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		150
1	19	Kiskontie	Korppaanmäentie	Jyrjittään	Jyrjittään	Betoni?		515
2	22	Helsinginkatu	Töölön hallin pysäkki S1 pohjoisreuna	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		850
2	24	Apollonkadun pysäkki	Pohjoinen Hesperian katu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		134
2	26	Töölön tori	Mannerheimintie	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti	Väli Töölönkatu - Mannerheimintie uusittu kesällä 2009	128
2	29	Itämerenkatu	Pohjoinen Rautatiekatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		429
2	31	Hietaniemenkatu	Caloniuksenkatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Hiekka/Asvaltti	Pysäkit ja risteykset jyrjittään	137
2	32	Mechelininkatu	Caloniuksenkatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		20
2	34	Arkadiankatu	Caloniuksenkatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		468
2	35	Caloniuksenkatu	Apollonkadun pysäkki	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		76
4	49	Lasipalatsin pysäkkialue	Lasipalatsin pysäkkialue	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		113
4	52	Kansallismuseon pysäkki	Eteläinen Hesperiankatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti	Väli Cygnauksenkatu - Eteläinen Hesperiankatu uusittu 08/2009	202
4	53	Eteläinen Hesperiankatu	Helsinginkatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		660
4	55	Bulevardi	Ylioppilastalo	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		142
4	56	Ylioppilastalo	Simonkatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		289
5	70	Vuorimiehenkatu	Olympiaterminaali	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		87
5	71	Olympiaterminaalin pysäkkialue	Olympiaterminaalin pysäkkialue	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		39
5	73	Etelärannan pysäkki	Etelä-Esplanadi	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		272
6	86	Kanavakatu	Kruunuvuorenkatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti	Kanavakatu - Satamakatu kaarre jyrjittään	65
6	87	Satamakatu	Linnankatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti	N. 65-75 % katuosuudesta jyrjittävä	285
6	92	Linnankatu	Mastokatu	Jyrjittään	Jyrjittään	Asvaltti		158

Vaihepiiri	Rataosan numero	Rataosuus	Reittikatu	Suunnassa 1 jyrskittävä	Suunnassa 2 jyrskittävä	Pintamateriaali	Muuta	Pituus (-m) 2-raiteista rataa
6	93	Kruunuvuorenkatu	Kanavakatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		234
6	95	Aleksanterinkatu	Vironkadun pysäkki	Jyrskintään	Jyrskintään		Hallituskadun pysäkki jyrskintään	48
6	98	Mannerheimintie	Mikonkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		320
6	99	Mikonkatu	Kaisaniemen pysäkki	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		224
7	112	Hakaniemenranta	Hämeentie	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		147
7	120	Porthaninkatu	Kaarlenkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti	Kaare Viidennen Linjan ja Kaarlenkadun risteyksessä	36
7	122	Hakaniemenranta	Hämeentie	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		147
7	124	Siltasaarenkatu	Kaikukatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		569
7	128	Linnanmäki	Urheilutalo	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		424
7	131	Fleminginkatu	Kustaankadun pysäkki	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		108
7	132	Kustaankadun pysäkki	Hämeentie	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		360
7	136	Porvoonkadun pysäkin alue	Porvoonkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		87
7	140	Mannerheimintie	Veturitie	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti?/Betoni?		799
3	144	Palkkatilanportti	Kyllikinportti	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti	Parissa kohdassa jyrskittävä	5
3	145	Pasilanraito	Pasilanraito	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti	Parissa kohdassa jyrskittävä	5
3	152	Ratamestarinkatu	Mäkelänkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	2 osaa asvalttia 1 osa hiekkää	Pysäkit jyrskintään	40
8	165	Hämeentie	Sturenkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	2 osaa hiekkää 1 osa asvalttia	Pysäkit ja ajoratojen risteykset jyrskintään	171
8	166	Sturenkatu	Radanrakentajan tie	Jyrskintään	Jyrskintään	2 osaa hiekkää 1 osa asvalttia	Pysäkit ja ajoratojen risteykset jyrskintään	450
8	168	Vihonvuoren pysäkki	Mäkelänkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		278
8	170	Lautatarhankadun pysäkki	Hauhon puiston pysäkki	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		298
8	171	Hauhon puiston pysäkkialue	Hauhon puiston pysäkkialue	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		36
8	172	Hauhon puiston pysäkki	Sturenkadun pysäkki	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		364
8	173	Sturenkadun pysäkkialue	Sturenkadun pysäkkialue	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		40
8	175	Sturenkatu	Haukilahtenkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		165
8	177	Kyläsaarenkadun pysäkkialue	Kyläsaarenkadun pysäkkialue	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti		42
8	182	Aleksis Kiven katu	Mäkelänkatu	Jyrskintään	Jyrskintään	Asvaltti	Pysäkit jyrskintään	47
							Ratapituus	10815
							Raidepituus	21630

Taulukko 2. Rataosuudet, joilta täytyy jyrsiä asfaltti kiskojen vierestä vain toisessa liikennöintisuunnissa.

Vaihdepiiri	Rataosan numero	Rataosuus	Reittikatu	Suunnassa 1 jyrjittävä	Suunnassa 2 jyrjittävä	Pituus (~m) raidepituus
1	12	Laajalahden aukio	Laajalahden aukion kaarre	1	0	68
1	18	Kuusitie	Mannerheimintie	1	0	387
4	42	Bulevardi	Lönnrotinkatu	x	1	129
						0
6	75	Kauppatorin pysäkki	Pohjoisesplanadi	1	x	17
6	76	Eteläranta	Kataininkatu	1	x	64
6	77	Aleksanterinkatu	Pohjoisesplanadi	x	1	122
						0
7	129	Kaarlenkatu	Fleminginkatu	0	1	130
7	136	Porvoonkadun pysäkki	Vipurinkatu	0	1	32
7	138	Vipurinkatu	Veturitie	0	1	276
3	145	Kylälinkinportti	Pasilansilta	1	0	44
3	149	Ratapihanatie	Ratamestarinkatu	0	1	255
3	150	Rautatieäisenkatu	Radanrakentäjantie	0	1	154
9	163	Käpylänaukio	Pohjolankatu	0	1	672
8	166	Helsinginkatu	Vilhonvuoren pysäkki	1	0	41
					Raidepituus	2391

Taulukko 3. Rataosuudet, joilta täytyy jyrsiä nupukiveä kiskojen vierestä toisessa tai molemmissa liikennöintisuunnissa.

Vaihdepiiri	Rataosan numero	Rataosuus	Reittikatu	Suomassa 1 jyrstävää	Suomassa 2 jyrstävää	Pituus (-m) 2-raiteista rataa
4	53	Bulevardi-Mannerheimintie kaarre	Bulevardi-Mannerheimintie kaarre	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	45
5	64	Kapteeninkadun pysäkki	Kapteeninkatu	Kiveä, jyrstään	Kunnossa	69
5	66	Neitsypolku	Neitsypolun pysäkki	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	63
5	68	Kaivopuiston pysäkki	Vuorimiehenkatu	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	124
6	74	Etelä-Esplanadi	Kauppatorin pysäkki	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	46
6	83	Mariankatu	Kanavakatu	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	20
6	87	Kruunuvuorenkatu	Merikasaminkatu	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	112
6	89	Matruusinkadun pysäkkialue	Matruusinkadun pysäkkialue	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	64
6	90	Merisotilaantori	Merisotilaantori	Kiveä, jyrstään	Kiveä, jyrstään	106
7	125	Mannerheimintie	Vauhtitie	Kiveä, jyrstään	Kunnossa	543
3	140	Nordenskiöldinkatu	Pasilankatu	Nurmikiveä, jyrstään	Nurmikiveä, jyrstään	40
8	173	Haukilahdenkatu	Kustaa Vaasantie	Nurmikiveä, jyrstään	Nurmikiveä, jyrstään	225
8	177	Kyläsaarenkadun pysäkki	Arabiankatu	Nurmikiveä, jyrstään	Nurmikiveä, jyrstään	642
				Ratapituus	Ratapituus	2099
				Raidepituus	Raidepituus	3586

Lite D Luettelot Helsingin raitiotieverkon vaihteista

Taulukko 1. Linjaraiteilla olevat vastavaihteet. YV = tavallinen yksinkertainen vaihde, SKV = sisäkaarrevaihde, UKV = ulkokaarrevaihde, Ratageometria = Raitien geometria ko. vaihteen alueella asettaa vaihtelevia rajoituksia ajonopeuden nostolle kovin paljoa nykyistä 10 km/h korkeammaksi.

LIJARAITTEILLA OLEVAT VASTAVAIHTEET	Numero	Tyyppi	Poikkeavan raitteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja	Luonne poikkeavalle
MAALLI	100	YV	Oikea	Suora	Linjalla	Ratageometria?
Pikkunupalahden ohitusraide	101	SKV	Vasen	Erikoinen	Päättäri	Päättäri
Mannerheimintie - Kuusitie varayhteys	105	UKV	Vasen	Kaarre	Pysäkin jälkeen	Päättäri
Saunalahden ohitusraide	107	YV	Vasen	Normaali	Päättäri	Päättäri
Mannerheimintie - Tukholmankatu	111	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?
Mannerheimintie - Nordenskiöldinkatu	113	YV	Oikea		Ennen pysäkkiä	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Mannerheimintie - Töölön varikko pohjoiseen	201	UKV	Oikea	Kaarre	Ratageometria?	Varikko
Mannerheimintie - Töölön varikko, Varraksen vaihde	221	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Varikko
Runeberginkatu - Mannerheimintie	227	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?
Helsinginkatu - Mannerheimintie varayhteys	229	SKV	Vasen	Kaarre	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?
Mannerheimintie - Helsinginkatu varayhteys	231	YV	Oikea	Normaali	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?	Ratageometria?
Mannerheimintie - Runeberginkatu	233	SKV	Oikea	Kaarre	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?	Ratageometria?
Arkadiankatu - Fredrikinkatu	235	YV	Oikea	Normaali	Linjalla/Eikäytössä	Ratageometria?
Runeberginkatu - Ruusulankatu itään	237	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Ruusulankatu - Runeberginkatu	239	UKV	Oikea	Kaarre	Ratageometria?	Ratageometria?
Runeberginkatu - Ruusulankatu länteen	241	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Runeberginkatu - Caloniuksenkatu	245	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen/Linjalla	Pysäkin jälkeen/Linjalla
Itämerenkadun ohitusraide	247	SKV	Vasen	Kaarre	Päättäri	Päättäri
Mäkelänkatu - Radanrakentajantie	301	UKV	Vasen	Kaarre	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?
Nordenskiöldinkatu - Veturitie	303	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Radanrakentajantien ohitusraide	305	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Päättäri
Ratapihantien ohitusraide pohjoinen	307	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä/Päättäri	Ratageometria?
Ratapihantien ohitusraide SRR	309	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä/Päättäri	Ratageometria?

LINJARAITEILLA OLEVAT VASTAVAIHTEET		Numero	Tyyppi	Poikkeavan ratteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja	
Sijainti	NUMERO	100	YV	Oikea	Suora	Linjalla	Luonne poikkeavalle Ratageometria?
MALLI							
Ratapihantien ohitusraide SRR ohitus	311	YV	Oikea		Normaali	Linjalla/Päättäri	Ratageometria?
Ratapihantie - Asemapäällikönkatu	313	YV	Oikea		Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?
Asemapäällikönkatu - Radanra- mestarinkatu varayhteys	315	UKV	Vasen		Käänteinen	Ratageometria?	Ratageometria?
Ratamestarinkatu - Radanra- kentäntie varayhteys	317	YV	Oikea		Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Kaivokatu varayhteys	401	YV	Vasen		Normaali	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?
Kaivokatu - Mannerheimintie etelään	403	YV	Vasen		Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Kaivokatu Forum in vaihde pohjoiseen etelään	405	YV	Vasen		Normaali	Linjalla	Linjalla
Mannerheimintie - Arkadi- ankatu	407	YV	Vasen		Normaali	Linjalla	Linjalla
Mannerheimintie - Aleksan- terinkatu Forum in vaihde etelään	409	YV	Vasen		Normaali	Linjalla	Linjalla
Aleksanterinkatu - Mannerhei- mintie varayhteys	411	UKV	Vasen		Käänteinen	Ratageometria?	Ratageometria?
Mannerheimintie - Bulevardi	413	YV	Vasen		Normaali	Linjalla	Linjalla
Mannerheimintie - Aleksante- rinkatu varayhteys	415	SKV	Oikea		Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Bulevardi - Yrjönkatu	417	YV	Vasen		Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Arkadianka- tu varayhteys	419	YV	Oikea		Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Kaivokatu - Mannerheimintie varayhteys	421	YV	Oikea		Syvä, suora	Linjalla	Ratageometria?
Simonkatu - Mannerheimintie varayhteys	423	YV	Oikea		Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Simonkatu varayhteys	425	YV	Vasen		Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Yrjönkatu - Uudenmaankatu ohitusraide	427	YV	Vasen		Normaali	Päättäri	Päättäri
Bulevardi - Fredrikinkatu	501	YV	Vasen		Normaali	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?
Laivurinkatu - Tehtaankatu varayhteys	503	YV	Vasen		Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?
Tehtaankatu - Laivurinkatu varayhteys	505	YV	Vasen		Normaali	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?
Tehtaankatu - Laivurinkatu	507	YV	Oikea		Normaali	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?

LIJARAITEILLA OLEVAT VASTAVAIHTEET	Numero	Tyyppi	Poikkeavan raiteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja	Luonne poikkeavalle
Sijainti	Numero	Tyyppi	Poikkeavan raiteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja	Luonne poikkeavalle
MALLI	100	YV	Oikea	Suora	Linjalla	Ratageometria?
Unioninkatu - Lisankatu	601	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Kaisaniemenkatu - Vilhonkatu varayhteys	603	YV	Oikea	Normaali	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?
Mikonkatu - Kaisaniemenkatu varayhteys	605	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu	607	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Katariinankatu - Aleksanterinkatu	609	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Unioninkatu itään	611	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Unioninkatu länteen	613	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Kauppatori ohitusraide	615	SKV	Vasen	Kaarre	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?	Päättäri
Eteläesplanadi - Eteläranta	617	UKV	Oikea	Kaarre	Ratageometria?	Ratageometria?
Merikasarminkatu ohitusraide	619	SKV	Oikea	Kaarre	Ratageometria?	Ratageometria?
Kruunuvuorenkatu - Merikasarminkatu	621	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Snellmaninkatu - Aleksanterinkatu varayhteys	623	UKV	Oikea	Kaarre	Ratageometria?	Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu varayhteys	625	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Kaisaniemenkatu - Lisankatu varayhteys	627	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Lisankatu - Kaisaniemenkatu varayhteys	629	YV	Oikea	Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Mikonkatu	631	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Kaivokatu - Mikonkatu	633	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Läntinen Brahenkatu - Poriinonkatu	701	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?
Läntinen Brahenkatu - Helsinginkatu varayhteys	703	UKV	Oikea	Kaarre	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Läntinen Brahenkatu varayhteys	705	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?
Helsinginkatu - Läntinen Brahenkatu	707	UKV	Oikea	Kaarre	Ennen pysäkkiä	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Kaarenkatu länteen	711	UKV	Oikea	Kaarre	Linjalla/Ratageometria?	Ratageometria?
Kaarlenkatu - Helsinginkatu	713	YV	Vasen	Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?
Hämeentie - Toinen Linja varayhteys	715	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Toinen Linja - Porhanninkatu varayhteys	717	YV	Oikea	Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?

LIJARAITEILLA OLEVAT VASTAVAIHTEET	Numero	Tyyppi	Poikkeavan raiteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja	Luonne poikkeavalle
Stiainti					Luonne suoralle	Luonne poikkeavalle
MALLI	100	YV	Oikea	Suora	Linjalla	Ratageometria?
Hämeentie - Siltaasaarenkatu Metallitalon vaihde	719	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Kaarlenkatu itään	721	UKV	Vasen	Kaarre	Ratageometria?	Ratageometria?
Helsinginkatu - Fleminginkatu	723	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä/ Linjalla	Ratageometria?
Sturenkatu - Aleksis Kiven katu varayhteys	725	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Aleksis Kiven katu - Sturenkatu varayhteys	727	YV	Oikea	Normaali	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?
Kustaa Vaasan tie - Hämeentie	801	YV	Oikea	Normaali	Linjalla/ Ei käytössä	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Arabian ohitusraide	803	YV	Vasen	Normaali	Päättäri	Päättäri
Hämeentie - Sturenkatu pohjoiseen	807	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Hämeentie - Sturenkatu varayhteys	809	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen	Ratageometria?
Sturenkatu - Hämeentie varayhteys	811	YV	Oikea	Normaali	Linjalla/ Ei käytössä	Ratageometria?
Sturenkatu - Paavalin kirkko varayhteys länteen	815	YV	Vasen	Normaali	Linjalla/ Ei käytössä	Ratageometria?
Sturenkatu - Paavalin kirkko varayhteys itään	817	YV	Oikea	Normaali	Linjalla/ Ei käytössä	Ratageometria?
Vallilan varikko, Kusimutka	819	YV	Oikea	Normaali	Varikko	Varikko
Hämeentie - Vallilan varikko pohjoisesta	823	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Hämeentie - Vallilan varikko etelästä	825	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mäkelänkatu - Sturenkatu oikea	831	YV	Oikea	Normaali	Pysäkin jälkeen	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?
Mäkelänkatu - Sturenkatu vasen varayhteys	833	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?
Sturenkatu - Mäkelänkatu varayhteys	835	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Sturenkatu - Mäkelänkatu lännestä	837	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Hämeentie - Mäkelänkatu	839	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Hämeentie - Helsinginkatu	841	UKV	Oikea	Kaarre	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Hämeentie varayhteys	843	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Hämeentie - Helsinginkatu varayhteys	845	UKV	Vasen	Kaarre	Linjalla	Ratageometria?
Pohjolanaukio ohitusraide	901	SKV	Oikea	Kaarre	Päättäri	Päättäri

Taulukko 2. Linjaraitteilla olevat myötävaihteet. YV = tavallinen yksinkertainen vaihde, SKV = sisäkaarrevaihde, UKV = ulkokaarrevaihde, Ratageometria = Raitteen geometria ko. vaihteen alueella asettaa vaihtelevia rajoituksia ajonopeuden nostolle kovin paljoo nykyistä 10 km/h korkeammaksi.

Linjaraitteilla olevat myötävaihteet	Numero	Tyyppi	Poikkeavan raitteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja	Luonne poikkeavalta
Sijaanti						
MALLI	100	YV	Oikea	Suora		
Pikkunuopalahden ohitusraide	104	SKV	Oikea	Erikoinen	Linjalla/Ratageometria?	Ratageometria?
Mannerheimintie - Kuusitie varayhteys	106	YV	Oikea	Normaali	Linjalla/Päätätari	Linjalla
Saunalahden ohitusraide	108	YV	Vasen	Normaali	Päätätari	Päätätari
Mannerheimintie - Tukholmankatu	112	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen/Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Nordenskiöldinkatu	114	YV	Oikea	Normaali	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?
Mannerheimintie - Töölön varikko, pohjoiseen	202	UKV	Vasen	Kaarre	Ratageometria?	Varikko
Mannerheimintie - Töölön varikko, etelään Varras	208	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Varikko
Runeberginkatu - Mannerheimintie	216	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Heisinginkatu - Mannerheimintie varayhteys	218	SKV	Vasen	Kaarre	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?
Mannerheimintie - Heisinginkatu varayhteys	220	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Runeberginkatu	222	YV	Oikea	Normaali	Ennen pysäkkiä/Ratageometria?	Ennen pysäkkiä/Ratageometria?
Runeberginkatu - Ruusulankatu itään	226	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Linjalla
Ruusulankatu - Runeberginkatu	228	UKV	Vasen	Kaarre	Ratageometria?	Ratageometria?
Runeberginkatu - Ruusulankatu länteen	230	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Linjalla
Runeberginkatu - Calomiuksenkatu	234	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä/Linjalla	Ennen pysäkkiä/Linjalla
Arkadiankatu - Fredrikinkatu	236	YV	Oikea	Normaali	Linjalla/Ei käytössä	Ratageometria?
Itämerenkadun ohitusraide	248	YV	Oikea	Normaali	Päätätari	Päätätari
Mäkelänkatu - Radamrakentäjantie	302	UKV	Vasen	Kaarre	Ennen pysäkkiä	Ennen pysäkkiä/Ratageometria?
Nordenskiöldinkatu - Veturitie	304	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen/Linjalla	Ratageometria?
Radamrakentäjätien ohitusraide	306	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Ratapihantien ohitusraide SRR	308	YV	Oikea	Normaali	Pysäkin jälkeen/Päätätari	Ratageometria?
Ratapihantien ohitusraide SRR ohitus	310	YV	Vasen	Normaali	Linjalla/Päätätari	Ratageometria?

LIJARAITEILLA OLEVAT MYÖTÄVAIHEET	Numero	Tyyppi	Poikkeavan ratteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja	Luonne poikkeavalta
Sijainti	100	YV	Oikea	Suora	Luonne suoralla	Luonne poikkeavalta
MALLI						
Ratapihantien ohitusraide etelä	312	YV	Oikea	Normaali	Pysäkin jälkeen/Päättäri	Ratageometria?
Ratamestarinkatu - Radanrakentajantie	314	UKV	Oikea	Kaarre	Ennen pysäkkiä/Linjalla	Ratageometria?
Asemapäällikönkatu - Ratamestarinkatu varayhteys	316	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Radanrakentajantie - Ratamestarinkatu varayhteys	318	YV	Vasen	Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?
Mannerheimintie - Kaivokatu varayhteys	402	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Kaivokatu - Mannerheimintie pohjoiseen	404	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Kaivokatu etelään	406	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Arkadiankatu	408	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Linjalla
Mannerheimintie - Aleksanterinkatu	410	UKV	Vasen	Kaarre	Linjalla	Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Mannerheimintie varayhteys	412	UKV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Aleksanterinkatu varayhteys	414	YV	Oikea	Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?
Mannerheimintie - Bulevardi	416	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Erottajankatu - Uudenmaankatu ohitusraide	418	YV	Oikea	Suora	Linjalla	Ratageometria?
Arkadiankatu - Mannerheimintie varayhteys	420	YV	Vasen	Normaali	Linjalla/Ei käytössä	Ratageometria?
Kaivokatu - Mannerheimintie etelään	422	YV	Vasen	Syvä, Suora	Linjalla	Ratageometria?
Mannerheimintie - Simonkatu varayhteys	424	YV	Vasen	Syvä, Suora	Linjalla	Ratageometria?
Simonkatu - Mannerheimintie varayhteys	426	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Erottajankatu - Uudenmaankatu	428	YV	Oikea	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Bulevardi - Fredrikinkatu	502	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Laivurinkatu - Tehtaankatu varayhteys	504	YV	Vasen	Normaali	Ratageometria?	Ratageometria?
Tehtaankatu - Laivurinkatu varayhteys	506	YV	Vasen	Normaali	Linjalla	Ratageometria?
Tehtaankatu - Laivurinkatu	508	YV	Oikea	Normaali	Ennen pysäkkiä	Ratageometria?

LINJARAITEILLA OLEVAT MYÖTÄVAIHTTEET		Numero	Tyyppi	Poikkeavan raiteen suunta	Ristikon tyyppi	Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja		Luonne poikkeavalta
Sijainti	YV					Oikea	Vasen	
MALLI	YV	100	YV	Oikea	Suora			
Unioninkatu - Liisankatu	YV	602	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Kaisaniemenkatu - Mikonkatu varayhteys	YV	606	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu	YV	608	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Katanininkatu	YV	610	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Snellmaninkatu - Aleksanterinkatu varayhteys	YV	612	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Unioninkatu - Aleksanterinkatu	UKV	614	UKV	Vasen	Kaarre	Ratageometria?		Ratageometria?
Pohjoisesplanadi - Eteläranta	SKV	616	SKV	Vasen	Kaarre	Ratageometria?		Ratageometria?
Kauppatori ohitusraide - Eteläranta	UKV	618	UKV	Oikea	Kaarre	Ennen pysäkkiä		Ratageometria?
Merikasarminkatu ohitusraide	YV	620	YV	Oikea	Normaali	Pysäkin jälkeen		Ratageometria?
Kaivokatu - Mikonkatu varayhteys	YV	622	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Snellmaninkatu - Aleksanterinkatu	UKV	624	UKV	Oikea	Kaarre	Linjalla		Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu varayhteys	YV	626	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Kruunuvoorenkatu - Merikasarminkatu	YV	628	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Kaisaniemenkatu - Liisankatu varayhteys	YV	630	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Liisankatu - Kaisaniemenkatu varayhteys	YV	632	YV	Vasen	Normaali	Ratageometria?		Ratageometria?
Kaivokatu - Mikonkatu	YV	634	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Aleksanterinkatu - Mikonkatu	YV	636	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Läntinen Brahenkatu - Porvoonkatu	YV	702	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen		Ratageometria?
Läntinen Brahenkatu - Helsinginkatu varayhteys	UKV	704	UKV	Vasen	Kaarre	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?		Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Läntinen Brahenkatu varayhteys	YV	706	YV	Oikea	Normaali	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?		Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Läntinen Brahenkatu itään	YV	708	YV	Oikea	Normaali	Pysäkin jälkeen/Linjalla		Ratageometria?
Helsinginkatu - Kaarlenkatu itään	YV	710	YV	Vasen	Suora	Linjalla		Ratageometria?
Helsinginkatu - Kaarlenkatu länteen	UKV	712	UKV	Oikea	Kaarre	Linjalla		Ratageometria?
Kaarlenkatu - Helsinginkatu	UKV	714	UKV	Vasen	Kaarre	Ratageometria?		Ratageometria?
Toinen Linja - Porthaninkatu varayhteys	YV	716	YV	Vasen	Normaali	Ratageometria?		Ratageometria?

LINJARAITEILLA OLEVAT MYÖTÄVAIHEET		Muutostarpeeseen vaikuttavia seikkoja		Luuone suoralla		Luuone poikkeavalta	
Sijainti	Numero	Tyyppi	Poikkeavan raitteen suunta	Ristikon tyyppi			
MALLI	100	YV	Oikea	Suora			
Siltasaarenkatu - Toinen Linja varayhteys	718	YV	Oikea	Normaali	Ratageometria?		Ratageometria?
Hämeentie - Siltasaarenkatu Metallitalon vaihde	720	YV	Vasen	Normaali	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?		Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Fleminginkatu	722	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?		Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Aleksis Kiven katu - Sturenkatu varayhteys	724	YV	Oikea	Normaali	Risteyks vieressä		Ratageometria?
Sturenkatu - Aleksis Kiven katu varayhteys	726	YV	Vasen	Normaali	Risteyks vieressä		Ratageometria?
Hämeentie - Kustaa Vaasan tie	802	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?
Arabian ohitusraide	804	YV	Vasen	Normaali	Päättäri		Päättäri
Hämeentie - Sturenkatu	806	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Hämeentie - Sturenkatu varayhteys	808	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Sturenkatu - Hämeentie varayhteys	810	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Paavalin kirkko - Hämeentie varayhteys	816	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Paavalin kirkko - Sturenkatu varayhteys	818	UKV	Vasen	Kaarre	Päättäri		Ratageometria?
Hämeentie - Vallilan varikko	824	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Varikko
Hämeentie - Vallilan varikko pohjoiseen	826	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Varikko
Hämeentie - Vallilan varikko Kusimutka	828	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Varikko
Hämeentie - Vallilan varikko etelä	830	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Varikko
Mäkelänkatu - Sturenkatu pohjoiseen	832	YV	Oikea	Normaali	Ennen pysäkkiä		Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Mäkelänkatu - Sturenkatu pohjoiseen varayhteys	834	YV	Vasen	Normaali	Ennen pysäkkiä		Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Sturenkatu - Mäkelänkatu varayhteys	836	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Hämeentie - Mäkelänkatu	838	YV	Vasen	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Hämeentie - Helsinginkatu	842	UKV	Vasen	Kaarre	Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?		Ennen pysäkkiä/ Ratageometria?
Helsinginkatu - Hämeentie varayhteys	844	YV	Oikea	Normaali	Linjalla		Ratageometria?
Hämeentie - Helsinginkatu varayhteys	846	UKV	Vasen	Kaarre	Linjalla		Ratageometria?
Pohjolanaukio ohitusraide	902	SKV	Oikea	Kaarre	Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?		Pysäkin jälkeen/ Ratageometria?

Liite E: Luettelot Helsingin raitiotieverkon isoista risteyksistä ja raideristikoista

Sijaointi	Numero	Risteyssuhde	Risteyssuhde	Ristikon tyyppi	Suurin risteys - kulma (astetta)
Mannerheimintie - Kuusitie varayhteys	105IR	1:00		Suora raide kaartaa	< 32
Mannerheimintie - Tukholmankatu	111IR	01:02,1	2,1	Normaali	25,1
Mannerheimintie - Nordenskiöldinkatu	114IR	01:01,7	1,7	Normaali	30,9
Mannerheimintie - Helsinginkatu varayhteys	220IR	01:01,8	1,8	Normaali	28,8
Mannerheimintie - Töölön varikko etelästä (Varraksen vaihde)	221IR	1:00		Normaali	< 32
Mannerheimintie - Runeberginkatu	222IR	01:01,9	1,9	Normaali	28,1
Runeberginkatu - Mannerheimintie	227IR	01:01,9	1,9	Normaali	27,3
Runeberginkatu - Caloniuksenkatu	234IR	01:02,3	2,3	Normaali	23,6
Nordenskiöldinkatu - Veturiatie	303IR	01:01,8	1,8	Normaali	29,2
Mannerheimintie - Arkadiankatu	408IR	01:02,0	2	Normaali	26,8
Mannerheimintie - Aleksanterinkatu varayhteys	414IR				< 32
Mannerheimintie - Bulevardi	416IR	01:01,6	1,6	Normaali	31,5
Erottaja - Uudenmaankatu ohitusraide	418IR	1:00		Normaali	< 32
Erottaja - Uudenmaankatu	428IR	1:00		Normaali	< 32
Tehtaankatu - Laivurinkatu varayhteys	505IR	1:00		Normaali	< 32
Unioninkatu - Liisankatu	601IR	01:01,6	1,6	Normaali	31,6
Katarinankatu - Snellmaninkatu, Snellmaninkatu - Aleksanterinkatu	612IR	01:01,8	1,8	Normaali	29,3
Merikasarminkatu ohitusraide tulo	619IR	1:00		Suora raide kaartaa	< 32
Merikasarminkatu ohitusraide lähtiö	620IR	1:00		Normaali	< 32
Kruunuvuorenkatu - Merikasarminkatu	621IR	01:01,7	1,7	Normaali	30,5
Liisankatu - Kaisaniemenkatu varayhteys	629 - 632IR	01:01,6	1,6	Normaali	31,6
Aleksanterinkatu - Mikonkatu limitys	631IR	1:00		Normaali	< 32
Kaivokatu - Mikonkatu limitys	633IR	1:00		Normaali	< 32
Kaivokatu - Mikonkatu	634IR	1:00		Normaali	< 32
Läntinen Brahenkatu - Porvoonkatu	701IR	01:01,7	1,7	Normaali	30,9
Siltasaarenkatu - Toinen Linja varayhteys	718IR	01:01,6	1,6	Normaali	31,7
Helsinginkatu - Fleminginkatu	723IR	1:00		Normaali	< 32
Aleksis Kiven katu - Sturenkatu varayhteys	724IR	1:00		Normaali	< 32
Sturenkatu - Aleksis Kiven katu varayhteys	725IR	1:00		Normaali	< 32
Hämeentie - Kustaa Vaasan tie	802IR	01:02,4	2,4	Normaali	22,9
Hämeentie - Sturenkatu varayhteys	809IR	01:01,7	1,7	Normaali	30,3
Sturenkatu - Hämeentie varayhteys	810IR	01:01,7	1,7	Normaali	30,3
Hämeentie - Vallilan varikko etelästä	825IR	01:02,3	2,3	Normaali	23,6
Hämeentie - Vallilan varikko pohjoiseen	826IR	01:02,0	2	Normaali	26,7
Mäkelänkatu - Sturenkatu pohjoiseen	832IR	01:02,2	2,2	Normaali	24,6
Sturenkatu - Mäkelänkatu lännestä	837IR	01:02,2	2,2	Normaali	24,6
Hämeentie - Mäkelänkatu	839IR	01:01,9	1,9	Normaali	27,5
Hämeentie - Helsinginkatu	841IR	01:01,6	1,6	Suora raide kaartaa	31,9

Taulukko 1.
Ne Helsingin raitiover-
kolla olevat isot risti-
kot, joiden suurin ris-
teyskulma on alle 32
astetta ja jotka ole-
taan varmuudella voi-
tavan muuttaa syvä-
uraisiksi.

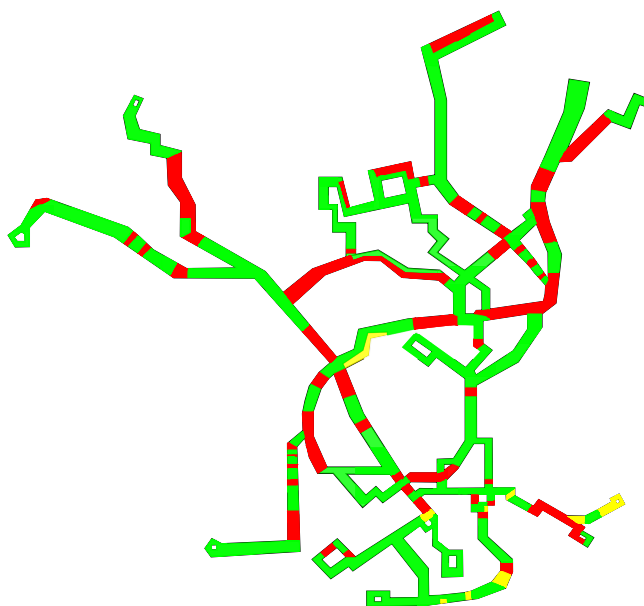
Taulukko 2. Ne Helsingin raitioverkolla olevat isot ristikot, joiden suurin risteyskulma on 32–39 astetta, ja joiden muuttamista syväraisiksi harkitaan tapauskohtaisesti.

Sijainti	Numero	Risteyssuhde	Ristikon tyyppi	Suurin risteys - kulma (astetta)	Muut yli 32° kulmat
Mannerheimintie - Töölön varikko (Pohjoiseen)	202IR	01:01,5	Normaali	33,3	X
Töölön varikkoyhteys, Ruusulankatu etupiha	223IR	01:01,4	Normaali	35	X
Runeberginkatu - Ruusulankatu itään	226IR	01:01,4	Normaali	36,1	X
Helsinginkatu - Mannerheimintie varayhteys	229IR	01:01,5	Suora raide kaartaa	32,9	X
Arkadiankatu - Fredrikinkatu	236IR	01:01,4	Suora raide kaartaa	35,5	35,5 ; 33
Runeberginkatu - Ruusulankatu länteen	241IR	01:01,5	Normaali	33,2	X
Mäkelänkatu - Radanrakentajantie	301IR	01:01,5	Suora raide kaartaa	34,5	X
Mannerheimintie - Kaivokatu varayhteys	401IR	01:01,5	Normaali	33,9	X
Kaivokatu - Mannerheimintie pohjoisesta	404IR	1:00	Normaali	32-39	
Mannerheimintie - Kaivokatu etelään	406IR	01:01,5	Normaali	33,9	X
Mannerheimintie - Aleksanterinkatu	410IR	01:01,4	Suora raide kaartaa	35	X
Bulevardi - Yrjönkatu	417IR	1:00	Normaali	32-39	
Mannerheimintie - Simonkatu varayhteys	425IR	1:00	Normaali	32-39	
Simonkatu - Mannerheimintie varayhteys	426IR	1:00	Normaali	32-39	
Bulevardi - Fredrikinkatu	501IR	01:01,4	Normaali	36	X
Laivurinkatu - Tehtaankatu varayhteys	503 - 504IR	01:01,4	Suora raide kaartaa	34,6	X
Tehtaankatu - Laivurinkatu	508IR	01:01,4	Normaali	34,6	X
Kaisaniemenkatu - Mikonkatu varayhteys	606IR	01:01,4	Normaali	34,6	X
Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu	607IR	01:01,4	Normaali	35	X
Aleksanterinkatu - Katarininkatu	610IR	01:01,3	Normaali	37,6	32,7
Aleksanterinkatu - Unioninkatu idästä	611IR	1:00	Normaali	32-39	
Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu varayhteys	626IR	01:01,6	Normaali	32,3	X
Kaisaniemenkatu - Liisankatu varayhteys	630IR	01:01,5	Normaali	34	X
Aleksanterinkatu - Mikonkatu	636IR	1:00	Normaali	32-39	
Helsinginkatu - Läntinen Brahenkatu varayhteys	705IR	01:01,5	Normaali	33,9	X
Helsinginkatu - Läntinen Brahenkatu itään	708IR	01:01,5	Normaali	34,5	X
Hämeentie - Toinen Linja varayhteys	715IR	01:01,5	Normaali	34	X
Toinen Linja - Porthaninkatu varayhteys	716IR	01:01,2	Suora raide kaartaa	39	
Hämeentie - Siltaasareinkatu Metallitalon vaihde	720IR	01:01,6	Suora raide kaartaa	32,7	X
Hämeentie - Sturenkatu	806IR	01:01,5	Normaali	33,4	X
Sturenkatu - Paavaliin kirkko varayhteys	815IR	01:01,4	Normaali	34,6	X
Hämeentie - Vallian varikko Kusimutka	828IR	01:01,3	Normaali	37,4	32,3 ; 32,1
Mäkelänkatu - Sturenkatu pohjoiseen varayhteys	833IR	01:01,4	Normaali	34,6	X
Sturenkatu - Mäkelänkatu varayhteys	836IR	01:01,4	Normaali	34,6	X
Helsinginkatu - Hämeentie varayhteys	844IR	01:01,4	Normaali	34,6	X
Hämeentie - Helsinginkatu varayhteys	845 - 846IR	01:01,6	Suora raide kaartaa	32,5	X

Taulukko 3. Ne Helsingin raitioverkolla olevat isot ristikot, joiden suurin risteyskulma on yli 39 astetta, ja joita ei ilman ratageometrian muutoksia voida muuttaa syväuraisiksi.

Sijainti	Numero	Risteyssuhde	Ristikon tyyppi	Suurin risteyskulma (astetta)	Muut yli 32° kulmat
Töölön varikkoyhteys, etelän tulovaihte	204 - 217IR	01:01,1	Normaali	41,3	34,7 ; 34,2
Töölön varikkoyhteys, etelän lähtövaihte Sibeliuksenkadulla	206IR	01:01,1	Suora raide kaartaa	42,9	36,4 ; 36
Töölön varikkoyhteys, Sibeliuksenkatu - Ruusulankatu	212IR	01:00,9	Suora raide kaartaa	48	42 ; 42 ; 33
Ruusulankatu - Runeberginkatu	228-239IR	01:01,0	Suora raide kaartaa	45	- - - - -
Ratamestarinkatu - Radanrakentajanitie	314IR	01:00,1	Suora raide kaartaa	84,5	- - - - -
Kaivokatu - Mannerheimintie etelään	403IR	01:00,9	Normaali	49,2	42,9 ; 42,9 ; 35
Aleksanterinkatu - Mannerheimintie varayhteys itään	411 - 412IR	1:00	Suora raide kaartaa	> 39	
Katarinankatu - Aleksanterinkatu, Aleksanterinkatu - Snellmaninkatu	607 - 610IR	01:01,1	Suora raide kaartaa	43,1	37,1 ; 36,9
Snellmaninkatu - Aleksanterinkatu	623 - 624IR	01:01,0	Suora raide kaartaa	45,5	38,7 ; 38,6
Läntinen Brahenkatu - Helsinginkatu varayhteys	703 - 704IR	01:00,9	Suora raide kaartaa	48	41,2 ; 41,2 ; 32,6
Helsinginkatu - Kaarlenkatu länteen	712IR	01:01,1	Suora raide kaartaa	42,6	35,6 ; 35
Kaarlenkatu - Helsinginkatu etelään	713 - 714IR	01:00,9	Suora raide kaartaa	47,2	38,3 ; 38,1
Helsinginkatu - Kaarlenkatu itään	721IR	01:01,0	Suora raide kaartaa	45,3	38,8 ; 38,2

Liite F: Kartta jyrksittävistä rataosuuksista



Kuva 1. Kartta jyrksittävistä rataosuuksista, punaisella osuudet joilta on poistettava asfalttia kiskojen ulkoreunoilta, keltaisella osuudet joilla on nupukiveä tai vihernoppakiveä poistettavana ja vihreällä kunnossa olevat osuudet.

Liite G: Vaunun pyörän kulku risteysalueella

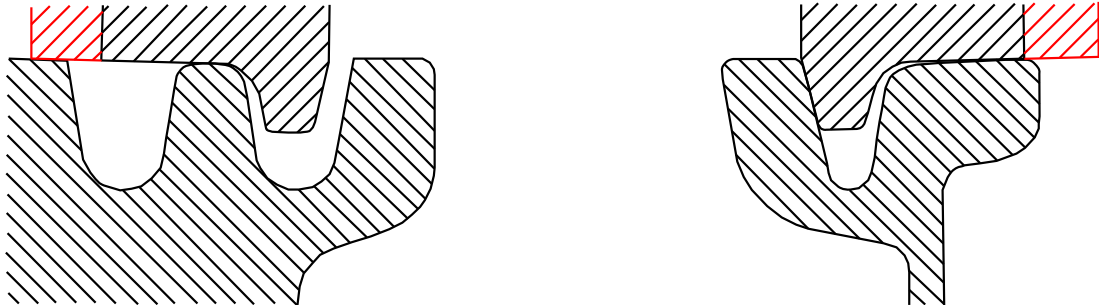
1 Perusteet

Vaunun pyörän tullessa risteyskappaleen alueelle, on pyörän kehän ylitettävä risteävän raiteen ura. Samalla pyörän tukipintaan tulee epäjatkuvuuskohta. Tällä kohdalla pyörä kulkee matalauraisessa risteyksessä laippansa varassa ja syväuraisessa risteyksessä kulkukehänsä varassa siten, että vaunun painon on tarkoitus siirtyä tasaisesti ja hallitusti siipikiskolta risteuksen kärjelle ja toisinpäin. Risteuksen ja pyörän kestävyys kannalta on oleellista, että painon siirtyessä siipikiskolta risteuksen kärjelle, ovat kärjen ja siipikiskon kantopintojen leveydet yhtä suuret ja yhteensä vähintään arvon W (40 mm) suuruiset. Risteuksen kärkeä on siis madallettava niin, että se saavuttaa siipikiskon yläpinnan tason $-x$ mm kohdassa, jossa kärki on yläpinnastaan 20 mm leveä. Lisäksi on otettava huomioon pyörän kehän kartioikkuuden ja kehän ulkoreunan sisäreunaa jyrkemman viisteen (1:10 vs. 1:40) vaikutus risteuksen kärjen korkeustasoon.

Lisäksi on määritettävä risteyskappaleen suoran ja poikkeavan raiteen ja vastakiskon urien leveydet, pyörien laippojen sisäpintojen etäisyyden ja suoran raiteen ja vastakiskon urien sisäpintojen välisen etäisyyden erotus ts. kuinka paljon laippojen sisäreunojen ja urien sisäreunojen välissä on toleranssia. Samoin on määriteltävä ohjausleveys sekä risteyskappaleen että vastakiskon uran suhteen ja kun niiden leveys ja pyörän laipan sallittu minimileveys ovat ennalta määrätty, saadaan myös laippojen ulkoreunojen ja urien ulkoreunojen väliset toleranssit. Viitteen 18 mukaan ohjausleveyksien suuruudet eivät muutu, kun ristikko muutetaan matalauraisesta syväuraiseksi.

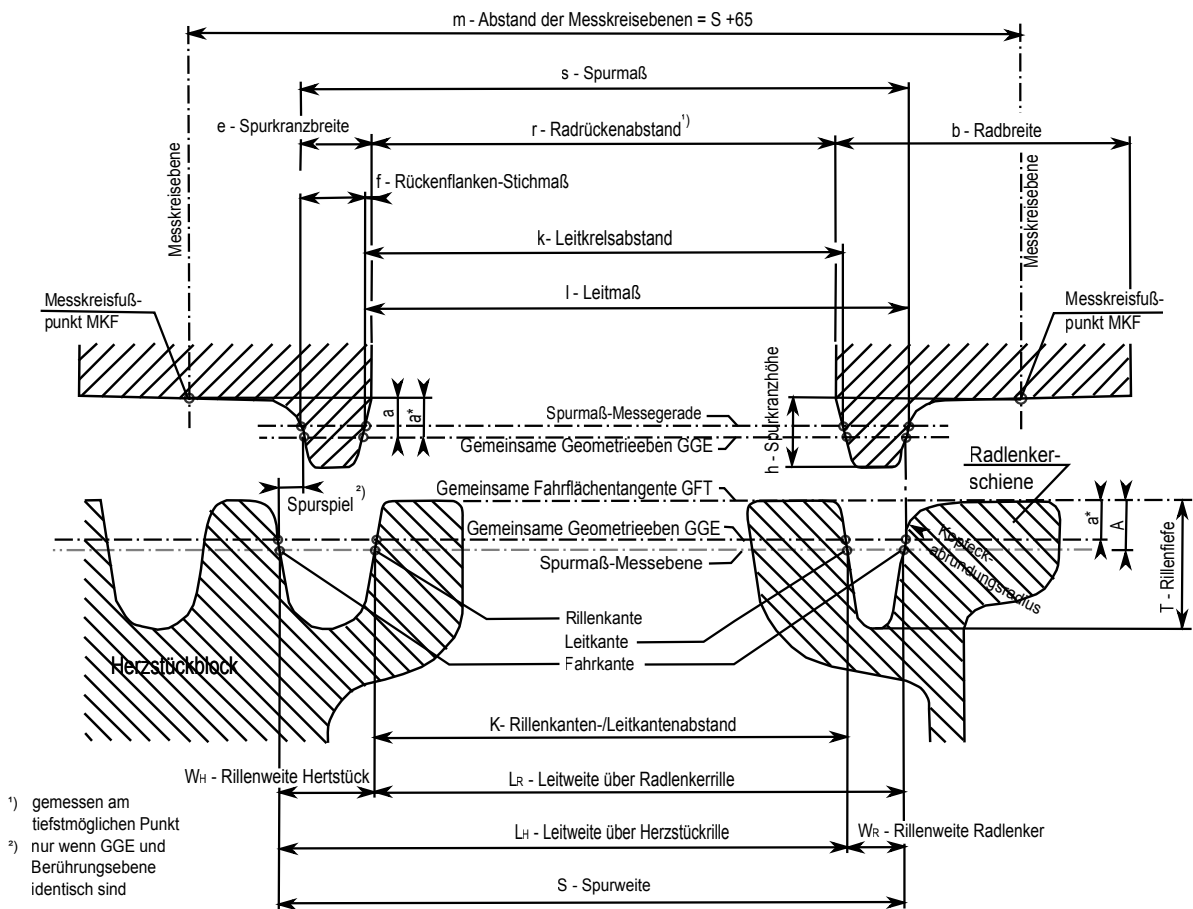
Risteuksen keskiosan mitat riippuvat kiskourien leveyksistä risteysalueella ja risteyskulmasta. Lisäksi on huomattava, ettei risteuksen kärkikappale ole terävä, vaan se on typistetty siten, että kärjen pää on 10 mm leveä Kuva 6, (18).

Lisäksi on ristikoita korjaushitsaaville työryhmille on annettava kunnossapitoon hiontaohjeet ja tulkit työn tekemistä varten. Muussa tapauksessa risteuksen ylityksestä syntyvän melun taso voi nousta yllättävästi. Jokainen risteys on hiottava eri tavalla, koska ylimenoalueen pituus on verrannollinen risteysuhteeseen (3).

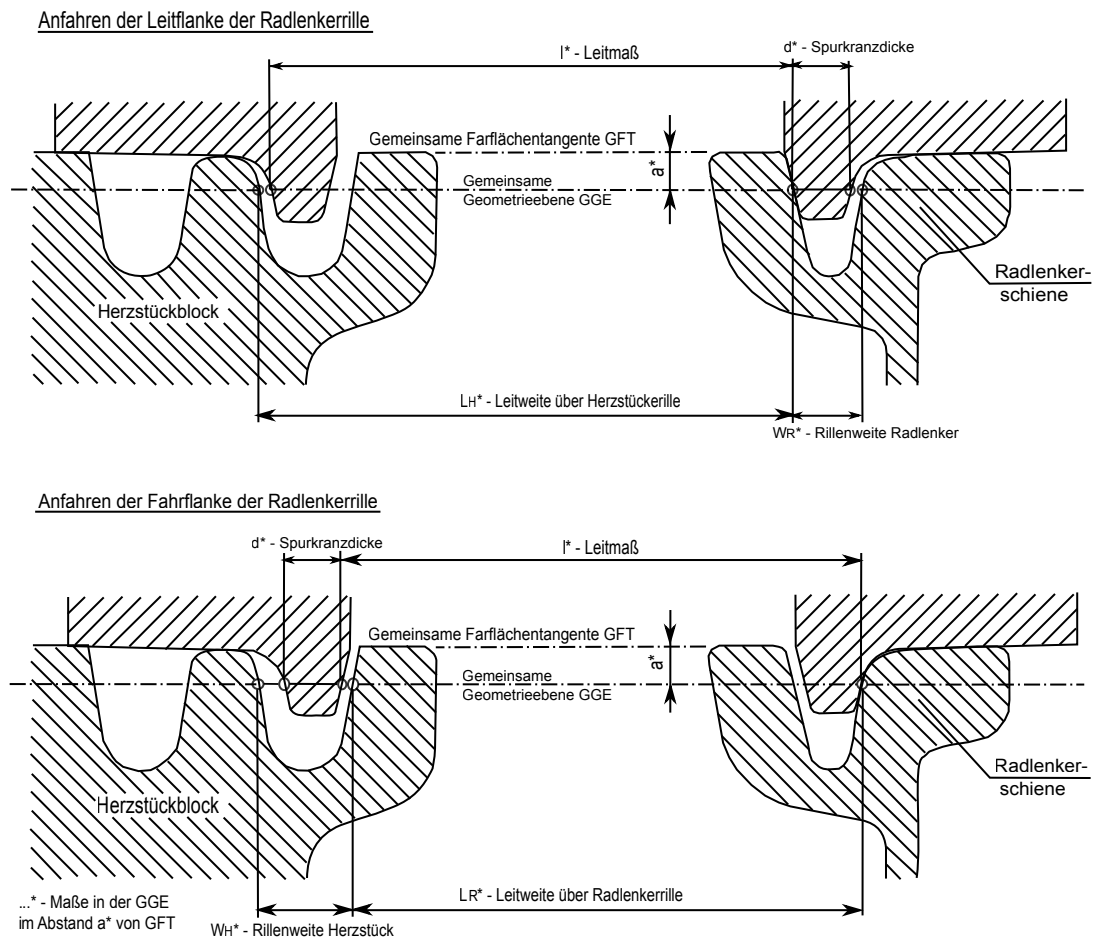


Kuva 1. Vaunun pyörien kulku syväuraisessa ristikossa. Punaisella on merkitty vaadittava pyörien levennys.

2 Mitat



Kuva 2. Pyörän ja yksikärkisen risteyskappaleen mittasuureet, (19).



Kuva 3. Pyöräkerran äärimmäiset sijaintivaihtoehdot risteysalueella yksikärkisessä risteyksessä ja tähän liittyvät mittasuureet, (19). Kuvasta käy ilmi miten vastakisko (kuvassa Radlenkerschiene) rajoittaa pyöräkerran sivuttaisliikettä estäen risteyskappaleen puoleisen pyörän laippaa osumasta risteuksen kärkeen. Kuvasta käy myös epäsuorasti ilmi, miksi vastakiskon puoleista laippauraa on kaivennettava normaalista mitasta.

Taulukko 1. Risteyskappaleiden mitoitus matala- ja syväuraisissa risteyksissä.

Urattyppi		Matala ura - Matala ura Leikkaus A-A Vaihde			Matala ura - Syvä ura Leikkaus A-B Vaihde				
Säde	Raideleveys	Ohjausleveys (Leitweite)	Uran leveys Tukikisko VDV (VS)	Uran leveys Kärkikisko	Säde	Raideleveys	Ohjausleveys (Leitweite)	Uran leveys Tukikisko VDV (VS)	Uran leveys Kärkikisko
R = 15	1001	972	29 (33)	35	R = 15	1001	972	29 (33)	35
R = 19	1000	973	27 (31)	33	R = 19	1000	973	27 (31)	33
R = 25	999	974	25 (29)	31	R = 25	999	973	26 (29)	31
R = 30	999	975	24 (27)	31	R = 30	999	974	25 (27)	31
R = 45	998	975	23 (24)	30	R = 45	998	974	24 (24)	30
R = 60	998	975	23 (24)	29	R = 60	998	975	23 (24)	29
R = ∞	998	976	22 (24)	29	R = ∞	998	975	22 (24)	28

KOKEELLINEN

Urattyypit

Syvä ura - Syvä ura
 Leikkaus A-A Vaihde

Säde	Raideleveys	Ohjausleveys (Leitweite)	Uran leveys Tukikisko VDV	Uran leveys Kärkikisko
R = 15	1004	972	32	38
R = 19	1003	973	30	36
R = 25	1001	974	27	33
R = 30	1001	975	26	33
R = 45	1000	975	25	32
R = 60	1000	975	25	31
R = ∞	1000	976	24	31

Kaareva raide

Rata Säde	Raideleveys
R = 15	1002
R = 19	1002
R = 25	1002
R = 30	1000
R = 45	1000
R = 60	1000
R = ∞	1000

 Raideleveys / Uran leveys
 Mittaustaso -10 m

Toleranssit (mm)

Raideleveys + 2 / -1

Uran leveys + 1 / -1

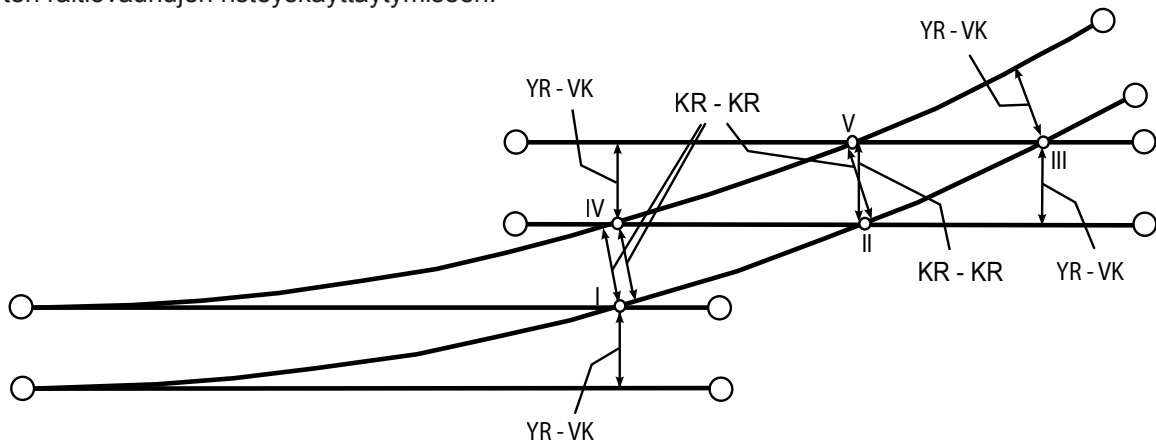
Leitweite + 3 / -0

Kärkikisko = Risteyskappale

Uria on levennetty 3 mm kaarresäteen ollessa alle 25 m, muuten 2 mm johtuen laipan vaatimasta suuremmasta tilasta sen kulkessa syvemmällä urassa. Sekä risteyskappaleen, että vastakiskon ohjausleveydet on pidetty ennallaan, joten raideleveys suurenee yhden uran levytyksen verran ulospäin risteyskärjestä katsottuna.

Ohjausleveys = Leitweite über Herzstückrille

Taulukoiden "Matala ura - Matala ura" ja "Matala ura - Syvä ura" lähde on (20), taulukon "Syvä ura - Syvä ura" mitat on alustavasti arvioitu lähteen (19) avulla. Kaikissa edellä mainituissa taulukoissa olevat mitat tullaan hankkeen kuluessa tarkistamaan laskemalla nämä mitat uudelleen trigonometri-an avulla siten kuin BOStrabin kisko-pyörä -ohjausta käsittelevissä teknisissä liitteissä ohjeistetaan, lähtökohtana pyörän laipan r-säteisessä kaarteessa tarvitsema tila verrattuna suoralla raiteella vaadittavaan tilaan. Jos saatavat tulokset eroavat nykyisin HKL-RAY:n käyttämistä mitoista, pyritään mahdollisuuksien mukaan selvittämään mistä erot johtuvat ja mikä merkitys niillä on HKL:n nykyisten raitiovaunujen risteyskäyttäytymiseen.



Kuva 4. Risteyskappaleiden mitoitus (19).

Rakenneperiaate:

Risteyskappale I - Yksikärkinen risteyskappale Mitoitusperiaate: Risteyskappale I – YR-VK/KR

Risteyskappale II - Kaksikärkinen risteyskappale Mitoitusperiaate: Risteyskappale II – KR/KR

Risteyskappale III - Yksikärkinen risteyskappale Mitoitusperiaate: Risteyskappale III – YR-VK/YR-VK

Risteyskappale IV - Yksikärkinen risteyskappale Mitoitusperiaate: Risteyskappale IV – YR-VK/KR

Risteyskappale V - Kaksikärkinen risteyskappale Mitoitusperiaate: Risteyskappale V – KR/KR

YR-VK – Yksikärkinen risteyskappale ja vastakisko

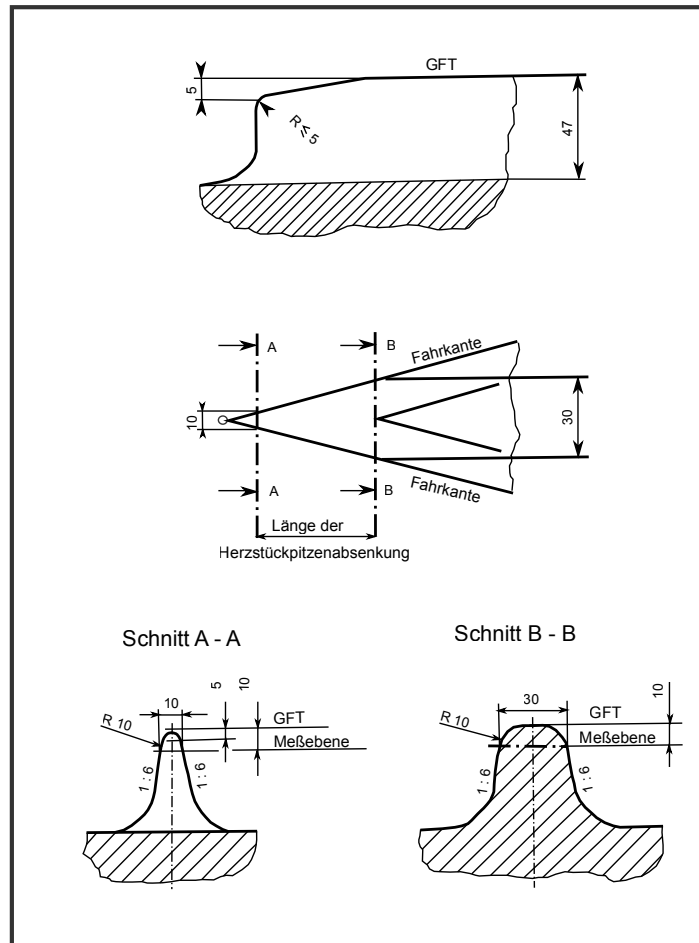
KR – Kaksikärkinen risteyskappale

Kaavan 1 selitys: Pyörän leveyden on kuluneenakin oltava kärkikappaleen molempien urien levyinen + mitta jonka laippa saa sisäreunaltaan kulua poikkileikkauksen suunnassa. Poikkeavan raiteen uran leveys ja puolet risteyksen kärjen leveydestä on huomioitava todellisena leveytenä, ei nimellis- leveytenä. Tästä johtuu kaavassa 1 termi $[(0,5 b_{R,H} + W_{H,Z,max}) / \cos \beta_H]$. Lisäksi on huomioitava, että mitat lasketaan samalta tasolta, kuin raideleveyden mittalinja on (-10 mm kiskon yläpinnan alapuolel- la). Risteyksen kärjen kantopinnan leveyden on erään lähteen mukaan oltava 20 mm siinä kohden, kun kärki alkaa kantaa osaansa pyörän painosta (21). Rakennusyksikön mukaan kärjen ja siipikis- kon kantopintojen pitäisi olla yhtä leveät siinä vaiheessa kun pyörän kuormituksesta osa siirtyy siipi- kiskolle, joten tämän perusteella myös siipikiskon kantopinnan minimileveys on 20 mm (3).

Lisäksi on risteyskappaleiden säännöllisillä tarkistusmittauksilla ja kunnossapidolla huolehdittava sii- tä, että erityisesti risteyskärkien kantopintojen leveys säilyy riittävänä ristikoiden kulumisesta huoli- matta.

Taulukko 2. Tarkastelu kaavan 1 antamista tuloksista 110 mm leveiden pyörien suurimmalle sallimal- le syväuraisen raideristeyksen risteyskulman arvolle riippuen muista lähtöarvoista. Erotuksen pitää olla suurempi kuin 0, jotta syväurainen risteys olisi sallittu. b_P on renkaan leveys, f_{max} on laipan sisä- reunan suurin sallittu kuluma pyörän poikkileikkauksen suunnassa, $W_{H,S,max}$ on suoran raiteen uran maksimileveys risteyksessä, $b_{R,H}$ on risteyksen kärjen kantopinnan sallittu minimileveys, $W_{H,Z,max}$ on poikkeavan raiteen uran maksimileveys risteyksessä, $\cos \beta_H$ on risteyskulman kosini ja $b_{R,F}$ on sii- pikiskon kantopinnan sallittu minimileveys. Kaikki muut mitat ovat millimetrejä, paitsi β_H on asteita.

Lähtöarvot									
b_P	110	110	110	110	110	110	110	110	110
f_{max}	6	3	3	5	3	4	4	6	3,5
W_{hs}	34	35	34	31	34	31	31	32	34
W_{hz}	29	29	34	29	29	29	29	32	29
b_{rh}	20	18	20	19	20	18	19	15	17
b_{rf}	20	18	20	19	20	18	19	15	17
β_h	39	39	39	35	32	39	49	39	39
Erotus	-10,2	-3,9	-13,6	-1,5	-3	-0,9	-12,2	-1,3	-1,3



Kuva 6. Syväurainen yksikärkkinen risteys (18).

Kuvaan 6 liittyvät mittasuureet

Oberbauhandbuch, Blatt 317-13 (26)

Syvän uran pohjan pyöristyssäde 8,5 mm.

OR 14.3.2 - Z 4, Blatt 5-6 (18)

Syvän uran syvyys 47 mm.

Uran reunojen kaltevuus 1:6

Ajoreunan (Fahrkante) puolen yläkulman pyöristyssäde 10 mm.

Ohjausreunan (Leitkante) puolen yläkulman pyöristyssäde 2 mm.

Mittalinja (Meßebene) -10 mm kiskon yläpinnan (GFT) alapuolella.

OR 14.3.2 - Z 4, Blatt 7-8 (18)

Risteyksen kärjen korkeus 47 mm.

Kärjen madallus tapahtuu sillä matkalla, jolla kärjen leveys muuttuu 10 mm -> 30 mm, kärjen madallus 5 mm.

Kärjen pään pyöristyssäde pitkittäissuunnassa 5 mm, kohdassa jossa kärjen leveys on 10 mm.

Kärjen pään pyöristyssäde poikittäissuunnassa 10 mm, kohdassa

jossa kärjen leveys on 10 mm.

Kärjen reunojen kaltevuus poikittaissuunnassa 1:6

Kärjen pää pyöristyssäde yksikärkisessä risteyskappaleessa ja kaksikärkisessä risteyskappaleessa ajoreunan puolella pitkittäissuunnassa 10 mm, kohdassa jossa kärjen leveys on 30 mm.

Kärjen pää pyöristyssäde kaksikärkisessä risteyskappaleessa ohjausreunan puolella pitkittäissuunnassa 2 mm, kohdassa jossa kärjen leveys on 30 mm.

Vastakiskon uran kavennuksen viiste vähintään 1:100 arvosta 36 mm (Ri60-kisko) arvoon WR

Risteyskappaleen uran kavennuksen viiste vähintään 1:100 arvosta 36 mm (Ri60-kisko) arvoon WH.

OR 14.3.2 - Z 4, Blatt 11 (18)

Kun ajoreunan kaarevuussäde on pienempi kuin 100 m ja risteyskulma pienempi kuin 30 gon (27°), on ajosuunnan vastaisiin ajo- ja ohjausreunoihin tehtävä 100 mm pitkät ja kärjestä 2 mm leveät viisteet pituussuuntaan (1:50). Muutoin ao. paikkojen mitat ovat OR 14.3.2 - Z 4, Blatt 7-8 mukaiset.

3 Kuormitus

Kiskon ja pyörän kontaktipinta voidaan approksimoida ellipsiksi. Kiskon ja pyörän kontaktipintaan kohdistuva normaalivoima lasketaan kaavalla 2

$$P_{max} = \sqrt{\frac{F_n * E}{\pi * d * b_{min} * (1 - \nu^2)}} \quad [2]$$

Jossa E on materiaalin kimmokerroin, ν on materiaalin poikittaisen venymä suhde pitkittäiseen kokoonpuristumaan, P_{max} on Hertzin paine, F_n on pyörän kiskon yläpintaan kohdistama normaalivoima, d on pyörän halkaisija ja b_{min} kontaktipinnan minimileveys.

Kun teräksen kimmokerroin $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ ja suppeuskerroin (Poissonin kerroin) $\nu = 0,3$ tiedetään ennalta, niin kontaktipinnan minimileveys riippuu pyörän halkaisijasta d , pyöräkuormasta F_n ja materiaalin määrästä suurimmasta sallitusta Hertzin paineesta P_{lim} kaavan 3 mukaisesti:

$$b_{min} = \frac{73456 * F_n}{d * P_{lim}^2} \quad [3] \quad (19)$$

Hertzin paineen P_{lim} on oltava tietyn kertoimen verran materiaalin raja-arvoa $R_{p0,2}$ pienempi, jotta vältetään suuret ja pysyvät plastiset muodonmuutokset. TR Sp:n liitteen 4 mukaan (19).

$$P_{lim} < 1,67 \cdot R_{p0,2} \quad [4]$$

4 Risteyskärjen materiaali

Työn kuluessa nousi esille myös risteyskärjen kestävyys iskevässä kuormituksessa. VR ja Rata-hallintokeskus ovat testanneet mangaaniteräksestä valmistettuja risteyskärkiä, mutta niiden kestävydessä on ollut ongelmia (3). Mangaaniteräksen käytössä kärjen materiaalina on myös se ongelma, että mangaaniteräksen liittäminen ferriittistä terästä olevaan sydänkappaleeseen edellyttää joko ruostumatonta terästä olevan levyn asentamisen eri teräslaatuja väliin tai elektronisuihkumenetelmän käyttöä hitsauksessa (3). Toisaalta Raitoliikenneyksiköltä saadun tiedon mukaan samaa laatua kiskoteräksen kanssa oleva kärkikappale olisikin kestävin vaihtoehto nimenomaan lyhytaikaisessa iskevässä kuormituksessa ja mangaaniterästä tarvittaisiin lähinnä sekä iskevää, että hankaavaa kulutusta sisältävässä käytössä, kuten kaivinkoneiden kauhojen huulilevyissä tai maansiirtoautojen lavamateriaalina (12).

Kärjen liittämiseen sydänkappaleeseen sopii hitsauksen perusaineeksi Raitoliikenneyksiköltä saadun tiedon mukaan parhaiten OK 83.28 (12).

