



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

MAIJA PITKÄNEN

LIIKENNEHAITAN MINIMOINTI TIESILTAHANKKEISSA
SILLANSIIRTOMENETELMÄLLÄ

Diplomityö

Tarkastajat: professori Jorma Mäntynen,
DI Jyrki Kataja

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Rakennetun ympäristön tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 12. tammikuuta 2011

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

PITKÄNEN, MAIJA: Liikennehaitan minimointi tiesiltahankkeissa sillansiirtomenetelmällä

Diplomityö, 101 sivua, 2 liitesivua

Helmikuu 2011

Pääaine: Liikennesuunnittelu

Tarkastajat: Professori Jorma Mäntynen, Diplomi-insinööri Jyrki Kataja

Rahoittajat: Tekes, Oy VR-Rata Ab

Avainsanat: Sillansiirtomenetelmä, tiesilta, liikennehaitan minimointi, liikenteen häiriöt, ajokustannukset, yhteiskuntataloudellisuus

Sillansiirtomenetelmä on vallitseva sillanrakennusmenetelmä rautateillä, mutta tiesiltahankkeissa menetelmää ei ole vielä hyödynnetty. Perinteisiin tiesiltojen rakennusmenetelmiin verrattuna menetelmän keskeisenä etuna on liikennehaitan minimointi viivytysten ja odotusten vähentämisen myötä, kun tiesiltahankkeissa perinteisesti käytettyä kiertotiejärjestelyä ei tarvitse käyttää. Lisäksi liikenne- ja työturvallisuutta pystytään parantamaan menetelmän avulla. Tässä työssä esitetään perustelut sille, miksi sillan sivussa-rakentamismenetelmän käyttö olisi järkevää myös tiesiltojen rakentamisessa.

Työssä esitellään sillanrakennuksen taustat kustannusten sekä rakentamiseen liittyvien haasteiden avulla. Sillanrakennuksen suurimmat haasteet liittyvät liikenteen hallintaan ja häiriöiden syntymiseen työmaalla sekä työmaan aiheuttamaan turvallisuustason heikkenemiseen. Näihin tekijöihin tulisi kiinnittää sillanrakennushankkeen yhteydessä nykyistä enemmän huomiota. Sillansiirtoon liittyvän tekniikan tunteminen on myös tärkeää, jotta sen soveltaminen tiesiltojen rakentamisessa olisi mahdollista. Teoreettisen näkökulman lisäksi sillansiirtotekniikan käytännön toteuttamiseen tutustutaan kolmen esimerkkihankkeen avulla.

Laskemalla ajoneuvo-, aika- sekä ympäristökustannukset voidaan huomata perinteisen tiesiltojen rakennusmenetelmän sekä sillansiirtomenetelmän erot. Kustannuslaskenta osoittaa sillansiirtotekniikan tuoman yhteiskuntataloudellisen edullisuuden. Kahden esimerkkihankkeen toteutuneen rakennusmenetelmän aiheuttamia kustannuksia verrataan vastaavaan hankkeeseen, missä rakentaminen olisi tehty sillansiirtotekniikkaa hyödyntäen. Sillansiirron hyödyt vaihtelevat riippuen hankkeen olosuhteista, joten esimerkkien lisäksi tarkastellaan myös erilaisten olosuhdemuutosten, kuten liikennemäärän ja kiertotien käyttöajan, vaikutusta eri sillanrakennusmenetelmien väliseen kustannuseroon.

Tutkimus vastaa työlle asetettuihin tavoitteisiin osoittamalla sillansiirtotekniikan kannattavuuden myös tiesiltojen rakennusmenetelmänä. Menetelmän käytön edellytyksenä tiesiltahankkeissa on liikennehaitan arvottaminen nykykäytäntöön verrattuna esimerkiksi ottamalla se huomioon yhtenä tarjousten valintaperusteena, mikä edellyttää nykyisen hankintamenettelyn muuttamista.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

PITKÄNEN, MAIJA: Minimizing the traffic disturbances in road bridge construction using bridge sliding

Master of Science Thesis, 101 pages, 2 Appendix pages

February 2011

Major: Transportation planning

Examiners: Professor Jorma Mäntynen, Jyrki Kataja M.Sc. (Tech.)

Funding: Tekes, Oy VR-Rata Ab

Keywords: Bridge sliding, road bridge, socio-economic costs, road traffic incidents, disruptions caused to road users, socio-economicality

Bridge sliding is a dominant way to build railway bridges, but yet it hasn't been used in road bridge construction. With bridge sliding the disruptions to traffic can be minimized by decreasing the waiting time and delays of traffic when there is no need to build a detour. That is the most fundamental advantage of bridge sliding compared to traditional road bridge construction methods. Also traffic and work safety can be improved by using this method. The arguments why bridge sliding would be a rational way to construct also road bridges are presented in this research.

In this research the basics of bridge construction are presented using the expenses and the challenges of bridge construction to identify the advantages that are related to bridge sliding. The biggest challenges of bridge construction are the management of traffic and the disruptions caused by roadworks and the lower safety level. These are the factors that should be paid more attention to when constructing bridges. It is also important to know the technique of bridge sliding to be able to adapt the technique to road bridge construction. Besides the theoretical point of view three practical examples are presented in this research.

By counting time, vehicle, environmental and accident costs the differences between traditional and bridge sliding technique are identified and the socio-economical inexpensiveness of bridge sliding can be presented. In this research the socio-economical benefits are shown using two road bridge construction project examples. The real expenses of these examples are compared to a similar case where the bridge would have been constructed using bridge sliding. The benefits of bridge sliding vary depending on the circumstances of the bridge project. Besides the examples, also the influence of circumstances variety like traffic volume and the usage time of the detour to the cost difference of the two bridge construction methods are examined.

This research reaches the goals that were set by showing the profitability of bridge sliding also as a road bridge construction method. The condition of using this method in road bridge construction projects is to value the disruptions caused to road users. These inconveniences can be taken into account in a tender which means that the current procurement has to be changed.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Oy VR-Rata Ab:n Megasiirto-yksikössä. Tutkimus kuuluu osana VR-Radan tutkimus- ja kehittämishankkeeseen *Häiriötön infrarakentaminen kilpailukytekijäksi*. Hanke toteutetaan yhteistyössä Tekesin kanssa, joka toimii myös rahoittajana tutkimushankkeessa. Työn tilaajana on toiminut Oy VR-Rata Ab. Tutkimuksen ohjaamiseen ovat osallistuneet DI Jyrki Kataja Oy VR-Rata Ab Megasiirrosta sekä professori Jorma Mäntynen Tampereen teknillisestä yliopistosta.

Haluan kiittää erityisesti työn ohjaajaa Jyrki Katajaa, jonka omistautuminen työlle ja sen ohjaamiselle on ylittänyt odotukseni. Kiitos Jyrkille myös mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta sekä lukuisista tekniikkaan ja asiasisältöön liittyvistä opetustuokioista ja neuvoista. Suuret kiitokset myös professori Jorma Mäntyselle arvokkaista neuvoista sekä asiantuntevasta ohjauksesta. Lisäksi esitän kiitokseni myös muille työhön osallistuneille henkilöille, jotka ovat asiantuntemuksellaan ja vankalla ammatillisella kokemuksellaan antaneet panoksensa työn sisältöön.

Kiitos kuuluu myös ystäville, perheelle ja erityisesti Mikalle, jonka tuki ja kannustus on korvaamatonta.

Tampereella 27.10.2010

Maija Pitkänen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Taustaa	1
1.2	Tavoitteet ja rajaukset.....	1
1.3	Työn suoritus ja rakenne.....	2
2	SILLANRAKENNUKSEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ	4
2.1	Sillanrakennuksen nykytila Suomessa	4
2.1.1	Tiesillat.....	4
2.1.2	Rautatiesillat.....	6
2.2	Sillanrakennukseen liittyvät haasteet.....	8
2.2.1	Työnaikainen liikenne	8
2.2.2	Liikenteelle aiheutetut häiriöt	11
2.2.3	Turvallisuus.....	12
2.3	Siltahankkeiden kustannukset	15
2.4	Sillansiirtomenetelmän hyödyntäminen nykypäivänä	17
2.4.1	Syitä ja taustaa sillansiirtomenetelmän kehittämiseksi.....	17
2.4.2	Menetelmän käyttö rautatiesiltojen rakentamisessa.....	18
2.4.3	Sillansiirtomenetelmän mahdollisuudet tiesiltojen rakentamisessa	19
2.5	Sillansiirtomenetelmän kansainvälinen näkökulma	20
2.5.1	Yleistä	20
2.5.2	Case Oxford	21
2.5.3	Case Korea	21
3	SILLANSIIRTOMENETELMÄ	23
3.1	Sillansiirtotekniikan kehitys Suomessa	23
3.2	Sillansiirtotekniikkaan liittyvät työvaiheet.....	25
3.2.1	Yleistä	25
3.2.2	Perinteinen sillansiirtomenetelmä	25
3.2.3	Jumbopalkki-menetelmä	31
3.3	Sillansiirtotekniikalla toteutetut rautatiesillat	32
3.3.1	Tittarajärven alikulkusilta	32
3.3.2	Kovalan alikulkusilta	34
3.3.3	Hipin alikulkusilta.....	35
3.3.4	Yhteenveto siirrettävistä rautatiesilloista	36
3.4	Sillansiirtotekniikan käyttö tiesiltojen rakentamisessa	37
3.4.1	Erot rautatiesiltojen rakentamiseen verrattuna.....	37
3.4.2	Sillansiirron aikataulu tiesiltahankkeessa	38
4	SILLAN SIVUSSARAKENTAMISMENETELMÄN SOVELTAMINEN TIESILTOIHIN	40
4.1	Tiesiltahankkeiden kustannusvaikutukset	40
4.1.1	Yleistä	40
4.1.2	Kustannuslajit.....	41

4.1.3	Tienkäyttäjä.....	48
4.1.4	Tienpitäjä.....	48
4.1.5	Yhteiskunta ja ympäristö.....	49
4.1.6	Huomioitavaa kustannuslaskennassa	50
4.2	Case Suonenjoki	50
4.2.1	Hankkeen esittely ja taustatiedot.....	50
4.2.2	Toteutuneen rakennustavan aiheuttamat kustannukset ja liikennehaitta	53
4.2.3	Sillansiirron hyödyntäminen Suonenjoen siltahankkeessa	58
4.2.4	Rakennusmenetelmien vertailu	61
4.3	Case Eura.....	63
4.3.1	Hankkeen esittely ja taustatiedot.....	63
4.3.2	Toteutuneen rakennustavan aiheuttamat kustannukset ja liikennehaitta	65
4.3.3	Sillansiirron hyödyntäminen Euran siltahankkeessa.....	68
4.3.4	Rakennusmenetelmien vertailu	73
4.4	Olosuhdemuutosten vaikutustarkastelu	74
4.4.1	Yleistä	74
4.4.2	Case Suonenjoki.....	75
4.4.3	Case Eura	79
4.5	Sillan sivussarakentamismenetelmän käytön haasteita tiesiltojen rakentamisessa	82
4.5.1	Liikenteelliset eroavaisuudet tie- ja raideliikenteen välillä.....	82
4.5.2	Tiedotus.....	83
4.5.3	Työnaikainen kiertoreitti	84
4.5.4	Tilaaaja.....	85
4.5.5	Tekninen toteutus	85
5	TOIMENPIDESUOSITUKSET	86
5.1	Yleistä	86
5.2	Nykyisen hankintamenettelyn muuttaminen.....	87
5.3	Uuden hankintamenettelyn käyttö esimerkkihankkeissa	89
5.3.1	Suonenjoki	89
5.3.2	Eura	90
5.4	Siltatekniset toimenpiteet	90
6	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	91
	LÄHTEET	96
	LIITTEET.....	102

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Ajokustannukset: Ajokustannukset käsittävät ajoneuvo-, aika-, ympäristö sekä onnettomuuskustannukset, joiden avulla voidaan laskea tiehankkeiden yhteiskunnallisia kustannuksia.

Bonus-sanktio -järjestelmä: Järjestelmä, missä urakoitsija tekee lupauksen käytetyn mittarin suuruudesta. Toteutuksen mukaan urakoitsijalle maksetaan bonusta/peritään sakkoa riippuen lupauksen toteutumisesta.

Elinkaarikustannukset: Tässä tutkimuksessa elinkaarikustannuksista puhutaan sillanrakentamisen yhteydessä, joten elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan sillan koko elinkaarina aikana syntyviä kustannuksia. Sillan elinkaari alkaa sillan rakentamisesta ja päättyy purkamiseen.

Kiertoreitti: Kiertoreitti tarkoittaa tässä tutkimuksessa olemassa olevista teistä muodostuvaa reittiä, jota hyödynnetään sillan siirtämisen aikaisen liikennekatkon ajan.

Liikennehaitta: Liikennehaitalla tarkoitetaan kaikkia häiritseviä tekijöitä, joita esimerkiksi tietyömaa aiheuttaa liikenteelle. Liikennehaitta käsittää häiriötilanteet, jotka aiheutuvat muun muassa odotuksista ja viivytyksistä.

Sillansiirtomenetelmä: Sillansiirto tarkoittaa sillanrakennustapaa, missä silta rakennetaan väylän sivussa ja työnnetään sivusuuntaisesti paikoilleen. Menetelmästä käytetään myös nimeä sillan sivussarakentamismenetelmä.

TUKEFIN: TUKEFIN-konsepti on toimintamalli, jonka avulla pyritään parantamaan tuottavuutta ja innovatiivisuutta sekä vähentämään hukkatekijöitä osallistuvissa organisaatioissa sekä koko alan toimijaverkossa.

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Sillan sivussarakentamistekniikka eli sillansiirtomenetelmä on vallitseva sillanrakennustapa rautateillä. Yli 90 % uusista rautatiesilloista rakennetaan nykyisellä sillansiirtomenetelmällä. Aikaisemmin käytössä olleisiin menetelmiin verrattuna sillan sivussarakentamisen menetelmällä aiheutetaan vähemmän haittaa liikenteelle sekä saavutetaan parempi turvallisuus- ja laatutaso.

Tiesiltojen rakentamisessa sivussarakentamisen menetelmä ei ole vielä käytössä. Tiesiltahankkeissa yleisin rakennustapa on kiertotien käyttö, missä tien käyttäjät ohjataan työmaa-alueen ohi tilapäisen kiertotien kautta. Tyypillisesti sillan rakentaminen kestää muutamasta kuukaudesta jopa yli vuoteen, joten liikenteelle aiheutettu haitta on pitkäaikaisista. Kiertotiejärjestelyt heikentävät liikennevirran sujuvuutta ja aiheuttavat liikenteen käyttäjille viivytyksiä, odotuksia sekä liikenneturvallisuuden heikkenemistä. Hyödyntämällä sivussarakentamisen menetelmää tiesiltojen rakentamisessa voidaan vastata näihin liikenteellisiin haasteisiin ja minimoida liikennehaitan vaikutus.

Menetelmää ei ole vielä hyödynnetty tiesiltojen rakentamisessa eikä sen käyttöä ole aikaisemmin tutkittu perusteellisesti. Sillansiirtotekniikan käyttö tiesiltojen rakentamisessa on ollut esillä aiemminkin, mutta kattavan ja perusteellisen tutkimuksen puuttessa sekä osittain myös nykyisen hankintamenettelyn johdosta menetelmää ei ole vielä käytännössä sovellettu.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Päätavoitteena tutkimuksessa on tarkastella sillan sivussarakentamisen menetelmän käytön hyötyjä tiesiltojen rakentamisessa verrattuna tiesiltojen nykyisiin rakentamisen menetelmiin. Tutkimuksessa ei perehdytä sillansiirtotekniikan hyödyntämiseen katusiltojen rakentamisessa, sillä kaupunkiympäristössä liikenteelliset sekä ympäristölliset olosuhteet eroavat maantieympäristöstä. Menetelmän avulla voidaan katusiltojenkin rakentamisessa saavuttaa etuja, joita tulisikin tulevaisuudessa erikseen tutkia. Tutkimuksen avulla pyritään vaikuttamaan tiesiltahankkeiden rakentamisen menetelmien laajentamiseen luomalla mahdollisuus uusien innovatiivisten rakennusmenetelmien kehittämiseen tiesiltojen rakennushankkeiden yhteydessä. Uusien innovaatioiden avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä yhteiskunnallisesta näkökulmasta.

Tiesiltahankkeissa ei nykykäytännön mukaan tarjous- ja toteutusvaiheessa oteta huomioon liikenteelle aiheutuvia viivytyksiä ja odotuksia. Tutkimuksen avulla pyritään muuttamaan tätä ajatusmaailmaa vastaavaan suuntaan kuin ratasiltojen rakennushankkeissa on jo käytössä. Tiesiltaurakoissa tulisi ottaa käyttöön kokonaistaloudellisempi ajattelutapa nykyiseen, investointikustannuksia painottavaan tapaan verrattuna. Rakennushankkeissa tulisi arvottaa tienkäyttäjälle aiheutuvaa liikennehaittaa eli rakentamisen tulisi tapahtua asiakkaan ehdoilla.

Tutkimuksessa tarkastellaan sillan sivussarakentamismenetelmän hyötyjä verrattuna perinteisiin tiesiltojen rakentamismenetelmiin liikennehaitan, liikenneturvallisuuden sekä ympäristön näkökulmasta. Lisäksi työn tavoitteena on löytää raja-arvoja liikennemäärälle, jolloin sillansiirtomenetelmä on perinteistä sillanrakennusmenetelmää kannattavampi ja kokonaistaloudellisesti edullisempi.

1.3 Työn suoritus ja rakenne

Tutkimuksessa tarkastellaan sillansiirtomenetelmän kannattavuutta tiemaailmassa liikennehaitan, turvallisuuden sekä ympäristön näkökulmasta. Näihin eri tekijöihin pohjautuen tehdään kustannusvertailuja perinteisen sillanrakennustavan sekä sillan sivussarakentamismenetelmän välillä. Kun kustannuslaskenta tehdään ottaen huomioon tienkäyttäjät sekä ympäristö, saadaan kustannukset laskettua yhteiskuntataloudellisella tavalla. Kustannusten kohdistumisessa otetaan huomioon tienkäyttäjän sekä tienpitäjän näkökulma, sillä eri osapuolille kohdistuvat kustannukset eroavat toisistaan. Kirjallisen tiedon lisäksi tutkimuksen suorituksessa käytetään myös joitakin asiantuntijahaastatteluja tiedon syventämiseksi.

Johdannon jälkeen, ennen varsinaista tutkimusta, luvussa kaksi esitellään sillanrakentamisen toimintaympäristö. Luku sisältää katsauksen tie- ja rautatiesiltojen nykyiseen rakennustilanteeseen. Lisäksi luvussa esitetään sillanrakennukseen liittyviä ongelmia sekä kustannuksia. Myös sillan sivussarakentamismenetelmän hyödyntämistä nykypäivänä niin Suomessa kuin ulkomaillakin sekä menetelmän etuja esitellään tässä luvussa. Luvussa kolme esitetään tarkemmin nykyisen sillansiirtomenetelmän tekniikka sekä käytännön toteutus. Tässä tukena toimii myös kolme kesän 2010 aikana sillansiirtomenetelmällä rakennettua rautatiesiltaesimerkkiä, joiden avulla havainnollistetaan käytännössä tekniikan käyttöä sillanrakennusmenetelmänä. Tekniikan käytännön soveltamista myös tiesiltojen rakentamisessa sekä työvaiheiden eroavaisuuksia käsitellään tässä luvussa. Luvussa kerrotaan myös nykyisen sillansiirtotekniikan historiasta sekä siihen liittyvistä kehitysvaiheista.

Varsinaisen tutkimuksen sisältö ja analysointi esitellään luvussa neljä. Luvussa on kerrottu myös teoreettinen tausta sekä yksikköarvot tutkimuksessa käytetyille laskelmille. Tutkimus on suoritettu tiesiltaesimerkkien avulla ja analysoitu sillansiirtomenetelmän soveltumista näihin esimerkkeihin. Tiesiltaesimerkit ovat kesän 2010 aikana raken-

teilla olleita siltahankkeita. Analysointi on suoritettu kustannuslaskelmien avulla hyödyntäen liikennehaitta-, turvallisuus- sekä ympäristönäkökulmaa. Kahden käytännön esimerkin lisäksi sillansiirtomenetelmän käyttöä tutkitaan teoreettisten tapausten avulla, jotta menetelmän käyttömahdollisuuksista saadaan kattavampi käsitys. Lisäksi tässä luvussa on esitetty haasteita, joita esiintyy tiesiltojen rakentamisessa käytettäessä sillan sivussarakentamismenetelmää. Ennen tutkimuksen yhteenvetoa on luvussa viisi esitetty toimenpidesuosituksia ja tulevaisuuden kehitysideoita, joiden tarkoituksena on kertoa, kuinka tutkimuksen tuloksia voisi ja tulisi jatkossa hyödyntää ja millaisia käytännön toimenpiteitä tulisi suorittaa.

2 SILLANRAKENNUKSEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

2.1 Sillanrakennuksen nykytila Suomessa

2.1.1 Tiesillat

Vuoden 2009 alussa Tiehallinnolla oli hallussaan noin 14 600 siltaa, joista putkisilloja oli noin 3000. Taulukossa 2.1 on esitetty muun muassa tiesiltojen lukumäärä sekä muita siltojen tunnuslukuja. Suurin osa, noin kaksi kolmasosaa, silloista sijaitsee maanteillä. Yksi kolmasosa sijaitsee paikallisteillä sekä muilla teillä. Muilla teillä tarkoitetaan tässä yhteydessä pääasiassa kevyen liikenteen väyliä, rampeja sekä rakenteilla olevia teitä. Viimeisten vuosien aikana siltojen määrä ei ole kasvanut yhtä merkittävästi kuin aiempina vuosikymmeninä, sillä uusia siltoja rakennetaan nykyään pääasiassa moottoritiehankkeiden sekä lossien poiston yhteydessä. Viime vuosien ajan on rakennettu keskimäärin vain noin 100 uutta siltaa vuosittain, sillä pääpaino on siirtynyt uusien siltojen rakentamisesta siltojen korjaukseen. Vuosi 2008 oli poikkeuksellinen, jolloin rakennettiin 227 uutta siltaa. Sillanrakennus oli Suomessa runsaimmillaan 1960- ja 1990-lukujen välillä, jolloin vuodessa rakennettiin jopa 250 uutta siltaa. Kokonaisuudessaan tiesiltojen lukumäärä on viimeisen 40 vuoden aikana noin puolitoistakertaistunut. (Tiehallinto 2008a; Tiehallinto 2009)

Taulukko 2.1 Tiesiltojen tunnusluvut. (Liikennevirasto 2010d; Tiehallinto 2009)

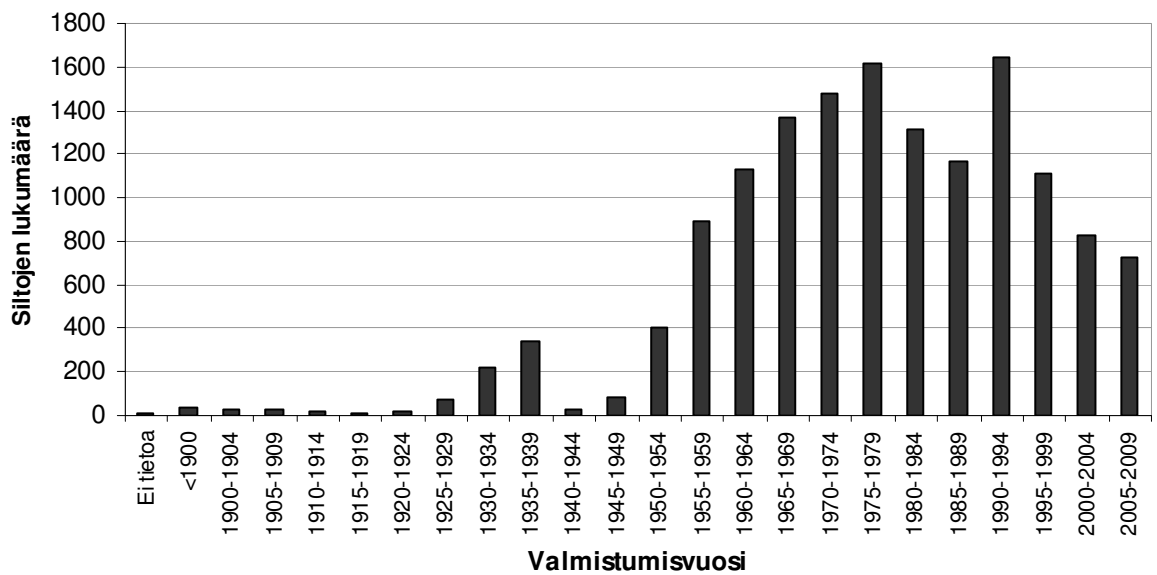
Siltapaikkoja yhteensä	Tiesiltoja 14 565, joista putkisilloja 3078
Siltojen keski-ikä	noin 33 vuotta
Siltapituus yhteensä	368 km
Keskimääräinen jännemitta	11 m
Rakennusaineet	Teräsbetoni 59 %, teräs 27 % jännebetoni 8 %, muut 6 %
Sillaston uushankinta-arvo	6000 Milj. euroa

Suomessa on käytössä siltojen kuntoluokituksessa viisiportainen asteikko, jonka avulla kuvataan siltojen ylläpitotarpeita. Kuntoluokat voidaan jakaa seuraavasti:

- Erittäin hyvä - ei ylläpitotarpeita
- Hyvä - vähäistä kunnostusta

- Tyydyttävä - peruskorjaus tulossa
- Huono - peruskorjaus nyt
- Erittäin huono - peruskorjaus myöhässä.

Suomen siltojen kunto heikkenee jatkuvasti, vaikka edelleen suurin osa Suomen siltakannasta on kuntoluokissa hyvä tai erittäin hyvä. Tyydyttävässä kuntoluokassa olevien siltojen määrä kasvaa, mutta huono- ja erittäin huonokuntoisten siltojen osuus on pienentynyt pääteillä. Pääteiden suurista silloista jopa noin 40 % (62 kappaletta) on jonkinlaisessa korjaustarpeessa eli kuuluu luokkiin tyydyttävä, huono tai erittäin huono. Suomessa 1960- ja 1970-luvuilla rakennetut sillat, joita Suomen silloista on suuri osa, ovat tulleet peruskorjausikään. Niukan rahoituksen vuoksi siltoja ei voida korjata vuosittain tarvittavaa määrää, mikä heikentää osaltaan siltojen kuntoa. Tilanne on kuitenkin parantunut 1990-luvun jälkeen, jolloin rahoitus ei vastannut korjaustarvetta ja syntyi korjausvelkaa. Nykyään siltojen korjauksiin käytetty rahoitus on huomattavasti lähempänä rahoitustarvetta. Siltojen kuntoa tarkkaillaan noin viiden vuoden välein tehtävillä yleistarastuksilla, joiden tulokset tallennetaan siltarekisteriin. (Tiehallinto 2007b; Tiehallinto 2008b; Tiehallinto 2009)



Kuva 2.1 Suomen tiesiltojen ikäjakauma vuonna 2009. (Tiehallinto 2009)

Suomen siltakanta on pääasiassa melko iäkstä; noin kolmasosa silloista on rakennettu ennen 1970-lukua. Yli 100 vuotta vanhoja siltoja on Suomessa lähes sata. Tästä syystä Suomessa keskitytään nykyään pääasiassa olemassa olevan siltakannan korjaamiseen uuden rakentamisen sijaan. Kuvassa 2.1 on esitetty Suomen siltojen ikäjakauma vuonna 2009. Vuonna 2008 Suomessa toteutettiin noin 1500 sillankorjaustoimenpidettä. Tärkeimmät korjauskohteet ovat vedeneristykset ja päällysteet sekä teräsrakenteet. Myös betonirakenteita sekä siltaan liittyviä rakenteita korjataan useista sadoista silloista vuosittain. Vuonna 2008 korjattiin yhteensä lähes 800 siltaa. Suurimmalle osalle näistä silloista tehtiin ylläpitokorjaus ja osalle peruskorjaus. Korjaustoimenpiteiden tilastointi

tierekisteriin on kuitenkin puutteellista, joten korjausmäärät eivät ole totuudenmukaisia. Tilastoinnin puutteesta kertoo myös siltojen korjauksiin käytettävien kustannusten suuri ero tiepiirien ilmoitusten ja siltarekisterin välillä. Vuonna 2008 tiepiirien ilmoittama siltojen ylläpitoon käytetty summa oli yli kaksinkertainen siltarekisteriin kirjattuun verrattuna. Tiepiirien ilmoittama summa tiesiltojen korjaukseen vuonna 2008 oli runsas 50 miljoonaa euroa. (Tiehallinto 2009)

2.1.2 Rautatiesillat

Rautatiesiltoja oli vuoden 2009 lopussa Suomessa noin 2 300 kappaletta. Lisäksi radan ylittäviä siltoja oli noin 900. Noin 1 200 rautatiesilloista on eritasoristeyksien alikulkuiltoja ja muut esimerkiksi vesistösiltoja. Siltarekisteriin merkittiin vuonna 2009 33 uutta siltaa, joista osa on uusia siltakansia tai kansien levityksiä. Rautatiesiltojen kunnossapidosta vastaa ja omistaa pääasiassa Liikenneviraston rautatieosasto. Radan ylittävät sillat omistaa yleisillä teillä Liikenneviraston tieosasto ja muilla tieosuuksilla rautatieosasto, kaupunki, kunnat tai yksityiset henkilöt. (Ratahallintokeskus 2009c; Liikennevirasto 2010c)

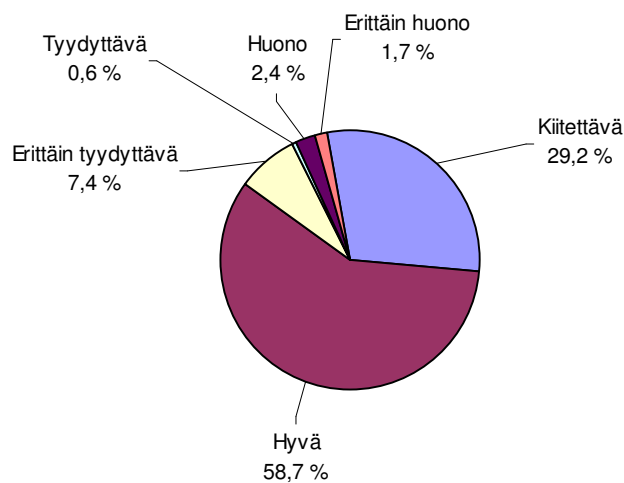
Rautatiesiltojen kansirakenteiden keski-ikä on noin 39 vuotta. Siltojen alusrakenteiden keski-ikä poikkeaa kansirakenteiden iästä melko runsaasti kansien uusimisen vuoksi. Alusrakenteiden keski-ikä on noin 50 vuotta. Suomen rautatiesilloista noin 4 % on luokiteltu kuuluvaksi kuntoluokkiin huono tai erittäin huono. Luku on parantunut viimeisten vuosien aikana, mutta vuonna 2009 ei muutoksia juurikaan tullut. Voidaan siis sanoa, että siltojen kunnan kehitys on hidastunut tai jopa pysähtynyt. On kuitenkin myös huomattava, että valtaosa, noin 90 %, rautatiesilloista kuuluu kuntoluokkiin hyvä tai kiitettävä. Taulukossa 2.2 on esitetty Suomen rautatiesiltojen tunnusluvut. (Liikennevirasto 2010c)

Taulukko 2.2 Rautatiesiltojen tunnusluvut. (Liikennevirasto 2010c)

Siltapaikkoja yhteensä	Rautatiesiltoja 2297, joista pääradoilla 2018 Rautatien ylittäviä siltoja 870, joista pääradoilla 769
Siltojen keski-ikä	38,6 vuotta
Siltapituus yhteensä	53,0 km (jännemittojen summa)
Keskimääräinen jännemitta	12,5 m
Rakennusaineet	Teräsbetoni 66 %, teräs 15 % jännebetoni 8 %, muut 11 %
Sillaston uushankinta-arvo	1350 Milj. euroa

Suomen rautatiesiltojen korjausvelka kasvaa jatkuvasti ja suuri osa silloista tarvitseekin lähivuosina peruskorjauksen. Vanhoilla rautatiesilloilla on nykyään myös useita toimin-

nallisia puutteita, jotka rajoittavat siltojen käyttöä. Tyypillisesti puutteet johtuvat sillan liikenneteknisistä mitoista tai rajoittavat akselipainojen sekä junanopeuksien nostamista. Nykyään siltojen huono kunto on usein rajoittava tekijä nopeuksien ja akselipainojen nostamisessa, joten siltoja tulisi korjata jopa alkuperäistä parempaan kuntoon. Ratasiltojen kunnossapidon ongelmana on pääosin siihen käytettävän rahamäärän suurus. Radanpitoon käytettävästä vuosittaisesta rahamäärästä käytetään vain noin kaksi prosenttia siltojen kunnan ylläpitoon. Kokonaisinvestoinnit rautatiesiltoihin ovat olleet viime vuosina noin 6-7 miljoonaa euroa. Jotta kaikki huonokuntoisimmat sillat voitaisiin korjata, olisi vuosittainen rahoitustarve noin 8-9 miljoonaa euroa. Kaikki rautatiesillat korjattaisiin noin 80 miljoonalla eurolla. Rautatiesiltojen kuntojakauma on esitetty kuvassa 2.2. (Liikennevirasto 2010c; Tompuri 2007)



Kuva 2.2 Rautatiesiltojen kuntojakauma. (Liikennevirasto 2010c)

Tasoristeyksiä on Suomen rautateillä noin 3 400, joista varoituslaitteilla varustettuja on vain runsaat 700. Yleisin syy uusien rautatiesiltojen rakentamiseen on rataosuuksien perusparannus, jolloin tasoristeys korvataan sillalla. Tasoristeyksessä suurin sallittu junanopeus on 140 km/h, joten nopeuksien nostoon tähtäävät perusparannukset johtavat väistämättä tasoristeysten poistoon. Tasoristeyksiä poistetaan Suomessa keskimäärin 50 kappaletta vuodessa. Viime vuosina tasoristeyksiä on kuitenkin poistettu tavallista runsaammin perusparannustöiden yhteydessä. Ratahallintokeskuksen vuonna 2007 laatimassa tasoristeysstrategiassa painotetaan turvallisuuden aktiivista parantamista. Tasoristeysten poistaminen aloitetaan ensisijaisesti olosuhteiltaan vaarallisiksi määritellyistä tasoristeyksistä. Erityisen vaaralliseksi tasoristeuksen tekee esimerkiksi suuret liikennemäärät tai hankalat maasto-olosuhteet, mikä useimmiten käytännössä tarkoittaa heikkoa näkyvyyttä. Tasoristeykset ovat yksi merkittävimmistä vaaratekijöistä rautateillä ja siksi niiden poistamiseen ja turvallisuuden parantamiseen kiinnitetään erityistä huomiota. Vuosittain tapahtuu tasoristeysonnettomuuksia keskimäärin muutama kymmenen,

joissa menehtyy noin kymmenen henkilöä vuosittain. (Liikennevirasto 2010e; Ratahallintokeskus 2007)

2.2 Sillanrakennukseen liittyvät haasteet

2.2.1 Työnaikainen liikenne

Siltahankkeiden suunnittelun ja toteuttamisen kannalta yksi haastavimmista tehtävistä on liikenteen hallinta työn aikana. Liikenteen hallinta tapahtuu käytännössä työkohteen tilapäisten liikennejärjestelyjen sekä liikenteenohjauksen avulla. Työmaajärjestelyt haittaavat aina sen läpi kulkevaa liikennettä, vaikka suunnittelu ja toteutus tehtäisiin huolellisesti. Koska liikenteelle aiheutettua haittaa ei voida kokonaan poistaa, on sen minimoimiseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Työnaikaisen liikenteen hallinnan avulla voidaan vaikuttaa merkittävästi liikenteelle aiheutettuun haittaan sekä työmaalla syntyviin vaaratilanteisiin. Tie- ja rautatieliikenne ovat luonteeltaan hyvin erilaisia, joten myös työnaikaisen liikenteen hallinnan keinot eroavat toisistaan.

Liikenteen hallinnan tavoitteet ovat kuitenkin samat liikennemuodosta riippumatta. Työnaikaisilla liikennejärjestelyillä pyritään turvaamaan liikenteen sujuvuus tarpeetonta haittaa aiheuttamatta. Lisäksi keskeisiä tekijöitä liikenteen hallinnassa on liikenteen ja työntekijöiden turvallisuuden takaaminen sekä liikenteen varoittaminen työmaasta. Tärkein tekijä työnaikaisen liikenteen hallinnan onnistumisessa on suunnittelu. Väliaikaiset liikennejärjestelyt tulee aina olla huolella suunniteltu, jotta liikenteen häiriöt saadaan minimoitua. Suunnitelmat tulee toteuttaa käyttäen hyväksytyjä ohjeita, jotka on määritelty erikseen eri liikennemuodoille. (Tiehallinto 2003c)

Tiesillat

Tieliikenne ei ole sidottu käyttämään vain yhtä tiettyä väylää, mikä antaa tietyömailla liikenteen hallinnalle enemmän mahdollisuuksia rautatieliikenteeseen verrattuna. Tieliikenteessä työkohde on helposti kierrettävissä vaihtoehtoisia reittejä käyttäen. Toisaalta tämä tieliikenteen ominaispiirre on myös riskitekijä tieliikenteessä ja erityisesti työmaalueilla.

Tiesiltahankkeissa, joissa silta joudutaan rakentamaan liikennöidylle väylälle, yleisin liikenteen hallinnan ratkaisu nykytilanteessa on työnaikaisen kiertotien rakentaminen sillanrakennustyömaan ohi. Yleisesti siltatyömaan kesto on useista kuukaudesta jopa yli vuoteen, joten myös kiertotiejärjestely on käytössä koko tämän ajan. Joissakin tapauksissa kiertotien sijainti voi muuttua työmaan rakennusvaiheista riippuen jopa useita kertoja. Liikenteen normaaliin tilanteeseen verrattuna kiertotie aiheuttaa tiessä geometriamuutoksia, joista johtuen nopeusrajoituksia joudutaan usein alentamaan. Kiertotiejär-

jestelyt vaativat usein myös erilaisia liikenteen ohjauslaitteita, joiden tarve arvioidaan tilanteen mukaan. Mahdollisia ohjauslaitteita ovat muun muassa liikennevalo-ohjaus, betoniaidat ja muut turvalaitteet. Lisäksi maan lunastaminen voi olla tarpeen kiertotietä varten. Koska Suomen tieverkko on paikoin hyvinkin tiheä, voidaan toiselle tielle ohjaavaa kiertotiejärjestelyä myös hyödyntää joissakin tilanteissa. Tällaisessa tapauksessa tulee huomioida korvaavan kiertotien välityskyky, ajokelpoisuus ja liikenneturvallisuus. (Tiehallinto 2005d)

Yksi käytössä oleva työnaikaisen liikenteen hallinnan keino on kaistojen osittainen sulkeminen työmaan kohdalta ennalta sovitulla tavalla. Tällainen menettely soveltuu hyvin lyhytkestoisille tai liikkuville työmaille, mutta myös esimerkiksi siltatyömaille vähäliikenteisemmällä väylillä. Kaistojen sulkemisen yhteydessä voidaan urakoitsijalta periä maksua esimerkiksi päivä- tai tuntihinnan mukaan kaistan sulkemisesta. Kaistavuokra-ajattelun avulla saadaan minimoitua liikenteelle aiheutettua haittaa, kun kaistat ovat suljettuna mahdollisimman lyhyen ajan. Liikenteelle aiheutettu haitta vähenee, kun urakoitsija pyrkii toteuttamaan liikennettä häiritsevät toimenpiteet mahdollisimman nopeasti sekä suorittaa toimenpiteet liikennettä mahdollisimman vähän haittaavana ajankohtana. Kaistavuokraa perittäessä täytyy liikenteen saamien hyötyjen kustannus olla suurempi kuin urakoitsijalle aiheutunut suunnittelu- ja urakointikustannusten kasvu. Tämän vuoksi maksua ei usein vähäliikenteisillä tieosilla peritä, vaikka kaistojen sulkemismenettelyä käytettäisiinkin. (Tiehallinto 2005a)

Työnaikaisessa liikenteen hallinnassa tieosuuden liikennemäärä toimii usein suunnittelun reunaehtona. Vilkkaasti liikennöidyillä pääväylillä liikenteen hallinta on huomattavasti haasteellisempaa verrattuna vähäliikenteisiin alemman tason väyliin. Liikennemäärästä riippuen myös liikenteen hallinnan toimenpiteet eroavat jossain määrin toisistaan. Pääväylillä liikenteenohjauslaitteiden tarve ja vaatimustaso ovat korkeampia. Liikennemäärän lisäksi myös liikenteen jakautuminen kevyisiin ja raskaisiin ajoneuvoihin saattaa vaikuttaa työmaan aikaisiin järjestelyihin. Erityisesti tulee ottaa huomioon erikoiskuljetusten asettamat vaatimukset pääteillä ja erikoiskuljetusreiteillä tehtävässä työssä. Myös hälytysajoneuvoille tulee taata asianmukaiset kulkuyhteydet työmaajärjestelyistä riippumatta. Liikenteen hallintaan vaikuttaa lisäksi tieosuuden nopeusrajoitus normaalitilanteessa. Nopeusrajoitus vaikuttaa liikenteenohjauslaitteiden tarpeeseen kuten liikennemääräkin. Lisäksi nopeusrajoitus määrää tien sallitut geometriamuutokset. (Tiehallinto 2005d)

Mikäli työnaikaisen liikenteen hallintaa ei ole suunniteltu ja toteutettu oikealla tavalla, aiheuttaa se ennen kaikkea kasvaneen turvallisuusriskin. Tämän vuoksi työmaiden liikenteen hallinta varmistetaan ennakkoon laadittujen liikenteenohjaussuunnitelmien avulla. Liikennejärjestelyjen toimimattomuus aiheuttaa myös tienkäyttäjien keskuudessa yleistä tyytymättömyyttä muun muassa ruuhkautumisesta ja epätietoisuudesta johtuen. Jotta liikenteen hallinta suoritettaisiin hankkeeseen parhaiten soveltuvalla tavalla, tulisi siltahankkeiden yhteydessä miettiä myös vaihtoehtoisia toteutustapoja ja niiden vaikutuksia liikenteeseen. Liikennemäärien kasvaessa ja tienkäyttäjien huomioon ottamisen myötä näiden ratkaisujen kehittäminen on välttämätöntä, jotta työnaikainen liikenne

pystytään järjestämään tienkäyttäjien odotusten mukaisesti. Suurilla liikennemäärillä työmaan liikenteelle aiheuttamat haitat voivat olla yhteiskunnallisilta kustannuksiltaan huomattavat, jolloin käytettyä sillanrakennustekniikkaa tulisi erityisesti miettiä. (Tiehallinto 2004b)

Rautatiesillat

Rautatieliikenne on luonteeltaan hyvin erilaista tieliikenteeseen verrattuna. Rautatieliikenteen tärkeimmät ominaispiirteet ovat aikataulutus sekä liikenteen sitovuus kiskoihin. Nämä tekijät rajoittavat merkittävästi työnaikaisen liikenteen hallinnan keinoja. Rautateillä on jo useita vuosikymmeniä sitten tiedostettu rakennushankkeiden aiheuttamat haitat rautatieliikenteelle ja nykyään sallitut haitat ovat hyvin vähäiset. Rautatiesilta-hankkeissa lähtökohtana on sillan rakentaminen junaliikenteen sujuvuuden ehdoilla. Liikennehaitan minimointi on aiheuttanut uusien työmenetelmien käyttöönottoa rautatierakentamisessa. Yksi esimerkki tällaisesta kehityksestä on rautateillä yleisesti käytössä oleva sillan sivussarakentamismenetelmä. Menetelmä on syrjäyttänyt sen edeltäjät rautatiesiltojen rakentamisessa juuri liikenteen hallinnallisista syistä. Oleellista tässä sillanrakennusmenetelmässä ja muissa radalla tehtävissä töissä on liikennekatkon pituuden minimointi.

Työn alla oleva rataosa joudutaan usein sulkemaan kokonaan liikenteeltä. Työnaikaisen liikenteen hallinnan keinoina toimii tällaisessa tapauksessa aikataulumuutokset tai toisen raiteen käyttö. Mikäli liikennettä ei voida hallita muilla keinoilla, viimeisenä keinona on vaihtoehtoisten liikennemuotojen käyttö. Rautateillä tyypillisesti työmaan ajaksi ei rakenneta väliaikaisia väistöraiteita, vaan liikenne hallitaan muita keinoja käyttäen. Toista raidetta voidaan hyödyntää useampiraiteisilla rataosuuksilla. Junaliikenne on aikataulutettua, joten rakennustöiden aikana joudutaan usein perumaan joitakin junavuoroja, mikäli toista raidetta ei ole käytettävissä. Mikäli junavuoro jouduttaisiin muuten perumaan kokonaan, voidaan tilalla käyttää linja-autokuljetusta. Peruutettujen junavuorojen määrään vaikuttaa liikennöintimäärä rataosalla sekä työmaan kestosta riippuen tarvittava liikennekatkon pituus.

Rautateillä työt toteutetaan junien ehdoilla, joten junien aikataulut tulee ottaa huomioon työnaikaisia liikennejärjestelyjä suunniteltaessa. Työt pyritään ajoittamaan niin, että junaliikenne häiriintyy mahdollisimman vähän. Liikennekatkoa vaativat rakennustyöt pyritään sovittamaan radalle junaliikenteen ollessa vähäisimmillään, mikä usein tarkoittaa viikonloppua tai yöaikaa. Joillakin rataosuuksilla aikataulu sallii pitkiäkin työskentelyaikoja ilman, että junavuoroja joudutaan muuttamaan tai perumaan. Junien aikataulujen ja rakennustöiden yhteensovittamisesta sekä junien kulun yleisestä sujuvuudesta vastaa liikenneviraston liikennekeskus. Hiljaisemmilla rataosuuksilla liikennekatko on usein helposti saatavissa aikataulujärjestelyillä kun taas Etelä-Suomen vilkkailla radoilla useiden tuntien liikennekatkot vaativat perusteellista suunnittelua.

Rautatieliikenteessä liikenteen hallinnan epäonnistuminen aiheuttaa kustannuksia niin henkilöliikenteessä kuin tavaraliikenteessäkin. Henkilöliikenteessä junavuoron pe-

ruuttaminen ilman korvaavaa yhteyttä aiheuttaa operaattorille kustannuksia sekä matkustajille yleistä tyytymättömyyttä. Junan korvaaminen muilla liikennemuodoilla aiheuttaa kustannuksia menetettyjen asiakkaiden kautta, joiden saaminen takaisin junamatkustajiksi on usein hankalaa. Asiakastyytyväisyyden kannalta oleellista on myös tiedottaminen junavuorojen muutoksista ajoissa. Tavaraliikenteessä rautatiekuljetukset ovat ehto teollisuuden logistiikkaketjun toimivuudelle. Useissa paperi- ja terästehtaissa ei ole käytössä varastoja, joten tehtaiden tuotanto on riippuvainen rautatiekuljetusten oikea-aikaisuudesta.

2.2.2 Liikenteelle aiheutetut häiriöt

Liikenteelle aiheutetut häiriöt työmaaympäristössä liittyvät vahvasti myös työnaikaisen liikenteen hallintaan. Tässä tarkastellaan kuitenkin häiriöitä omana, erillisenä haasteenaan, sillä työmaiden aiheuttamat häiriöt tieliikenteelle ja tienkäyttäjille jäävät usein työmaiden yhteydessä liian vähälle huomiolle. Väliaikaiset liikennejärjestelyt aiheuttavat työmaan luonteesta riippumatta aina liikenteelle häiriöitä, joiden minimoimiseen tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota.

Työmaa aiheuttaa tienkäyttäjille häiriötilanteita aina, mutta niiden vaikutukset riippuvat muun muassa työmaan koosta, kestosta sekä olosuhteista. Tienkäyttäjille aiheutuu häiriöitä esimerkiksi viivytyksistä, joita työmaalla esiintyy ruuhkautumisen, pysäyttämisen, alentuneen nopeuden, matkan pitenemisen sekä heikentyneen tien kunnan vaikutuksesta. Tyypillisesti tienkäyttäjät kokevat viivytykset epämiellyttävinä niiden aiheuttajasta riippumatta. Sujuvuus on yksi tärkeimmistä liikenteen tekijöistä, joita tienkäyttäjät arvostavat. Usein tienkäyttäjät ovat valmiita jopa kiertämään pidempää reittiä, mikäli näin voidaan taata matkan häiriöttömyys. Menetetyn ajan lisäksi häiriöt aiheuttavat tienkäyttäjille ajomukavuuden heikkenemistä. Ajomukavuutta on haasteellista arvottaa, mutta on selvää, että viivytykset vaikuttavat myös tienkäyttäjien kokemaan ajomukavuuteen. Ajomukavuuteen vaikuttaa myös tilapäisten liikennejärjestelyjen aiheuttama tien heikentynyt kunto. (Tiehallinto 2004b)

Työmaiden häiriötilanteet vaikuttavat tien fyysisten ja toiminnallisten ominaisuuksien muutosten kautta kaikkiin tieympäristön toimijoihin. Tässä yhteydessä korostetaan kuitenkin tienkäyttäjien kokemia häiriöitä, sillä juuri tienkäyttäjät ovat usein tiehankkeiden yhteydessä se ryhmä, jonka etua tulisi ajatella niin suunnittelu- kuin toteutusvaiheessakin. Häiriöiden vaikutukset tienkäyttäjiin vaihtelevat työmaan luonteesta riippuen. Tyypillisesti siltatyömaan kesto on joistakin kuukausista jopa yli vuoteen ja työmaalueen pituus muutamia satoja metrejä. Siltatyömaiden yhteydessä eniten häiriötä aiheuttavat alennettu nopeusrajoitus sekä kiertotien käyttö. Näiden häiriötekijöiden vaikutuksia tienkäyttäjiin voidaan arvioida laskennallisesti kasvaneiden ajokustannusten avulla, mutta sitä, kuinka tienkäyttäjät todellisuudessa kokevat viivytykset, on vaikea arvottaa. On selvää, että muuttuneet tiejärjestelyt ja viivytykset aiheuttavat tienkäyttäjien

keskuudessa yleistä tyytymättömyyttä, mihin voidaan vaikuttaa työmaajärjestelyiden sujuvuudella. (Tiehallinto 2004b)

Ennakoitavien häiriötilanteiden hallinnan keinoja on useita. Ennalta suunnittelu on keskeisin tekijä häiriönhallinnan onnistumisen kannalta. Suunnittelun avulla voidaan vaikuttaa niin liikenteenohjaukseen kuin työmaajärjestelyihinkin. Työmaajärjestelyjen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon myös hankkeen toteuttamisen tehokkuuden painottaminen sekä kannustin- ja sanktiomallien määrittäminen. Häiriönhallintaan voidaan siis vaikuttaa ratkaisevasti jo tarjousvaiheessa tilaajan määrittäessä vaatimukset sekä sallitut häiriöt liikenteelle. Kaistavuokra on yksi esimerkki työmaiden häiriönhallinnan minimointikeinoista. Esimerkiksi siltatyömailla tilaajan olisi mahdollista määrittää kaistavuokran suuruus kaistan sulkemiselle erilaisissa tilanteissa, jolloin urakoitsijaa kannustettaisiin toteuttamaan hanke mahdollisimman nopeasti sekä minimoiden kaistan sulke-
misten tarve. (Tiehallinto 2004b)

Tienkäyttäjien rooli tiehankkeiden suunnittelussa on kasvanut, mutta edelleen asiakaspalvelun suhteen on tietömaiden yhteydessä parannettavaa. Liikenteen häiriötilanteiden minimoinnin tulisi olla yksi keskeisimmistä suunnittelun reunaehdoista.

2.2.3 Turvallisuus

Turvallisuus on Liikenneviraston strategiassa yksi keskeisimmistä teemoista. Turvallisuutta pyritään jatkuvasti parantamaan erilaisten toimenpiteiden avulla. Turvallisuus työmailla voidaan jakaa liikenne- ja työturvallisuuteen. Tutkimusten mukaan työmaolosuhteet aiheuttavat heikkenemistä niin työ- kuin liikenneturvallisuudessakin. On myös tutkittu, että eniten vaaratilanteita aiheutuu muusta liikenteestä, eli työturvallisuuden kannalta tärkeässä osassa ovat muut liikenteen käyttäjät eivätkä pelkästään työntekijät. (Liikennevirasto 2010f; Tielaitos 1993)

Liikenneturvallisuus

Tiesillat

Liikenneviraston tieosasto nostaa tutkimus- ja kehittämissuunnitelmassaan liikenneturvallisuuden parantamisen yhdeksi tärkeimmistä tekijöistä. Tutkimusten mukaan työmaolosuhteet aiheuttavat aina suuremman todennäköisyyden liikenneonnettomuuksien sattumiselle verrattuna normaalitilanteeseen. Lisäksi työmaiden kohdalla sattuneiden onnettomuuksien on todettu olevan keskimäärin muita liikenneonnettomuuksia vakavampia. (Tiehallinto 2006; Tielaitos 1993)

Yksi merkittävimmistä liikenteen aiheuttamista vaaroista tie- ja siltatyömaalla on tienkäyttäjien liian suuren tilannenopeuden käyttö. Liiallisesta nopeudesta johtuen ajoneuvon kuljettajan kyky havainnoida ympäristöä heikkenee ja erityisesti työmaaympäristössä onnettomuuden riski tällöin kasvaa. Työmaaympäristössä havainnoinnin puute

aiheuttaa erityisen riskitekijän, sillä liikennejärjestelyt saattavat muuttua työmaan aikana useitakin kertoja. Liikenneturvallisuutta heikentää myös liian pienien turvavälien pitäminen. Tällöin kuljettajan havainnointikyky heikkenee ja peräänajon riski kasvaa. Arvion mukaan noin 1 % kaikista kuljettajista kuuluu riskiryhmään, jotka kuljettavat ajoneuvoa esimerkiksi alkoholin tai huumeiden vaikutuksen alaisena. Riskiryhmään kuuluu myös korkean iän tai vähäisen ajokokemuksen omaavat kuljettajat. Tällä ryhmällä on suurempi todennäköisyys joutua liikenneonnettomuuteen tietyömaan kohdalla kuin muilla tienkäyttäjillä. Liikenneturvallisuutta heikentää työmaaolosuhteissa myös tienkäyttäjistä riippumattomat tekijät, kuten sääolosuhteet. (Tiehallinto 2003c)

Tienpitäjällä on velvollisuus pitää tie liikennettä tyydyttävässä kunnossa. Vahinkotapauksissa tienpitäjän tulee osoittaa itse, että tiepitotehtäviä ei ole laiminlyöty. Usein työn toteuttaja on käytännössä vastuuhenkilö liikenteen turvallisuusasioissa, mutta tällöinkin valvonnan vastuu on edelleen tienpitäjällä. Liikenneturvallisuuden parantamisessa tärkeimmät tekijät ovat työkohteen selkeä merkitseminen sekä liikenteen varoittaminen ajoissa. Suunnittelemalla nämä tekijät etukäteen saadaan työmaan turvallisuutta parannettua. (Tiehallinto 2005d)

Rautatiesillat

Kaikki radalla tehtävät rakennus- ja kunnossapitotyöt, kuten sillansiirto, tehdään liikennekatkon tai raidevarauksen aikana, jolloin junaliikennettä ei työmaan kohdalla kulje. Liikennekatkon aikana työmailla ei siis juurikaan tapahdu liikenneturvallisuutta vaarantavia tilanteita. Ennen liikennekatkoa, sillanrakennustyömaan ollessa käynnissä, työmaa saattaa aiheuttaa vaaratilanteita myös liikenteelle esimerkiksi tavaran kuljetuksissa raiteen yli. Raiteen vieressä sijaitsevia kaivantoja on tuettava riittävästi, jotta niiden sortuminen ei aiheuttaisi junaliikenteelle suistumisriskiä. Merkittävin riski liikenneturvallisuuden heikkenemiselle syntyy liikennekatkon jälkeen, kun rataosa otetaan jälleen liikenteen käyttöön. Penkereen sortuminen ja junan suistuminen raiteelta on vaarana, mikäli pengertä ei ole rakennettu asianmukaisella tavalla rakennustöiden jälkeen. Lisäksi töiden viimeistelyvaiheessa tulee huolehtia, että raide on yhtenäinen ja jatkuva. Liikenneturvallisuusasioissa perusteellinen suunnittelu vähentää vaaratilanteiden syntymisen todennäköisyyttä.

Työturvallisuus

Tiesillat

Tiesiltatyömailla suurimman vaaran työturvallisuudelle aiheuttavat muut liikenteen käyttäjät. Tiellä liikkujien piittaamattomuus nopeusrajoituksista ja muista työmaan liikennesäännöistä aiheuttaa paljon vaaratilanteita työmailla. Suurista nopeuksista johtuen tienkäyttäjät eivät havaitse työmaan tilanteita riittävän ajoissa. Työmaan havaittavuu-

teen vaikuttaa kuljettajan oman käytöksen lisäksi myös työmaan varoituslaitteiden sekä työntekijöiden varoitusvaatetuksen käyttö. (Tiehallinto 2003c; Tielaitos 1993)

Muun liikenteen aiheuttamien riskien lisäksi on tie- ja siltatyömailla muitakin tekijöitä, jotka heikentävät työturvallisuutta. Työkoneet aiheuttavat suuren vaaratekijän erityisesti jalkaisin työskenteleville. Toinen työturvallisuutta rajoittava tekijä on työntekijöiden riskitekijöihin ja vaarallisiin olosuhteisiin tottuminen. Työntekijät tulevat usein sokeaksi omassa työympäristössä oleville vaaratekijöille ja huomaamattaan ottavat turhia riskejä. Erityisesti siltatyömaalla tulee ottaa huomioon korkealla työskentelyn riskit ja varautua asianmukaisin turvalaittein. (Tiehallinto 2003c)

Työturvallisuutta pyritään edistämään tietyömailla työntekijöiden turvallisuuskoulutuksen avulla. Kaikilla tieympäristössä työskentelevillä on oltava vähintään Tieturva 1 -kurssi suoritettuna. Esimerkiksi työnjohtotasolla ja työnaikaisia liikennejärjestelyjä suunnittelevalla on oltava Tieturva 2 -pätevyys. Myös työmaakohtaisesti on huolehdittava perehdytyksestä ja opastuksesta uusille työntekijöille. Turvallisuusasioita parannetaan myös perusteellisen turvallisuussuunnittelun avulla. Hankkeen rakennuttajan vastuulla on laatia turvallisuusasiakirjat kun taas päätoteuttaja vastaa työmaan turvallisuussuunnittelusta ja valvoo työmaata turvallisuusasioissa. Lisäksi päätoteuttajan vastuulla on perehdyttää uudet työntekijät turvallisen työskentelyn sekä työmaan haitta- ja vaaratekijöiden osalta. (Tiehallinto 2005d; FINLEX - Valtion säädöstietopankki)

Rautatiesillat

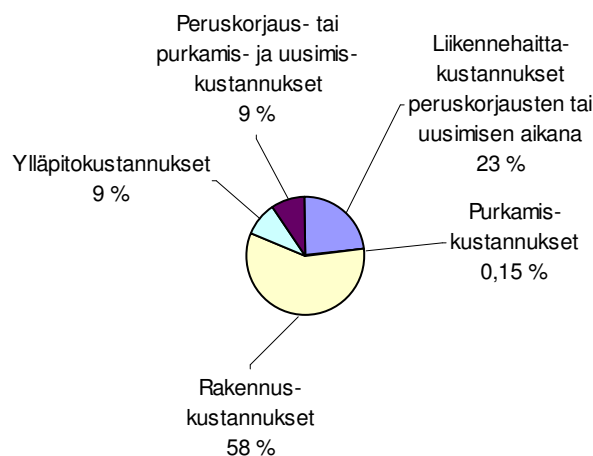
Rautatierakentamisessa merkittävimmät työturvallisuusriskit muodostuvat radan sähköistyksestä sekä ohi kulkevasta junaliikenteestä. Rautatieympäristössä työskenneltäessä on käytettävä erityistä varovaisuutta ajolankojen läheisyydessä, mikäli työt eivät edellytä jännitekatkoa työn ajaksi. Ajolangan ollessa jännitteinen, on sen alapuolella työskenneltäessä pidettävä aina määräysten mukainen turvaväli ajolankoihin nähden. Myös sellaisissa töissä, missä käytetään jännitekatkoa, on varmistuttava jännitteen katkaisusta ennen töiden aloittamista. Junaliikenne on sidottu väylärakenteisiin eli raiteeseen, mutta se voi aiheuttaa huomattavan työturvallisuusriskin, mikäli työssä ei oteta huomioon siitä aiheutuvaa riskiä. Vaikka nopeusrajoitus on usein työmaan kohdalla alennettu, aiheuttaa junaliikenne ilmavirran, mikä saattaa johtaa vaaratilanteisiin työskenneltäessä liikennöidyn raiteen välittömässä läheisyydessä. Rautateilla on käytössä käsite aukean tilan ulottuma (ATU), minkä sisäpuolella työskentely on sallittu ainoastaan, kun on lupa ratatyöhön tai turvamiesmenettelyä käyttäen. ATU:n sisäpuolella tarpeetonta oleskelua tulee välttää. (Ratahallintokeskus 2009b)

Rautatiealueella työskenteleville on olemassa oma turvallisuuskoulutus. Ratatyöturvallisuuspätevyyttä eli Turva-kurssin suorittamista vaaditaan kaikilta rautatiealueella työskenteleviltä. Riippuen työtehtävistä, työntekijältä voidaan vaatia myös muita pätevyyskoulutuksia, kuten laiturityöpätevyys tai turvamiespätevyys. Ratatyöstä vastaavalla on turvallisuuspätevyyden lisäksi oltava työpätevyys riippuen työn luonteesta. Esimerkiksi päällysrakennetöistä vastaavalla tulee olla päällysrakennepätevyys. Ratatöistä laa-

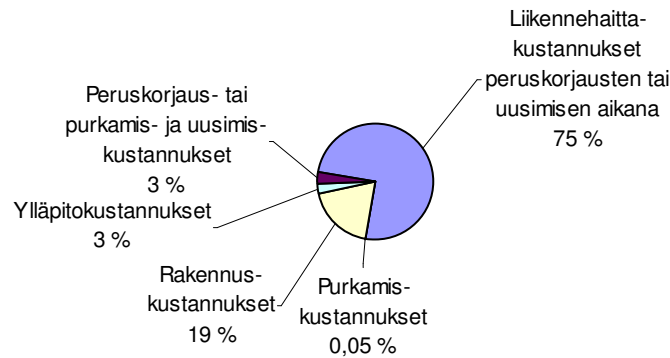
ditaan turvallisuussuunnitelma vastaavasti kuin tietöistä. Turvallisuussuunnitelma laaditaan rakennuttajan antamiin turvallisuusasiakirjoihin ja turvallisuusvaatimuksiin perustuen. Suunnitelmalla osoitetaan liikennöinnin turvallisuus työn aikana, työturvallisuus sekä muut työn riskit ja niiden huomioon ottaminen. (Ratahallintokeskus 2009b)

2.3 Siltahankkeiden kustannukset

Sillan kustannuksista puhuttaessa käytetään usein termiä elinkaarikustannus, mikä kattaa kaikki sillan kustannukset rakentamisvaiheesta lähtien purkamiseen asti. Siltahankkeen kustannukset eivät siis rajoitu vain rakentamisen aikaisiin kustannuksiin. Tutkimuksen mukaan rakentamisen jälkeiset kustannukset ovat suurusluokaltaan 20–70 %, riippuen siltatyypistä, liikennemäärästä sekä käytetystä diskonttokorosta. Siltojen elinkaarikustannusten laskennassa otetaan huomioon pääasiassa rakennuskustannukset, ylläpito- ja korjauskustannukset sekä purkamiskustannukset. Lisäksi liikennehaitan kustannukset peruskorjauksen aikana voidaan laskea mukaan kustannuksiin. Kuitenkaan rakentamisen aikaista liikennehaittakustannusta ei tiesiltahankkeissa lasketa mukaan elinkaarikustannuksiin, vaikka rakentamisen kesto on usein huomattavasti pidempi kuin korjauksen. Rautatiesiltahankkeissa myös rakentamisen aikana liikenteelle aiheutettu haitta otetaan huomioon sillan kustannusten kokonaistaloudellisuudessa. Elinkaarikustannusten muodostuminen on esitetty kuvissa 2.3 ja 2.4, missä esimerkksiltä on alikulkuna toimiva laattakehäsilta. Kustannusten arvioinnin perustana on käytetty siltapaikan liikennemäärinä 5000 ajon./vrk ja 25000 ajon./vrk sekä diskonttokorkona 3 %. Diskonttokoron arvo kuvaa kerrointa, jonka avulla eri aikoina syntyneet kustannukset tehdään yhteismitallisiksi. Diskonttokoron valittu arvo vaikuttaa suuresti sillan rakentamiskustannusten jälkeisiin kustannuksiin. Lisäksi kustannuksiin vaikuttaa liikennemäärä siltapaikalla sekä ylläpito- ja korjaustoimenpiteiden kesto. (Tiehallinto 2004a)



Kuva 2.3 Alikulkuna toimivan laattakehäsilan elinkaarikustannusten muodostuminen, kun liikennemäärä on 5000 ajon./vrk. (Tiehallinto 2004a)



Kuva 2.4 Alikulkuna toimivan laattakehäsillan elinkaarikustannusten muodostuminen liikennemäärällä 25000 ajon./vrk. (Tiehallinto 2004a)

Rakentamiskustannukset muodostavat usein suuren osan sillan elinkaarikustannuksista. Siltatyypistä ja liikennemäärästä riippuen rakennuskustannusten osuus kaikista kustannuksista vaihtelee. Esimerkiksi pienemmillä betonirakenteisilla silloilla, missä liikennemäärä siltapaikalla ei ole huomattavan suuri, rakentamiskustannukset muodostavat noin 60 % sillan elinkaarikustannuksista. Rakentamiskustannuksista käytetään usein myös termiä investointikustannus, joka kuvaa tilaajalle sillan rakentamisesta aiheutuneita kustannuksia. Rakentamiskustannukset sisältävät varsinaisen sillan materiaali- ja rakennuskustannusten lisäksi myös erilaisten apu- ja tukirakenteiden käytöstä aiheutuvat kustannukset. Siltatyypistä riippuen rakennusvaiheessa saatetaan käyttää erilaisia apu- ja turvalaitteita, jotka kuuluvat myös sillan rakentamiskustannuksiin. Nykykäytännön mukaan rakentamisvaiheessa ei oteta liikennehaitan kustannuksia huomioon tiesiltojen rakennushankkeissa. (Tiehallinto 2004a)

Ylläpito- ja korjauskustannukset käsittävät vuosittaisista ylläpitotoimenpiteistä sekä harvemmin suoritettavista peruskorjauksista aiheutuvat kustannukset. Ylläpito- ja peruskorjauskustannusten arvioinnissa on huomioitu varsinaisten korjauskustannusten lisäksi myös korjauksen ajaksi tehtävän kiertotien kustannukset, liikenteelle aiheutetun häiriön kustannukset korjauksen aikana sekä sillan arvioitu käyttöaika korjauksen jälkeen. Ylläpito- ja korjauskustannukset vaihtelevat siltatyypistä, liikennemäärästä sekä korjaustyön kestosta riippuen. Näiden kustannusten osuus elinkaarikustannuksista on tyypillisesti enimmillään neljännes. Siltojen oletettu käyttöikä on Suomessa pitkä, mikä tuo haastavuutta ylläpitokustannusten arviointiin. Esimerkiksi betonisiltojen oletettu käyttöikä on Suomessa 100 vuotta. (Tiehallinto 2004a)

Peruskorjauksen tai uusimisen aikana syntyvät liikennehaittakustannukset voidaan huomioida sillan elinkaarikustannusten laskennassa. Liikennehaitan aiheuttamien kustannusten laskennassa merkittävimpiä tekijöitä ovat liikennemäärä sekä ylläpito- tai korjaustyön kesto. Näiden tekijöiden kasvaessa myös liikennehaittakustannukset saattavat moninkertaistua. Koska vilkkaimmin liikennöidyillä paikoilla sillan elinkaarikustan-

nuksista suuri osa muodostuu liikennehaittakustannuksista, tulisi niiden vähentämiseksi kehittää uudenlaisia toimintatapoja rakennusajan lyhentämiseksi. Rakennusaikojen lyhentäminen perustuu siihen, että liikennehaittakustannusten säästöt ovat usein suuremmat kuin rakentamisesta aiheutuvat lisäkustannukset. (Tiehallinto 2004a)

Purkutyöstä aiheutuvat kustannukset syntyvät niin pitkän ajan kuluttua, että niillä ei ole käytännön merkitystä elinkaarikustannusten kannalta. Purkukustannukset voivat joskus kuitenkin osoittautua ennakoitua suuremmiksi, jolloin niiden osuus kokonaiskustannusten kannalta lisääntyy merkittävästi. (Tiehallinto 2004a)

Kustannuksia syntyy koko sillan elinkaaren aikana, mutta eniten sillan kustannuksiin pystytään vaikuttamaan ennen sillan rakentamista. Sillan suunnitteluvaiheessa tehdään päätös siltatyypistä, minkä valinta vaikuttaa huomattavasti sillan elinkaaren aikana muodostuviin kustannuksiin.

2.4 Sillansiirtomenetelmän hyödyntäminen nykypäivänä

2.4.1 Syitä ja taustaa sillansiirtomenetelmän kehittämiseksi

Tarve kehittää uudenlainen sillanrakennusmenetelmä rautateillä on saanut alkunsa rataverkon kehittämisen myötä. Rataverkkoa kehitetään jatkuvasti entistä turvallisemmaksi ja tehokkaammaksi, joten myös sillanrakennuksen tulee noudattaa näitä periaatteita. Turvallisuutta ja tehokkuutta lisätään esimerkiksi akselipainojen ja nopeuksien nostolla sekä tasoristeysten poistamisella. Nämä kaikki vaatimukset lisäävät rautatiesiltojen rakentamistarvetta. Samalla kun tehokkuusvaatimukset rautatiesiltojen rakentamisessa alkoivat lisääntyä, asetettiin vaatimukset sallitun liikennehaitan määrästä. Nämä tekijät yhdessä ajoivat uudenlaisen sillanrakennusmenetelmän kehittämiseen. (Harjula 2008)

Nykyisen sillansiirtotekniikan käyttö on saanut alkunsa uudenlaisen ajattelutavan mukaan, missä liikenteelle aiheutuneet häiriöt arvioidaan ja kustannukset otetaan huomioon hankkeen kokonaistaloudellisuuden kannalta. Sillansiirron lähtökohtana on ajatus, että yhteiskuntataloudellisesta näkökulmasta lyhyt totaalikatko on taloudellisempi kuin pitkäaikainen alennettu nopeusrajoitus. Totaalikatkon käyttämisellä saadaan siis minimoitua liikenteelle aiheutetun haitan kustannuksia. Siirtomenetelmällä liikennehaitan arvioidaan olevan parhaimmillaan vain 1 % kiertoraiteen aiheuttamasta liikennehaitasta. Liikennehaitan aiheuttamien kustannusten minimoinnin lisäksi myös apu- ja tukirakenteiden käytön vähentäminen aiheuttaa kustannussäästöjä. Liikennehaittakustannusten sekä apu- ja tukirakenteiden kustannusten minimoinnin myötä siirtomenetelmä on rautateillä kokonaistaloudellisesti edullisempi perinteisiin sillanrakennustapoihin verrattuna. (Matela 2004; Oy VR-Rata Ab Megasiirto 2007)

Menetelmän perustana toimii rakentamisen asiakaslähtöinen näkökulma, missä rakentaminen toteutetaan liikenteen käyttäjien ehdoilla. Aikaisempi sillanrakennuskäytän-

tö on tähännyt vain investointikustannusten minimointiin. Tyypillistä on, että liikenteen käyttäjät väistävät totutulta reitiltään rakentajia, vaikka roolit voisivat olla myös päinvastoin. Asiakaslähtöisyyttä parantaa myös liikennekatkojen pituuden minimointi. Tällöin liikenteen käyttäjiin kohdistuvat muutokset ovat minimissään.

Niin liikenteen käyttäjän kun rakentajankin kannalta tärkeä ominaispiirre on turvallisuuden paraneminen. Sekä liikenne- että työturvallisuus paranee, kun silta rakennetaan väylän sivussa. Rakentamalla silta liikennöitävän alueen ulkopuolella voidaan minimoida työmaasta liikenteelle aiheutuneet turvallisuusriskit. Myös työntekijöiden kannalta turvallisuus paranee, kun työskentelyä ei tarvitse tehdä liikenteen seassa.

Rakentamisen aikataulua voidaan nopeuttaa ja rakentamisaika saadaan minimoitua siirtomenetelmän avulla. Sillan rakentaminen voidaan aloittaa heti, kun kiertotietä ei tarvitse rakentaa ensin. Suurin osa maarakennustoista voidaan tehdä sillan siirtämisen jälkeen, mikä myös nopeuttaa sillan liikenteelle käyttöönottoa.

2.4.2 Menetelmän käyttö rautatiesiltojen rakentamisessa

Sillan sivussarakentamismenetelmä on vallitseva rautatiesiltojen rakentamismenetelmä Suomessa. Nykytekniikalla on rautatiesiltoja siirretty 1990-luvun alkupuolelta lähtien tähän päivään mennessä yli 200. Vuosittain uusia rautatiesiltoja rakennetaan siirtomenetelmällä noin 15–20. Sillansiirtomenetelmässä rakentamisen kaikki työvaiheet tehdään useiden lyhyiden liikennekatkojen aikana ja ne pyritään ajoittamaan mahdollisuuksien mukaan yöaikaan, jolloin liikenne on hiljaisimmillaan. Muutamien lyhyempien katkojen lisäksi tarvitaan sillan siirtämistä varten pidempi katko, jonka kesto on yleensä noin 6–30 tuntia riippuen pisimmän sallitun katkon pituudesta. Lyhyiden katkojen ansiosta liikennettä häiritään mahdollisimman vähän. Liikennekatkojen saatavuus asettaa sillansiirrolle reunaehdot, joiden mukaan rakentaminen tehdään. (Kataja 2010a; Matela 2010)

Sillansiirtotekniikka on kehittynyt paljon 1990-luvun alusta, kun nykyaikainen menetelmä otettiin käyttöön. Menetelmää pyritään edelleen kehittämään yhä nopeammaksi. Nykypäivänä siirtotekniikan käyttöä ei rajoita sillan tyyppi, koko eikä muoto. Menetelmää hyödyntäen voidaan siirtää maanvaraisia kehäsiltoja sekä paalujen varaan perustettavia sillankansia. Yleisin siirtotekniikalla rakennettava rautatiesilta on yksiaukkoinen teräsbetonisilta, joka on perustettu paaluille. Tyypillisesti siirrettävät sillat painavat 600–1200 tonnia, mutta tällä hetkellä painavin siirretty silta on noin 2500 tonnia. Paino ei siis rajoita menetelmän käyttöä, sillä siirtokalustoa lisätään tarvittava määrä sillan painosta riippuen. Vaikka yleisin siirrettävä silta on yksiaukkoinen, ei pituus ole myöskään ongelma siirtotekniikan käyttämisessä. Pisin Suomessa siirretty silta on lähes 100 metriä pitkä ja viisiaukkoinen. (Kataja 2010a; Oy VR-Rata Ab Megasiirto)

Vuosien varrella sillansiirtomenetelmä on kehittynyt vastaamaan erilaisia tarpeita ja olosuhteita. Liikennekatkon pituus on sillansiirron kannalta merkittävin tekijä ja siksi siirrettävien siltojen rakenteita on kehitetty niin, että menetelmää voidaan hyödyntää liikennekatkon pituudesta tai lyhyydestä huolimatta. Myös pohjaolosuhteet vaihtelevat

paljon eri tilanteissa, joten erilaisia rakenteita voidaan hyödyntää pohjaolosuhteet huomioon ottaen. Sillansiirtotekniikan suomalaisen kehityshistorian ansiosta menetelmä soveltuu erityisen hyvin suomalaisiin olosuhteisiin. (Mäki 2010)

2.4.3 Sillansiirtomenetelmän mahdollisuudet tiesiltojen rakentamisessa

Siltojen rakentaminen sivussarakentamistekniikalla vakiutui käyttöön rautatiesiltojen osalta 1990-luvulla. Viimeisen lähes 20 vuoden ajan sillansiirtomenetelmää on pystytty hyödyntämään sellaisissa sillanrakennuskohteissa, missä minkään muun rakennustavan käyttö ei olisi ollut mahdollista. Tällä menetelmällä on saavutettu merkittäviä hyötyjä rautatiesiltojen rakentamisessa ja sitä voidaan pitää erittäin tärkeänä keksintönä rautatieverkoston kehittämisen kannalta. Voidaankin sanoa, että Suomi on yksi sillansiirtotekniikan edelläkävijämaista. Tästä osoituksena on myös se, että suomalainen sillansiirtomenetelmä on saavuttanut kansainvälistä kiinnostusta erityisesti naapurimaissa Ruotsissa sekä Venäjällä. Tiesiltojen rakentamisessa sillansiirtomenetelmää ei ole vielä hyödynnetty, mutta rautatierakentamisessa saavutetut hyödyt luovat hyvän pohjan tekniikan käytölle myös tiesiltojen rakentamismenetelmänä.

Tiesiltoja on rakennettu jo kauan samalla tavalla, mutta vastaako vanha menetelmä kasvaviin liikennemääriin sekä palvelutasovaatimuksiin. Tieverkon kehittäminen luo uusia haasteita myös siltojen rakentamiseen ja tulevaisuudessa on niidenkin osalta mieltittävä uusia teknisiä ratkaisuja sekä kehitystarpeita nykyisiin menetelmiin verrattuna. Sillan sivussarakentamistekniikka on yksi innovatiivinen sillanrakennusmenetelmä, jonka avulla voidaan ratkaista tulevaisuudessa myös tiesiltahankkeiden liikenteen hallintaan liittyviä ongelmia.

Vaikka tieliikenne on luonteeltaan hyvinkin erilaista verrattuna rautatieliikenteeseen, on sillan sivussarakentamismenetelmän käytöllä varmasti hyvät mahdollisuudet myös tiesiltojen rakennuksessa. Raideliikenteen yksi keskeisin ominaispiirre on sidonnaisuus raiteisiin. Raiteet määrittävät junan kulkureitin eikä junilla näin ollen ole ohiusmahdollisuutta tai vaihtoehtoisten reittien käyttömahdollisuutta. Tieliikenteessä ajoneuvot sen sijaan voivat vapaasti valita kulkureittinsä tarpeiden ja mahdollisuuksien mukaan. Tieverkoston tarjoamien mahdollisuuksien vuoksi tieliikenteessä on helpompi suunnitella tilapäisiä liikennejärjestelyjä ilman, että ne aiheuttavat merkittävää haittaa liikenteen sujuvuudelle. Tämän vuoksi sillansiirron vaatima liikennekatko on teillä helposti järjestettävissä olemassa olevia tieyhteyksiä hyödyntäen. (Liikennevirasto 2010b)

Liikennemäärien kasvaessa kasvaa myös liikenteelle aiheutetun haitan merkitys erityisesti tietyömaiden osalta. Ratkaisevana tekijänä menetelmän käytölle tiesiltojen osalta on juuri liikennehaitan huomioon ottaminen. Nykyään rakentamisessa painotetaan investointikustannusten merkitystä eikä liikenteelle aiheutettuja haittavaikutuksia oteta huomioon. Junaliikenteessä on jo pitkään ollut käytössä tapa, missä sallitut liikennehaitat määritetään keskitetysti. Tieliikenteellä ei vastaavanlaista keskitettyä ohjausta ole, joten tienkäyttäjien tarpeiden kuuleminen on haastavaa verrattuna rautatieliikenteeseen.

seen. Vaikka yksittäisen autoilijan on vaikea saada ääntänsä kuuluviin kaikkien autoilijoiden puolesta, tulisi tienkäyttäjät ottaa huomioon useissa tapauksissa nykyistä käytäntöä paremmin ja parantaa näin asiakastytyvää.

Liikennehaittakustannusten minimoinnin lisäksi sillan sivussarakentamismenetelmällä voidaan tiesiltojenkin rakentamisessa saavuttaa muita vastaavanlaisia hyötyjä kuin rautatiesiltojen osalta. Kustannukset pienenevät myös rakennuskustannusten myötä kun apu- ja kiertotierakenteita ei enää tarvita. Myös rakentamisen läpimenoaika lyhenee, kun sillan rakentaminen voidaan aloittaa heti sen sijaan, että kiertotietä rakennettaisiin ensin jopa useita kuukausia. Työ- ja liikenneturvallisuuden paraneminen on merkittävä etu verrattuna liikenteen seassa työskentelyyn. Erityisesti tieliikenteessä myös liikenneturvallisuuden merkitys korostuu työmaaympäristössä.

2.5 Sillansiirtomenetelmän kansainvälinen näkökulma

2.5.1 Yleistä

Vaikka Suomi on sillansiirrossa yksi edelläkävijämaista, on erilaisia siirtomenetelmiä käytössä ympäri maailmaa. Siirrettävissä silloissa rakentamisen periaate on sama, mutta erilaisia tekniikoita on käytössä eri maissa. Silta rakennetaan kaikissa menetelmissä väylän sivussa ja siirretään paikoilleen liikennekatkon aikana. Liikennekatkojen pituudet vaihtelevat paljon, mutta vaatimukset ovat usein tiukemmat kuin Suomessa. Suomalaisen sillansiirtomenetelmän kaltaista, työntötunkeja hyödyntävää tekniikkaa käytetään myös muualla. Lisäksi maailmalla on käytössä menetelmiä, missä silta siirretään työntämisen sijasta vetämällä. Maasta riippumatta sillansiirrolla tavoiteltavat hyödyt ovat aina samat: menetelmän avulla pyritään häiritsemään liikennettä mahdollisimman vähän.

Euroopassa erityisesti Iso-Britanniassa käytetään sillansiirtotekniikkaa sillanrakennuksessa. Sillansiirtomenetelmä on laajasti käytössä tiesiltojen rakennusmenetelmänä Iso-Britanniassa, missä on myös siirretty maailman suurimmat tiesillat. 1990-luvun lopussa Oxfordissa rakennettiin maailman suurin siirretty tiesilta, joka on pituudeltaan noin 400 metriä ja painaa noin 5500 tonnia. Lisäksi Iso-Britanniassa on siirretty useita muita suuria tiesiltoja, kuten 250 metriä pitkä ja 5500 tonnia painava Wolvercote-moottoritiesilta. (Dywidag-Systems International 2010)

Etelä-Korea on Aasian maista yksi, missä sillansiirtomenetelmä on käytössä. Koreassa menetelmää hyödynnetään rautatiesiltojen rakentamisessa hyvinkin lyhyiden liikennekatkojen ehdoilla. Menetelmä on tekniikaltaan melko samanlainen Suomessa käytössä olevaan tekniikkaan verrattuna. (Byoung Koo et al. 2008)

2.5.2 Case Oxford

Iso-Britanniassa Oxfordissa sijaitseva Wolvercote-niminen moottoritesilta on maailmanlaajuisestikin iso hanke, missä silta on siirretty lopulliselle paikalleen. Niin uusi kuin vanhakin Wolvercote-silta muodostuu kahdesta sillan kannesta, jotka molemmat ovat kaksikaistaisia. Silta sijaitsee A34 moottoritien ja se ylittää Oxfordin pohjoispuolella rautatien, kanaalin sekä A40 moottoritien. Wolvercoten vanha silta rakennettiin 1960-luvun alussa. Ennen rakennushankkeeseen ryhtymistä vanhan sillan kunto arvioitiin ja elinkaarikustannusten tutkimisen jälkeen päädyttiin uuden sillan rakentamiseen. Vanha silta oli huonossa kunnossa, joten vanhan sillan korvaaminen uudella oli kokonaisuutta ajatellen kustannustehokkaampaa kuin vanhan korjaaminen. Rakentamisen yhtenä ehtona oli, että tien on oltava avoinna liikenteelle koko rakentamisen ajan, jotta liikenteelle aiheutetut häiriöt saadaan mahdollisimman vähäisiksi. Liikenteen hallinnan rooli on muutenkin merkittävässä osassa koko hankkeen kannalta, sillä keskivuorokausiliikenne tieosuudella on noin 70000. Lisäksi väylä toimii yhtenä tärkeimmistä raskaan liikenteen tavarankuljetusreittinä satamista sisämaahan. (BBC News 2010; Highways agency)

Uuden sillan rakentaminen aloitettiin vuoden 2008 keväällä ja hanke valmistui kesän 2010 aikana. Rakentamisen ensimmäisessä vaiheessa rakennettiin uusi siltakansi eteläisemmän sillan viereen. Tämän jälkeen liikenne siirrettiin uudelle sillankannelle ja eteläiselle sillalle pohjoisen sillan purkamisen ja uuden rakentamisen ajaksi. Kun pohjoinen silta oli valmistunut, voitiin liikenne siirtää eteläiseltä sillalta uudelle pohjoispuolen sillalle. Viimeisissä vaiheissa toinenkin vanha silta purettiin, jonka jälkeen uusi silta siirrettiin lopulliselle paikalleen. Liikennekatko sillan siirtämisen ajaksi alkoi lauantai-iltana seitsemältä ja kesti sunnuntai-iltapäivään kello kolmeen. Teknisten ongelmien ja työn haastavuuden vuoksi liikennekatkon pituus oli kaksi tuntia pidempi kuin oli suunniteltu. Kummallakin uudella siltakannella on edelleen kaksi kaistaa, mutta uudet sillat on rakennettu hieman vanhoja leveämmiksi. Uusi silta on pituudeltaan 250 metriä ja painaa noin 5000 tonnia. (Costain Group; Road Traffic Technology)

Oxfordin silta on hyvä esimerkki siltahankkeesta, missä rakentaminen on tehty liikenteen ehdoilla. Liikenne ja sen sujuvuus on asettanut rakentamiselle reunaehdot, joiden mukaan hanke on toteutettu. Liikenteelle aiheutetut viivytykset on pyritty saamaan mahdollisimman vähäisiksi, jotta liikenne olisi sujuvaa koko työmaan ajan.

2.5.3 Case Korea

Koreassa sillansiirtomenetelmän kehittyminen on saanut alkunsa samoin perustein kuin Suomessa. Rautatieverkostoa ei suurelta osin ole Koreassa korjattu 1940-luvun lopun jälkeen lukuun ottamatta luotijunille tarkoitettua verkostoa. Nykyään vaatimukset akselipainojen sekä nopeuksien suhteen kasvavat jatkuvasti eikä nykyinen rataverkko pysty

vastaamaan nykyajan vaatimuksiin. Näiden vaatimusten pohjalta Koreassa on kehittynyt sillansiirtomenetelmä, jolla on paljon yhtäläisyyksiä myös Suomessa käytössä olevan menetelmän kanssa. (Byoung Koo et al. 2008)

Koreassa siirtokatkon pituudelle asetetut vaatimukset ovat huomattavasti korkeammalla Suomeen verrattuna, mikä aiheuttaa lisähaasteen sillanrakennusmenetelmälle. Liikennöidyillä rautateilla vanhan sillan korvaaminen uudella tulisi Koreassa tapahtua 4-5 tunnissa ja tämän jälkeen uuden sillan tulisi olla liikenteen käytössä välittömästi. Tämän vuoksi uuden sillan tulee olla valmisteltu päällysrakennetta myöten ennen siirtoa. Teknisesti Koreassa käytetty sillansiirtomenetelmä vastaa hyvinkin paljon Suomen menetelmää. Ensimmäisessä vaiheessa silta rakennetaan olemassa olevan rautatien viereen. Myös sillan päällysrakenteet rakennetaan tässä vaiheessa, jotta rakennusaika saadaan minimoitua. Liikennekatkon aikana vanha silta nostetaan pois nosturin avulla ja uusi silta työnnetään paikoilleen työntö- sekä nostotunkkien avulla. Teknisesti suurin haaste sillan siirtämisen aikana syntyy tunkkien automaattisesta tarkkailusta ja hallinnasta. (Byoung Koo et al. 2008)

Tyypillisesti Koreassa käytetään siirrettävien siltojen siltatyypinä laattasiltaa, mikäli jänneväli on alle 15 metriä. Palkkisiltatyyppejä käytetään yleensä jännevälillä ollessa pidempi. Uutta menetelmää hyödyntäen on Koreassa siirretty noin 35 siltaa, joista noin 30 on laattasiltoja ja loput palkkisiltoja. Uuden sillan painoon tulee myös kiinnittää huomiota, sillä pohjaolosuhteet saattavat olla vanhojen siltojen kohdalla epävarmat. Erityisesti pidennettäessä siltaa vanhaan nähden, käytetään usein paaluja vahvistamaan maapohjaa ennen uuden sillan siirtämistä. (Byoung Koo et al. 2008)

Uudesta menetelmästä on saatu hyviä kokemuksia onnistuneiden hankkeiden myötä. Koreassa aiotaan kuitenkin jatkaa sillansiirtomenetelmien kehittämistä nopeammiksi ja kustannustehokkaammiksi. (Byoung Koo et al. 2008)

3 SILLANSIIRTOMENETELMÄ

3.1 Sillansiirtotekniikan kehitys Suomessa

Ennen sillansiirtotekniikan kehittymistä Suomessa käytettiin väistöraidetta tai apusiltaa sillan rakentamiseksi liikennöidylle radalle. Näistä menetelmistä apusiltaa käytetään edelleen, mutta sillan sivussarakentamismenetelmä on rautateillä kuitenkin syrjäyttänyt entiset rakennusmenetelmät. Uuden väistöraiteen rakentamista sillanrakennuksen yhteydessä ei rautateillä enää käytetä kustannussyistä.

Väistöraidetta käytettäessä radalle rakennetaan ensin lisäraide, jota pitkin junaliikenne kiertää siltapaikan ohi työmaan ajan. Väistöraide on radan geometriavaatimusten vuoksi aina pitkä, yleisesti noin 300–500 metriä. Radan geometriasta ja muista olosuhteista riippuen mitoitusnopeus on väistöraiteen kohdalla 30–80 km/h. Siltatyypin ja sillan pituus voidaan väistöraidetta käytettäessä valita melko vapaasti, mutta väistöraiteen ongelmana on kallis hinta, mikäli väistöraide rakennetaan vain sillan rakentamisen ajaksi. Tilapäisenkin rakenne on perustettava turvallisuuden vuoksi yhtä hyvin kuin pysyvä ratapenger ja siksi väistöraiteen rakentaminen on kallista. Myös radan sähköistys ja turvalaitteet nostavat menetelmän kustannuksia huomattavasti. Useampiraiteisilla rataosuuksilla toisia raiteita voidaan käyttää väistöraiteena työmaan ajan. Esimerkiksi ratapihat ovat paikkoja, joissa tällaista menetelmää voi soveltaa. (Ratahallintokeskus 1999)

Apusiltamenetelmässä raiteen alle asennetaan apusilta tai apusiltajono liikennekatkon aikana. Apusillan asentamisen jälkeen liikenne voi kulkea apusiltaa pitkin alennetulla nopeusrajoituksella samanaikaisesti kun siltaa rakennetaan apusillan tai apusiltajonon alapuolella. Ennen nykytekniikan mukaista sillansiirtomenetelmää, jolloin sillan siirtäminen oli vielä hidasta, apusiltoja käytettiin usein sillansiirrossa apuna. Apusiltamenetelmä soveltuu parhaiten pienten kehäsiltojen rakentamiseen, sillä apusiltojen käyttö rajoittaa rakennettavan sillan kokoa. Isompien siltojen rakentaminen vaatii myös enemmän tukirakenteita, mikä nostaa rakentamisen kustannuksia. Menetelmä soveltuu parhaiten vähäliikenteisille rataosuuksille, missä liikenteen alennettu nopeusrajoitus ei aiheuta liikenteelle merkittävää haittaa. Apusillan kohdalla nopeusrajoitus on useimmiten 80 km/h, hetkellisesti jopa 60 km/h. (Ratahallintokeskus 1999)

Vaikka väistöraide- sekä apusiltamenetelmä ovat olleet yleisimpiä sillanrakennustapoja nykyaikaisen sillansiirtomenetelmän kehittämiseen asti, ulottuu betonisiltojen siirtämisen historia Suomessa jopa kymmenien vuosien päähän. Tällöin siirtämiseen käytettiin rullamenetelmää, missä siirtäminen tapahtuu siirtorullavaunun avulla. Painavien rakennelmien siirrossa rullien käyttö on ollut käytössä jo antiikin ajoista lähtien, mutta rautatiesiltojen rakentamisessa sitä alettiin Suomessa hyödyntää 1970-luvulla. Tällöin

Suomessa rakennettiin muutamia siltoja menetelmällä, missä silta työnnetään penkereen läpi liikennöidyn radan alla. Menetelmän käyttö edellytti maaperältä tietynlaisia olosuhteita, jotta sitä voitiin hyödyntää ja siksi menetelmä koettiin hankalaksi eikä se yleistynyt muutamien kokeiluiden jälkeen. 1980-luvulta 1990-luvun alkuun asti rullamenetelmä oli vallitseva siirtomenetelmä. Vaikka menetelmä oli yleisin sillan siirtoa hyödyntävä sillanrakennustapa, ei sen käyttö koskaan yleistynyt ja 1990-luvulle asti valtaosa, jopa 95 %, rautatiesilloista rakennettiin väistöraiteen tai apusillan avulla. Rullamenetelmä kehitettiin alun perin terässiltojen siirtotarpeita vastaavaksi eikä siis täysin sovellettu betonisiltojen siirtämiseen. Rullamenetelmässä siirtovaunun ratana toimivat rata-kiskot. Raiteiden kantavuus ei kuitenkaan vastannut siirrettävien siltojen vaatimuksia, mikä osaltaan rajoitti menetelmän käyttöä. Vuonna 1987 sillansiirtotekniikka otti ratkaisevan kehityssäkeleen, kun siirtoratoina alettiin käyttää siirtopalkkia rata-kiskon sijasta. (Harjula 2010; Matela 2010; Mäki 2010; Pesonen 2010)

Nykyinen sillansiirtomenetelmä alkoi kehittyä 1990-luvun alkupuolella VR:n sekä Insinööritoimisto Erkki Mäki Ky:n aloitteesta. 1990-luvun alussa käynnissä ollut Helsinki-Tampere -pääradan perusparannushanke vaikutti myös merkittävästi uuden menetelmän kehittymiseen. Uuden sillansiirtotekniikan avulla hanke saatiin toteutettua nopeassa aikataulussa ja mahdollisimman pienillä liikennehaitoilla. Edistyksellistä apusiltamenetelmään verrattuna oli, että useita siltoja pystyttiin rakentamaan suuressa hankkeessa yhtäaikaaisesti. Apusiltamenetelmässä vain pari siltaa saattoi olla rakenteilla samanaikaisesti, jotta liikenteelle aiheutettu haitta ei muodostuisi liian suureksi. Puitteet uudelleenlaistulle siirtomenetelmälle olivat olemassa, sillä nykytekniikan kaltainen siirtokalusto oli jo olemassa. Insinööritoimisto Erkki Mäki Ky kuitenkin kehitti uudenlaista kalustoa omissa urakoissaan. Vuonna 1992 menetelmä sai varsinaisesti alkunsa kun ensimmäinen silta, Vuorimiehen aks, siirrettiin uutta kalustoa hyödyntäen. Vastustus uutta sillanrakennusmenetelmää kohtaan oli aluksi melko runsasta ja seuraavien vuosien ajan käytettiin rautatiesiltojen rakentamisessa edelleen myös apusiltoja uuden siirtomenetelmän rinnalla. (Matela 2010; Mäki 2010; Pesonen 2010)

Uuden sillansiirtomenetelmän vastustajien mielen sai osaltaan muuttumaan vuonna 1994 rakennettu Niemenmaan silta, joka siirrettiin kolmen ja puolen tunnin liikennekatkon aikana. Menetelmän kehittäjät ajoivat vahvasti asiaansa ja lopulta uusi sillansiirtomenetelmä muodostui tärkeimmäksi rautatiesiltojen rakennusmenetelmäksi. Jo vuonna 1995 sillan sivussarakentamismenetelmä oli vallitseva sillanrakennusmuoto rautateilla. Samana vuonna Insinööritoimisto Erkki Mäki Ky perusti uuden yrityksen, Megasiirto Oy:n, keskittyen pääosin sillansiirtoon. Seuraava merkittävä käänne sillansiirron historiassa tapahtui 1998 kun toistaiseksi painavin sillansiirto toteutettiin Espoon Kerassa. Tätä siirtoa varten Megasiirron oli myös kehitettävä uudenlaista kalustoa, jotta toistaiseksi painavin Suomessa siirretty sillankansi (2500 tonnia) voitiin siirtää. (Mantere et al. 1998; Mäki 2010)

Kun siirtomenetelmä oli rautatiesiltojen rakentamistapana jo yleistynyt, oli menetelmän kehittäjillä aikomus laajentaa sillansiirtoa myös tiesiltojen rakentamiseen. Vuonna 1997 tehtiin Tiehallintoon tiesillan siirtämisestä aloite, joka ei kuitenkaan saa-

nut Tiehallinnon tukea puolelleen. Tämän jälkeen menetelmän hyödyntäminen tiesiltojen rakentamisessa ei ole ollut aktiivisesti esillä ennen aivan viime vuosia. Nykyään rakentamisen ympäristölle ja tienkäyttäjille aiheuttamia haittoja on alettu arvottaa, joten vaihtoehtoisten rakennusmenetelmien tutkiminen on ajankohtaista. (Matela 2010; Pesonen 2010)

3.2 Sillansiirtotekniikkaan liittyvät työvaiheet

3.2.1 Yleistä

Sillan sivussarakentamistekniikassa silta rakennetaan väylän sivussa liikenteen käyttäessä alkuperäistä väylää sillan rakentamisen ajan. Lyhyen siirtokatkon aikana silta siirretään lopulliselle paikalleen, tyypillisesti paalujen varaan, tunkkien avulla. Sillan siirron jälkeen voidaan sillan alittava väylä rakentaa ilman, että liikenteelle aiheutuu ylimääräistä haittaa. (Mikkonen 1998)

Sillan sivussarakentamismenetelmä voidaan jakaa kolmeen eri rakennusvaiheeseen toteuttamisjärjestyksen mukaan. Eri vaiheet voidaan toteuttaa erillisten tai samojen liikennekatkojen aikana. Sivussarakentamismenetelmän kolme eri vaihetta ovat

- ennen siirtokatkoa tehtävät työvaiheet
- siirtokatkon aikana tehtävät työvaiheet
- siirtokatkon jälkeiset työvaiheet.

Työvaiheita tarkastellaan kahden eri siirtomenetelmän osalta. Perinteisen sillan sivussarakentamismenetelmän rinnalle on kehitetty entistä tehokkaampi siirtotekniikka, josta käytetään nimitystä jumbopalkki-menetelmä. Näissä menetelmissä työvaiheet ovat osittain samoja, mutta joiltakin tärkeiltä osin ne eroavat toisistaan, joten niitä on syytä tarkastella erillisinä menetelminä. (Kataja 2010b; Mikkonen 1998)

Tässä tapauksessa siirtomenetelmän eri työvaiheita tarkastellaan rautatierakentamisen näkökulmasta, sillä menetelmä ei vielä ole käytössä tiesiltojen rakentamisessa. Työvaiheet ovat kuitenkin pääosin samoja myös tiesiltojen rakentamisessa ja menetelmä on siksi helposti sovellettavissa myös tiesiltoihin.

3.2.2 Perinteinen sillansiirtomenetelmä

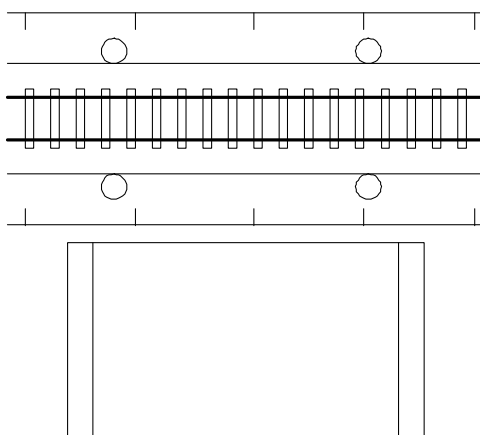
Ennen siirtokatkoa tehtävät työvaiheet

Ennen varsinaista siirtokatkoa tehtävät työvaiheet suoritetaan erillisten lyhyempien liikennekatkojen aikana. Näitä työvaiheita ovat mm. kiskojen katkaisu ja väliaikainen liit-

täminen, paalujen lyöminen sekä erilaisten tuki- ja apurakenteiden asentaminen. (Mikkonen 1998)

Kiskot voidaan katkaista ennen varsinaista siirtokatkoa ja liittää väliaikaisella sidekiskoliitoksella. Tämä nopeuttaa kiskojen purkamista ja asentamista siirtokatkon aikana, kun liitos on nopea avata ja sulkea. Kiskot hitsataan jatkuviksi myöhemmin siirtokatkon jälkeen liikenteen sallimina ajankohtina. (Mikkonen 1998)

Tukipaaluina käytetään pääsääntöisesti lyönti- tai porapaaluja. Myös muut perustamistavat, kuten maanvarainen perustaminen, ovat mahdollisia. Paalutus on usein ensimmäinen työvaihe ja se tehdään lähes poikkeuksetta jo ennen sillan rakentamista. Tällä rakentamisjärjestyksellä saadaan silta rakennettua paalujen sijaintitoleranssin mukaan. Liikennehaitan minimoimiseksi paalutus tehdään usein yöaikaan, jolloin liikenne on vähäisimmillään. Paalujen lyöntinopeuteen ja siten myös liikennekatkon pituuteen vaikuttaa paalujen pituus sekä maalaji. Usein ajolankoja joudutaan siirtämään paalutuksesta johtuen, mikä myös pidentää tarvittavaa liikennekatkoa. Yleisesti paalut asennetaan ATU:n ulkopuolelle jopa ilman erillisiä liikennekatkoja. Työt tehdään normaalin junaliikenteen sallimissa työraoissa yöaikaan. Paalujen asentamisen jälkeen paalut rauhoitetaan ja betonoidaan ennen siirtokatkoa. Useimmiten paalut joudutaan katkaisemaan jälkikäteen oikeaan pituuteensa, mutta porapaaluja käytettäessä voidaan paalu valmistaa määrämittäisenä. Paalujen katkaiseminen oikeaan pituuteensa on mahdollista tässäkin vaiheessa, jolloin myös laakerien asennus voidaan suorittaa jo ennen varsinaista siirtokatkoa. Nykyään siltalaakerien asennus jo tässä vaiheessa on yleistynyt, jotta siirtokatkon pituus saadaan mahdollisimman lyhyeksi. Kuvassa 3.1 on esitetty ennen siirtokatkoa tehtävät työvaiheet, kuten paalutus sekä sillan rakentaminen radan vieressä. (Mikkonen 1998)



Kuva 3.1 Ennen sillansiirtokatkoa tehtävät työvaiheet. Valokuvassa työvaiheena siltamuotin tekeminen.

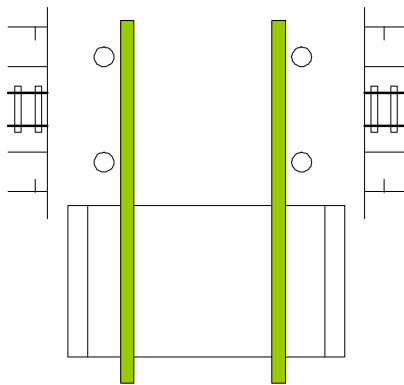
Eräs esimerkki apurakenteista on teräspotki, jonka alla voidaan tehdä sillanrakennustöitä. Tätä toimintatapaa kutsutaan nimellä työputki. Menetelmän käyttöä kokeiltiin vuonna 1998, mutta se ei ole enää käytössä. Myös apusillat ovat apurakenteita, mutta niiden-

kin käyttö on vähentynyt sivussarakentamisen menetelmän kehittämisen myötä. Tukiseiniä käytetään ratapenkereen ollessa jyrkkä tai rakennettaessa silta hyvin lähelle penkerettä, jolloin vaarana on stabiliteetin riittämättömyys. Lisäksi tukiseiniä käytetään tapauksissa, joissa silta rakennetaan kahden tai useamman raiteen alle useassa eri osassa. Tällöin tukiseinä rakennetaan kahden raiteen väliin ensimmäisen sillan siirtämisen ajaksi. (Mikkonen 1998)

Siirtokatkon aikana tehtävät työvaiheet

Sillan siirtämisestä edeltävät työvaiheet

Varsinaisen siirtokatkon aikana, mutta kuitenkin ennen sillan siirtämistä suoritetaan raiteen purkaminen, siltapaikan auki kaivaminen, perustusten rakentaminen sekä siirtoratojen asentaminen. Kuva 3.2 kuvaa työvaiheita siirtokatkon aikana, mutta ennen sillan siirtämistä. (Mikkonen 1998)



Kuva 3.2 Sillan siirtämisestä edeltävät työvaiheet. Valokuvassa työvaiheena siirtoratojen asennus.

Ensimmäinen vaihe siirtokatkon aikana ennen siirtotöiden aloittamista on jännitekatko, missä jännitteiset ajolangat tehdään jännitteettömiksi siirtokatkon ajaksi. Olemassa olevan raiteen purkaminen on seuraava työvaihe siirtokatkon aikana. Raiteen purkaminen aloitetaan väliaikaisen kiskoliitoksen avaamisella, jonka jälkeen aloitetaan raiteen poisto. Raide voidaan purkaa elementteinä tai kiskot ja pölkyt erikseen. Useimmiten vanhat raiteet asennetaan takaisin sillan siirron jälkeen, joten niiden käsittelyssä on huomioitava, ettei raidetta vahingoiteta. (Mikkonen 1998)

Sillan alustan kaivaminen on yksi aikaa vievimmistä työvaiheista. Kaivutöiden kesto riippuu pääasiassa kaivettavien massojen määrästä, mutta myös käytettävien työkonoiden määrästä sekä kapasiteetista. Kaivutyön määrään vaikuttaa ratkaisevasti käytettävä siltatyyppi. Kehäsiltaa rakennettaessa kaivutöitä on huomattavasti enemmän kuin siltakannta siirrettäessä. Työkoneiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon työkonoiden tarvittava tila suhteessa käytössä olevaan tilaan. Pääsääntöisesti kaivinkoneita tulee olla työmaalla niin monta kuin mahtuu yhtä aikaa työskentelemään. Tässä työvaiheessa sil-

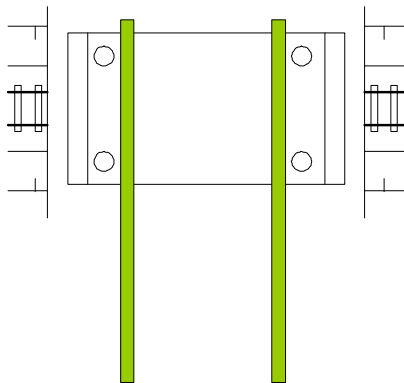
lan alustaa kaivetaan vain tarvittava määrä niin, että sillan kansi mahdutaan siirtämään paikoilleen. Suurin osa kaivutyöstä suoritetaan vasta sillan siirtämisen jälkeen kun silta on jo avattu liikenteelle. (Mikkonen 1998)

Perustusten rakentaminen riippuu valitusta perustamistavasta. Paaluperusteisessa sillassa perustusten rakentamisella tarkoitetaan tässä vaiheessa paalujen katkaisua sekä laakerien asentamista. Nämä työvaiheet on kuitenkin voitu suorittaa jo etukäteen, jolloin ne eivät vie aikaa siirtokatkosta ja voidaan siirtyä seuraavaan työvaiheeseen. Mikäli kyseessä on maan- tai kallionvarainen perustamistapa, siirretään valmiit perustuselementit tässä vaiheessa paikoilleen. Mikäli perustukset eivät muodostu yhdestä elementistä, pitää ne liittää yhteen juotosvalamalla, jolloin työvaiheeseen kuluu enemmän aikaa. (Mikkonen 1998)

Siirtoratojen asentaminen voidaan tehdä maanvaraisena tai paalujen varaan. Paaluja käytettäessä siirtorata tukeutuu puu-, teräsputki- tai teräsbetonilyöntipaaluihin. Maanvaraisessa asentamisessa käytetään teräsbetonisia laattaelementtejä. Siirtoratoina käytetään nykyään yleisesti HEB-palkkeja. Tässä vaiheessa asennetut siirtoradat liitetään jo silta-
muotin alla oleviin siirtoratoihin pulttiliitoksella. Siirtoratojen asennukseen kuuluva aika riippuu ennen kaikkea siirtoradan perustamistavasta sekä siirtoratojen lukumäärästä. Käytettävien siirtoratojen määrään vaikuttaa sillan pituus sekä paino. Usein käytetään kahta siirtorataa, mutta pituuden tai painon kasvaessa voidaan siirtoratoja lisätä tarvittava määrä. (Mikkonen 1998; Oy VR-Rata Ab Megasiirto)

Sillan siirtäminen

Sillan siirtäminen voidaan aloittaa heti siirtoratojen asentamisen jälkeen. Sillan siirto tapahtuu hydraulisten nosto- ja työntötunkkien avulla. Tunkkien kapasiteetit ovat 150–200 tonnia. Tyypillisesti työntötunkeja on käytössä kaksi ja nostotunkeja noin kymmenen kappaletta riippuen sillan koosta. Tunkkien määrää voidaan lisätä tarvittava määrä, joten sillan paino ei rajoita menetelmän käyttöä. Sillan siirtäminen on esitetty kuvassa 3.3. (Kataja 2010a)

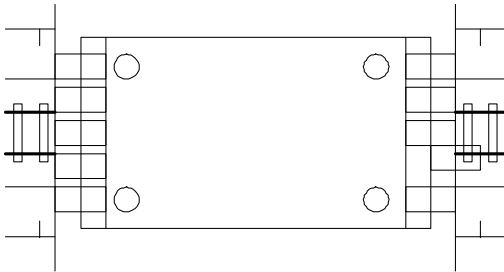


Kuva 3.3 Sillan siirtäminen. Valokuvassa silta on siirretty valualustalta lopulliselle paikalleen.

Sillansiirtonopeus on kasvanut sillansiirtomenetelmän kehittymisen myötä. Nopeus on jopa 15-kertaistunut verrattuna ensimmäisiin sillansiirtoihin. Siirtonopeus on nyky menetelmällä noin 15 m/h, joten siirtovaihe kestää vain noin tunnin riippuen sillan koosta sekä siirtomatkasta. Sillan siirrossa silta lasketaan lopullisille tuilleen, jonka jälkeen aloitetaan sillan siirtämisen jälkeiset työvaiheet ennen sillan liikenteelle avaamista. (Kataja 2010a)

Sillan siirtämisen jälkeiset työvaiheet

Sillan siirtämisen jälkeisten työvaiheiden tarkoituksena on saada silta avattua liikenteelle mahdollisimman nopeasti. Näitä työvaiheita ovat sillan asentaminen, maarakennustyöt, siirtymälautojen asentaminen sekä raiteen rakentaminen. Kuvassa 3.4 on esitetty sillan siirtämisen jälkeisiä työvaiheita. (Mikkonen 1998)



Kuva 3.4 Sillan päiden täytöt sekä siirtymälautojen asennus. Valokuvassa työvaiheena siirtymälautojen asennus.

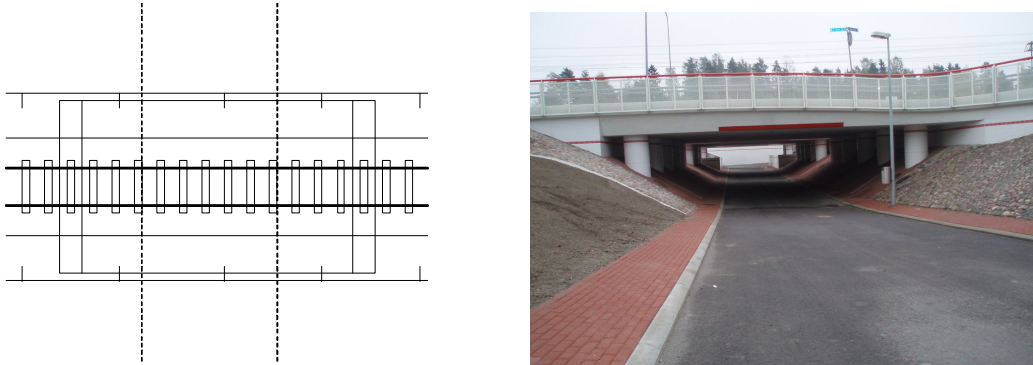
Siltakansi ja perustukset voidaan liittää toisiinsa joko jäykällä kiinnityksellä tai laakerin avulla. Riippuen käytetystä liitostavasta, liitos voidaan tehdä hitsaamalla tai juotosvalamalla. Nykyään kumilevyllaakerin käyttö on paalujen ja siltakannen yleisin liitostapa. Hitsausvaiheen työtehoon vaikuttaa pääosin sääolot, työtilan riittävyys sekä hitsausmenetelmä. (Mikkonen 1998)

Sillan siirtämisen jälkeen tehtäviä maarakennustöitä ovat siipimuurien välisen alueen täyttö, siirtymälautojen asentaminen sekä siirtymälautojen yläpuolinen täyttö. Täyttötöissä on huomioitava vaadittu tiivistystaso. Tiivistystöiden vaatimukset sekä käytössä oleva kalusto vaikuttavat eniten työvaiheen kesto.

Ennen sillan liikenteelle avaamista asennetaan raiteet. Raiteen rakentamisvaiheeseen liittyy raidesepeleinti, kiskojen asentaminen sekä raiteen tukeminen ja oikominen. Riippuen raiteen purkamistavasta, raiteet voidaan asentaa elementteinä tai kiskot ja ratapölkkyt erikseen. Viimeisenä vaiheena ennen sillan liikenteelle avaamista poistetaan jännitekatko eli palautetaan jännite ajolankoihin. (Mikkonen 1998)

Siirtokatkon jälkeiset työvaiheet

Siirtokatkon jälkeen, kun uusi silta on jo liikenteen käytössä, voidaan rakentaa sillan alittava väylä. Lisäksi viimeistelytyötä, kuten vihertöitä ja siltapaikan raivausta voidaan tehdä junaliikenteen jo käyttäessä uutta siltaa. Kuvassa 3.5 on esitetty valmis silta, jonka alittava väylä on jo rakennettu.



Kuva 3.5 Sillan alittavan väylän rakentaminen sekä muut viimeistelytyöt.

Kriittiset työvaiheet

Kriittisiä työvaiheita sillansiirtotekniikassa ovat työt, joiden perusteella määräytyy seuraavien työvaiheiden alkaminen tai ovat kestoltaan pitkiä ja määrittelevät näin aikataulun. Aikataulun häiriöherkkyyttä voidaan pienentää vähentämällä rinnakkaisia työvaiheita ja keskittymällä yhden työvaiheen suorittamiseen kerralla. Liikennekatkon pituutta saadaan kuitenkin lyhennettyä suorittamalla eri työvaiheita mahdollisimman paljon liittämällä. Siirtokatkon kokonaispituutta voidaan myös lyhentää tekemällä mahdollisimman paljon eri työvaiheita ennen varsinaista siirtokatkoa lyhyempien liikennekatkojen aikana. Kuitenkin määrääväksi tekijäksi muodostuvat pitkäkestoisimpien työvaiheiden suoritukset, joiden tehokkaalla suorituksella ja lyhentämisellä voidaan lyhentää myös siirtokatkon kesto.

Kaivu- ja täyttötyöt sekä ennen että jälkeen sillan siirtämisen vievät kokonaiskesto-oon nähden paljon aikaa. Sillan alustan kaivu ennen sillan siirtoa kestää yleensä useita tunteja eikä seuraavaan työvaiheeseen voida siirtyä ennen kaivun valmistumista. Myös sillan siirtämisen jälkeen tehtävät täyttötyöt saattavat kestää useita tunteja. Esimerkiksi sillan päiden täyttötyössä täytyy maa tiivistää huolellisesti ja siksi työvaiheen kesto on pitkä. Kaivutöiden ja muiden maarakennustöiden kesto-oon vaikuttaa olennaisesti siirrettävän sillan koko ja tyyppi.

Mikäli siirtoratojen tukemisessa joudutaan käyttämään paalutusta, on paalujen mahdollinen asentaminen ja katkominen koko siirtokatkon kannalta kriittinen työvaihe. Riippuen paalutuksen tyypistä ja määrästä, työvaihe voi jopa kaksinkertaistaa sillan siirtämiseen vaaditun katkon pituuden. Suurin osa paaluista pyritään kuitenkin asenta-

maan jo ennen siirtokatkoa. Jopa radan kohdalla sijaitsevat paalut voidaan asentaa ennakoon, mikäli paikalla ei ole vanhaa siltaa. Koska paalutus vie paljon aikaa siirtokatkosta, tulee se aina suunnitella tarpeita vastaavaksi, mikäli siirtokatkon aikataulu on tiukka.

Siirtokatkon aikana tukiseinärakenteiden rakentaminen on yksi aikaa vievimmistä työvaiheista. Siksi tukiseinärakenteita käytettäessä suoritetaan niiden asentaminen erillisten liikennekatkojen aikana ennen varsinaista siirtokatkoa.

3.2.3 Jumbopalkki-menetelmä

Ennen siirtokatkoa tehtävät työvaiheet

Ennen siirtokatkoa Jumbopalkki-menetelmän työvaiheet ovat pääosin samat kuin perinteisen sillansiirtomenetelmän. Tyypillisesti ennen siirtokatkoa kiskot katkaistaan tarvittavista kohdista ja liitetään tilapäisliitoksella yhteen. Lisäksi jumbopalkki-menetelmässä siirtoradan perustuksenakin toimivat sillan paaluperustukset asennetaan ennen siirtokatkoa lyhyiden liikennekatkojen aikana tai jopa ilman liikennekatkoja. (Kataja 2010b)

Siirtokatkon aikana tehtävät työvaiheet

Sillan siirtämistä edeltävät työvaiheet

Maankaivutyöt suoritetaan Jumbopalkki-tekniikkaa käytettäessä vastaavalla tavalla kuin perinteisessä sillansiirtomenetelmässä. Suurin ero menetelmien välillä syntyy siirtoradan perustamisvaiheessa. Jumbopalkki-menetelmässä siirtorata ei vaadi enää tässä työvaiheessa perustusten tekemistä, sillä siirtoratojen perustuksina toimivat paalut on asennettu aikaisemmin lyhyiden liikennekatkojen aikana raiteen ulkopuolelle. Jumbopalkki lasketaan ennakoon asennettujen paalujen varaan. Nimitys Jumbopalkki tulee kolmen tavanomaisen siirtorataan käytetyn palkin jäykästä liitoksesta. Normaalin HEB-palkin molemmin puolin lisätään palkit ja kiinnitetään niin, että liitos tekee palkkiyhdistelmästä jäykän. Tällä menetelmällä saadaan siirtoradan tekoa nopeutettua entisestään, kun siirtoradan maapohjaa ei tarvitse tiivistää ja tasoittaa eikä siirtoradan asentaminen ole yhtä tarkkaa kuin perinteisessä sillansiirtomenetelmässä. (Kataja 2010b)

Sillan siirtäminen

Sillan siirtäminen suoritetaan tässä menetelmässä samalla tavalla perinteiseen sillansiirtomenetelmään verrattuna. Vaikka siirtoradat ovat menetelmissä erilaiset, voidaan molemmissa käyttää samaa siirtokalustoa.

Sillan siirtämisen jälkeiset työvaiheet

Sillan siirtämisen jälkeen jumbopalkki-menetelmän työvaiheet vastaavat perinteisen siirtomenetelmän työvaiheita. Siltatyypistä riippuen siltakansi liitetään tarvittaessa perustuspaaluihin. Lisäksi sillan päiden täyttötöyt ja muut maanrakennustyöt suoritetaan perinteisen sillansiirtomenetelmän mukaisesti.

Siirtokatkon jälkeiset työvaiheet

Jumbopalkki-menetelmässä siirtokatkon jälkeiset työvaiheet suoritetaan vastaavalla tavalla kuin perinteisessä sillansiirtomenetelmässä. Näitä työvaiheita ovat esimerkiksi sillan alittavan väylän rakentaminen sekä viher- ja muut viimeistelytyöt.

3.3 Sillansiirtotekniikalla toteutetut rautatiesillat

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sillan sivussarakentamistekniikkaa kolmea kesällä 2010 toteutettavaa rautatiesiltaa hyödyntäen. Esimerkkisiltojen avulla tutkitaan muun muassa työvaiheiden kestoa ja ajoittumista toisiinsa nähden. Lisäksi arvioidaan työvaiheiden onnistumista ja analysoidaan mahdolliset epäonnistumiset.

3.3.1 Tittarajärven alikulkusilta

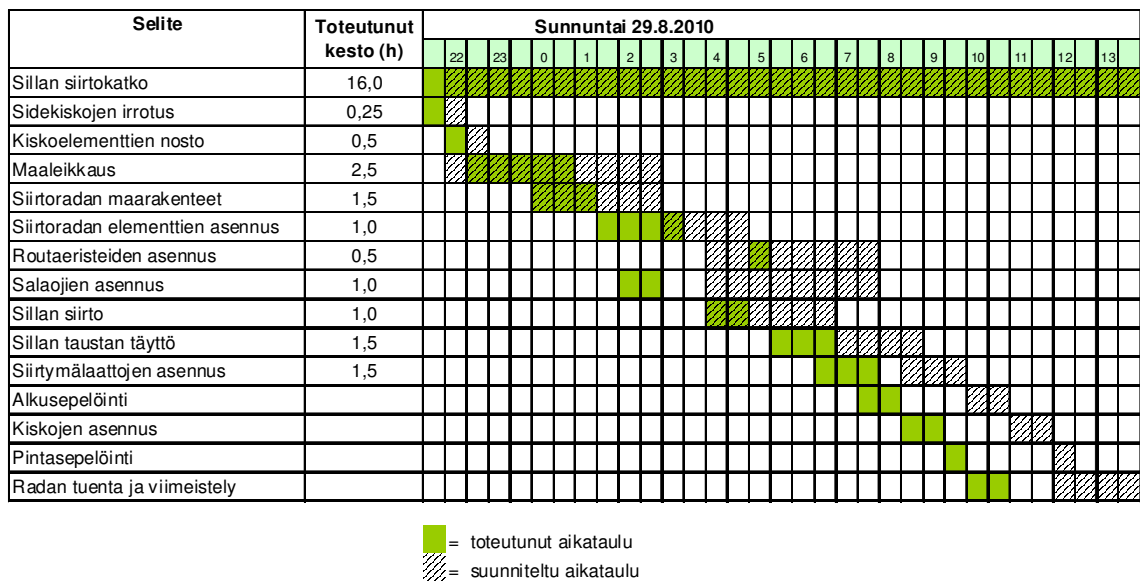
Tittarajärven alikulkusilta sijaitsee Itä-Suomessa Lappeenrannan kaupungissa noin 15 kilometriä keskustasta lounaaseen. Silta sijoittuu Luumäki-Vainikkala väliselle rataosuudelle ja se on Ämmälänjoen ylittävä silta Tittarajärven ja Pulsanlammen välillä. Hankkeessa pääurakoitsijana toimi Destia Oy ja sillan siirtämisen sekä siihen liittyvien työvaiheiden osalta aliurakoitsijana Oy VR-Rata Ab Megasiirto. Uudella sillalla korvattiin vanha silta, jonka kunto ei enää vastannut rataosuuden nopeus- ja akselipainovaatimuksia. Uusi silta on tyypiltään 1-aukkoinen jännitetty betoninen ulokekaukalopalkkisilta, jonka jännemitat ovat 1,5m + 16m + 1,5m ja hyödyllinen leveys 7,3m. Sillan kokonaispituus on 22,9m. Silta on perustettu kallioon tukeutuvien porapaalujen varaan, mutta vanhat maatuet jäivät kuitenkin paikoilleen. Vanhojen maatuken rajaama vapaaaukko on noin 6,4m ja vapaa alikulkukorkeus on keskimäärin 1,8m. Uuden sillan massa on noin 500 tonnia. (Ratahallintokeskus 2009a)

Sillan siirtämistä edeltävät työvaiheet, kuten sillan rakentaminen sekä tukipaalujen poraaminen, on aloitettu kohteessa jo aikaisemmin keväällä. Sillan siirtäminen tapahtui 22.–23.6.2010 noin 40 tunnin liikennekatkon aikana. Pitkä liikennekatko mahdollisti

3.3.2 Kovalan alikulkusilta

Kovalan alikulkusilta sijaitsee Mikkelin kaupungissa, Etelä-Savossa. Silta sijaitsee Mikkelin ja Haukivuoren välisellä rataosuudella noin 20 kilometriä pohjoiseen Mikkelin keskustasta. Siltahankkeessa rakennetaan uusi, radan alittava silta, jotta Kovalan sekä Roiton tasoristeykset voidaan poistaa. Mikkeli-Haukivuori -rataosalla tasoristeykset poistetaan turvallisuuden parantamiseksi sekä rataosuuden nopeuden nostamiseksi. Rataosalta on tarkoitus poistaa kaikki tasoristeykset vuoden 2012 loppuun mennessä. (Länsi-Savo 2010)

Kovalan siltahankkeessa pääurakoitsijana toimi Suomen Teollisuus ja Maarakennus Oy ja aliurakoitsijana sillansiirron osalta Oy VR-Rata Ab Megasiirto. Rakennettava silta on tyypiltään jännitetty betoninen ulokelaattasilta, jonka jännemitat ovat 2,0m + 22,0m + 2,0m. Sillan hyödyllinen leveys on 7,2 metriä, alikulkukorkeus 4,7 metriä ja kokonaispituus 32,6 metriä. Uusi silta on perustettu halkaisijaltaan 610 millimetrinen poraapaalujen varaan. Uusi sillan kansi sekä perustuksena toimivat paalut rakennettiin kohteessa jo aikaisemmin kesän 2010 aikana. Sillan siirtämiseen varattu liikennekatko ajoitui elokuun loppuun alkaen lauantaina 28.8. kello 22.00 ja päättyen sunnuntaina 29.8. kello 14.00. Kuvassa 3.7 on esitetty siirtokatkon suunniteltu sekä toteutunut aikataulu. (Liikennevirasto 2010a)



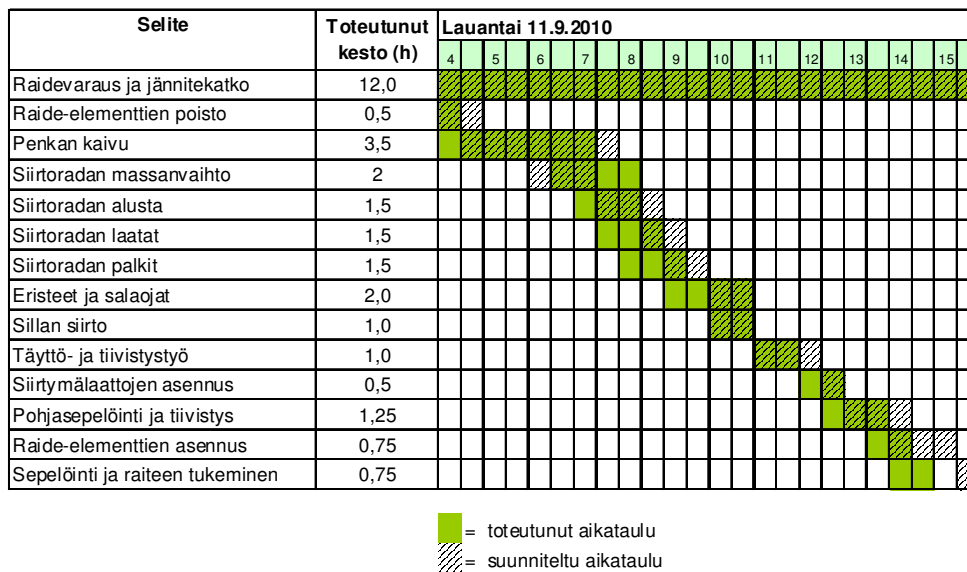
Kuva 3.7 Kovalan alikulkusillan sillansiirtoaikataulu. (Liikennevirasto 2010a)

Työn suorituksen aikana ei ilmennyt ongelmia, mitkä olisivat hidastaneet töiden kulkua. Vaikka liikennekatkon pituus oli vain 16 tuntia ja aikataulu tiukka, suoritettiin useat työvaiheet suunniteltua nopeammin. Kokonaisuutena työt kohteessa sujuivat jopa suunniteltua paremmin ja aikataulusta oltiin parhaimmillaan edellä useita tunteja. Töiden sujuvaan edistymiseen vaikutti ennen kaikkea kohteen maasto-olosuhteet, jotka olivat hyvinkin suotuisat eikä aikaa vieviä työvaiheita, kuten siirtoradan paalutusta, tarvittu.

3.3.3 Hipin alikulkusilta

Hipin alikulkusilta sijaitsee Seinäjoen kaupungissa noin kymmenen kilometriä keskustasta koilliseen. Silta sijaitsee rataosalla Seinäjoki-Ruha ja kuuluu Seinäjoen ja Oulun välisen rataosan palvelutason parantamishankkeeseen. Seinäjoki-Ruha kaksoisraiteen rakentamisen yhteydessä poistetaan nopeudennoston myötä seitsemän tasoristeystä, joihin myös Hipin tasoristeys kuuluu. (Saranpää 2010)

Hipin alikulkusiltahankkeessa pääurakoitsijana toimii Sundström Ab Oy, joka suorittaa kohteen maarakennustyöt. Sillanrakennuksen osalta aliurakoitsijana toimi Peab Infra Oy sekä sillansiirron osalta Oy VR-Rata Ab Megasiirto. Uusi silta on tyypiltään jännitetty betoninen ulokelaattasilta, jonka jännemitat ovat 2,0m + 24,0m + 2,0m. Sillan hyödyllinen leveys on 7,2 metriä, vapaa alikulkukorkeus 4,6 metriä ja kokonaispituus 35 metriä. Uusi silta on perustettu halkaisijaltaan 914 millimetrisille teräsputkipaaluille. Sillanrakennustyöt kohteessa on tehty jo aikaisemmin kesällä ja siirtokatko ajoittui lauantaiksi 11.9.2010 alkaen kello 04.00 ja päättyen kello 16.00. Kuvassa 3.8 on esitetty Hipin alikulkusillan sillansiirtoaikataulu. (Ratahallintokeskus 2008)



Kuva 3.8 Hipin alikulkusillan siirtokatkon aikataulu. (Ratahallintokeskus 2008)

Liikennekatkon pituus Seinäjoen siltahankkeessa oli vain 12 tuntia, joten aikataulussa pysyminen oli erittäin tärkeää. Katkon pituudesta johtuen suuria eroja ei toteutuneen ja suunnitellun aikataulun välillä syntynyt, mutta lopulta kaikki työvaiheet saatiin valmiiksi noin tunnin suunniteltua aikaisemmin. Yllättäviä tekijöitä, jotka olisivat hidastaneet sillansiirtoa merkittävästi, ei ilmennyt. Kohteessa oli rakennettu kaksoisraiteen toinen silta jo aikaisemmin, mutta sekään ei hankaloittanut maarakennustöitä aikataulua hidastavasti. Joissakin yksittäisissä työvaiheissa kului suunniteltua kauemmin, mutta niiden vaikutus kokonaisaikatauluun jäi vähäiseksi. Esimerkiksi salaojien ja eristeiden asentamiseen kului kaksinkertainen aika suunniteltuun verrattuna. Kokonaisuutta ajatellen

siirtokatkoon liittyvät työvaiheet sujuivat kuitenkin odotusten mukaisesti ilman ongelmia, mikä mahdollisti työvaiheiden valmistumisen aikataulussa.

3.3.4 Yhteenveto siirrettävistä rautatiesilloista

Kolmen edellä käsitellyn esimerkkihankkeen avulla voidaan arvioida sillansiirtoon liittyvien työvaiheiden keskimääräistä kestoja ja arvioida eri työvaiheiden merkitystä aikataulun kannalta. Voidaan myös tehdä johtopäätöksiä ja arvioita siitä, mitkä työvaiheet ovat riskialteimpia aikataulussa pysymisen kannalta ja minkä työvaiheiden suorittamiseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota. Tittarajärven alikulkusiltaesimerkissä siirtokatko oli poikkeuksellisen pitkä, joten työvaiheet olivat osittain huomattavastikin pidempiä kuin Kovalan ja Hipin esimerkeissä. Tämän vuoksi Kovala ja Hippi antavat paremman kuvan siitä, kuinka sillansiirto voidaan tehokkaimmillaan suorittaa.

Maankaivu on työvaiheista yksi pitkäkestoisimmista ja kriittisimmistä. Tämän työvaiheen aikana on suuri riski jäädä jälkeen aikataulusta, mikäli kaivettavia massoja ei ole laskettu huolellisesti ja järjestetty riittävästi kalustoa suorittamaan tätä työvaihetta. Mikäli siirtoradat joudutaan paaluttamaan, on se koko siirtokatkon kannalta tahdistavin työvaihe. Koska siirtoradan paalutus väistämättä kestää useita tunteja, ei sen käyttö tule kyseeseen lyhyissä liikennekatkoissa tai se tulee tehdä jo etukäteen. Sillan siirtämiseen liittyvät työvaiheet vievät siirtokatkon kokonaisajasta keskimäärin vain kolmesta neljään tuntiin. Usein siirtoa valmistelevia työvaiheita eli siirtoradan elementtien asennusta hidastaa edellisten työvaiheiden keskeneräisyys eli todellisuudessa siirtoradan tekemiseen kuluva aika on lyhyempi kuin aikataulujen perusteella voisi päätellä, sillä työvaihe sisältää useimmiten myös odotteluaikaa. Käytännössä useimmiten toinen siirtorata on jo kokonaisuudessaan valmis ennen kuin toisen siirtoradan pohjatöitä voidaan alkaa tehdä. Toisaalta työn edistymisen kannalta onkin parempi, että toisen siirtoradan pohjatöitä tehdään ensin sellaiseen vaiheeseen, että voidaan siirtyä jo seuraavaan työvaiheeseen työstäessä seuraavan siirtoradan pohjatöitä. Kokonaisuikataulua voidaan nopeuttaa, kun työvaiheita limitetään eikä suoriteta peräkkäisinä työvaiheina. Sillan siirtämisen jälkeen sillan päiden täyttötöiden nopeus riippuu käytetyn kaluston sekä työntekijöiden määrästä. Työvaiheet voidaan suorittaa hyvinkin nopeasti, kuten Hipin siltaesimerkki osoittaa.

Kokonaisuutta ajatellen Hipin esimerkin kaltainen sillansiirto edustaa sillansiirtotekniikan hyödyntämistä tehokkaimmillaan. Pienempien siltojen siirtäminen on mahdollista myös lyhyemmän liikennekatkon aikana, mutta Hipin alikulkusillan kokoisen sillan siirtämiseen käytettävä aika on tässä esimerkissä lyhimmillään. Työkoneiden määrä kohteessa oli maksimoitu, joten kaivutyönkään osuutta ei merkittävästi saisi lyhennettyä. Kovalan siltakohde oli hyvin samankaltainen kuin Hipin esimerkki ja työvaiheiden kestotkin vastasivat suurelta osin toisiaan. Tittarajärven esimerkki eroaa toisista kohteista huomattavan pitkän siirtokatkon vuoksi. Tämän vuoksi aikataulua olisi pystynyt kiristämään tarvittaessa hyvinkin paljon. Tittarajärven esimerkissä voidaan myös havaita

vanhan sillan purkamisen ja paalutuksen merkitys aikataulun kannalta, mikä kuitenkin tässä esimerkissä sujui nopeasti ja seuraavia työvaiheita hidastamatta. Lisäksi Tittarajärven esimerkissä erityispiirteinä muihin esimerkkeihin verrattuna oli sillan alittava vesistö, mikä hankaloitti muun muassa työmaan liikennejärjestelyjä.

3.4 Sillansiirtotekniikan käyttö tiesiltojen rakentamisessa

3.4.1 Erot rautatiesiltojen rakentamiseen verrattuna

Sillansiirtotekniikan käyttö tiesiltojen rakentamisessa ei vaadi siirtomenetelmän teknisten ominaisuuksien muuttamista, vaan menetelmää voidaan soveltaa myös tiesiltojen rakentamisessa hyvinkin pienillä muutoksilla. Joidenkin tekijöiden osalta tieympäristö jopa nopeuttaa työvaiheita, kun rautatieympäristön ongelmatekijöitä, kuten sähköistystä ja turvalaitteita, ei tarvitse ottaa huomioon. Yleisten ominaispiirteiden lisäksi osa yksittäisistä työvaiheista eroaa tie- ja ratasiltojen rakentamisen osalta.

Erityisesti rautateilla radan sähköistys (ajolangat) hankaloittaa sillanrakennustöitä aina jossain määrin. Ennen töiden aloittamista tulee huolehtia jännitekatkon alkamisesta ja ajolangat rajoittavat sijaintinsa puolesta työmaan kaluston käyttöä. Joissakin tapauksissa ajolankoja voidaan joutua siirtämään, mikäli ne aiheuttavat huomattavaa haittaa sillanrakennustyölle. Tiesiltojen rakentamisessa ei sähköistys- eikä ajolankaongelmia ole, joten työmaan kaluston kokoa voidaan kasvattaa ja näin parantaa esimerkiksi kaivinkoneiden kapasiteettia. Tehokkaammalla kalustolla voidaan saavuttaa ajallista etua muun muassa maankaivutöiden osalta.

Työvaiheista sillan perustusten rakentaminen eli paalutus eroaa perinteisestä tiesiltojen rakentamisesta, missä tyypillisesti käytetään betonipilareita sillan perustuksena. Sillansiirtomenetelmää käytettäessä nopein ja käytännöllisin tapa rakentaa sillan perustukset on pora- tai lyöntipaalujen käyttö. Paalut asennetaan rautateilla ennen sillan rakentamista tyypillisesti lyhyiden liikennekatkojen aikana. Riippuen rataosasta, lyhyt liikennekatko on mahdollista toteuttaa myös ilman aikataulumuutoksia junaliikenteessä. Tiesiltojen toteutuksessa paalujen asentaminen pitäisi tehdä liikenteen seassa käyttäen esimerkiksi kaistavuokrausta, joten liikenteelle aiheutuisi tämän työvaiheen aikana häiriötä. Häiriöiden minimoimiseksi tiesiltojenkin rakentamisessa tulisi sillansiirtomenetelmää käytettäessä siirtyä pora- tai lyöntipaalujen käyttöön. Myös maanvaraisia siltoja voidaan rakentaa sillansiirtomenetelmällä.

Siirtokatkon alkaessa rautateilla suoritetaan jännitekatko ennen kuin työt voidaan aloittaa. Tiesiltojen rakentamisessa tätä työvaihetta ei tarvitse suorittaa, mutta liikennekatko tiellä vaatii liikenteenohjauslaitteiden asentamista, mikä voidaan suorittaa jännitekatkoa vastaavana työvaiheena. Seuraava työvaihe rautatiesiltojen rakentamisessa eli raiteiden purkaminen korvataan tiesiltahankkeissa asfaltin poistolla ja lopuksi tiesiltojen

rakentamisessa tulee suorittaa tien päällystys. Sillansiirtoon liittyvät maarakennustyöt sekä sillan siirtäminen ovat liikennemuodosta riippumatta samat, joten suurimmat erot siirtokatkon aikaisissa työvaiheissa syntyvät päällysteen poistosta sekä päällystämisestä.

3.4.2 Sillansiirron aikataulu tiesiltahankkeessa

Jotta sillansiirtomenetelmää voidaan käytännössä hyödyntää myös tiesiltojen rakentamisessa, on tarpeen tarkastella mahdollista aikataulua sillansiirrolle. Tämän aikataulun avulla voidaan arvioida tarvittavan siirtokatkon pituutta tiesiltojen rakentamisen yhteydessä. Joiltakin osin työvaiheiden tarvitsema aika on rautatiesiltojen rakentamisessa käytettyä pidempi, mutta merkittävimmin työvaiheiden tarvitsemaan aikaan vaikuttaa tapauskohtaiset ominaisuudet, jotka tulee arvioida jokaisen hankkeen yhteydessä erikseen. Tässä yhteydessä on kuitenkin tehty arvio aiemmin esille tulleisiin esimerkkeihin pohjautuen. Kuvassa 3.9 on esitetty sillansiirron mahdollinen aikataulu tiesiltahankkeessa. Aikataulu on laadittu kolmeen rautatiesiltaesimerkkiin perustuen, joten työvaiheiden kestot voivat muuttua merkittävästikin hankkeesta riippuen. Keskeistä kuitenkin on, että siirtokatkon kokonaispituus ei välttämättä ole tiesiltahankkeessa pidempi kuin rautatiesiltaa rakennettaessa. Siirtokatkon ajoittuminen tulee myös miettiä tapauskohtaisesti riippuen paikallisista olosuhteista. Tieliikennettä ajatellen voisi siirtokatkon ajankohdaksi ajatella esimerkiksi iltapäivän ruuhkaisimman ajan tai aamuruuhkan jälkeen alkaa liikennekatkoa. Kuvan 3.9 esimerkissä siirtokatko aloitetaan kuudelta illalla ja ilman viimeistä työvaihetta silta voitaisiin avata liikenteelle jo ennen aamun ruuhkaisinta liikennettä.

Selite	Toteutunut kesto (h)																						
		18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Liikenteenohjauslaitteiden asennus	0,5	■																					
Päällysteen poisto	2,0	■	■	■	■																		
Maaleikkaus	3,0			■	■	■	■	■															
Siirtoradan maarakenteet	1,5					■	■	■															
Siirtoradan elementtien asennus	1,5							■	■	■													
Sillan siirto	1,0									■	■												
Siirtymäläattojen alapuolinen täyttö	2,0									■	■	■	■										
Siirtymäläattojen asennus	1,5											■	■	■									
Siirtymäläattojen yläpuolinen täyttö	1,5													■	■	■							
Suoja-asfaltti ja päällystäminen	8,0															■	■	■	■	■	■	■	■

Kuva 3.9 Sillansiirron aikatauluesimerkki tiesiltahankkeessa.

Ajallisesti suurimmat erot tie- ja rautatiesiltojen siirtämisessä syntyvät päällysrakenteen eli raiteen tai päällysteen poistosta. Raide poistetaan keskimäärin noin kolmessa osassa ja kun kiskojen katkaisu on tehty jo aiemmin, raide-elementtien poisto on nopea toimenpide. Asfaltin poisto saattaa viedä raiteiden poistoon verrattuna kauemmin aikaa, mutta kaluston määrää lisäämällä työvaihe voidaan suorittaa parissa tunnissa. Työvaiheen aika riippuu pääasiassa sillan koosta, mikä vaikuttaa poistettavan asfaltin pinta-alaan. Tämä esimerkki on laskettu noin 30-metrisen sillan mukaan. (Harju 2010)

Maankaivutyön aikaa yleisesti on vaikea arvioida, sillä sen kesto riippuu kaivettavien massojen määrästä. Tiesiltojen rakentamisessa voi olla mahdollista hyödyntää suurempaa kalustoa kuin rautatiesiltojen rakentamisessa, joten kaivutyön kokonaiskesto on lyhyempi vastaavassa tiesiltahankkeessa. Maansiirtokaluston kulkuyhteydet siltapaikalle on tiesiltahankkeissa usein helpompi toteuttaa, mikä osaltaan helpottaa kaivutyötä. Sillan siirtämiseen liittyvät työvaiheet eli siirtoradan pohjien teko, siirtoradan laattojen ja palkkien asennus sekä sillan siirtäminen voidaan tiesiltoja rakennettaessa suorittaa samalla tavalla kuin rautatiesiltojen yhteydessä, joten työvaiheiden kestot ovat suuruudeltaan saman kaltaiset liikennemuodosta riippumatta. Myös sillan päiden täyttötöitä voidaan suorittaa tiesiltoja rakennettaessa vastaavalla tavalla kuin rautateilla, joten työvaiheen kestossa ei ole suuria muutoksia liikennemuodosta riippuen. Enemmän työvaiheen keston vaikuttaa tiivistettävien maamassojen määrä sekä tiivistystyön tehokkuus.

Tiesiltojen osalta vedeneristys asennetaan siltakannelle jo ennen siirtoa, jotta sen asentaminen ei vie ylimääräistä aikaa siirtokatkon aikana. Riippuen kohteesta asfaltointiin voi suorittaa siirtokatkon aikana tai liikenteen jo kulkiessa siltaa pitkin. Mikäli asfaltointia ei suoriteta siirtokatkon aikana, voidaan sillan eristyksen päälle kuitenkin asentaa suojakerros jo katkon aikana. Vaihtoehtoisesti päällystäminen kokonaisuudessaan voidaan suorittaa jo siirtokatkon aikana, jolloin ensin asennetaan suojakerros ja sen jälkeen päällystekerroksia tarvittava määrä. Päällystämisen kestoksi voidaan arvioida kahdeksan tuntia, mikä sisältää kaikkien tarvittavien päällystekerrosten rakentamisen. Liikennekatkon pituus voidaan minimoida avaamalla silta liikenteelle jo ennen asfaltointia ja päällystää siltapaikka myöhemmin vähäliikenteisempänä ajankohtana.

Kokonaisuudessaan siirtokatkon aikana tehtävät työvaiheet voidaan suorittaa tehokkaimmillaan lähes samassa ajassa kuin rautateilläkin eikä työvaiheiden suorituksessa ole suurta eroa. Onnistuneen aikataulusuunnittelun perustana tiesiltojenkin osalta toimii huolellinen suunnittelu esimerkiksi kaivettavien massojen määrän osalta. Kun määrät on laskettu oikein, saadaan liikennekatkon pituus minimoitua eikä aikataulusta myöhästytä.

4 SILLAN SIVUSSARAKENTAMISMENETELMÄN SOVELTAMINEN TIESILTOIHIN

4.1 Tiesiltahankkeiden kustannusvaikutukset

4.1.1 Yleistä

Tiesiltahankkeiden aiheuttamilla kustannuksilla tarkoitetaan silta- ja tietyömaiden liikenteelle ja yhteiskunnalle aiheuttamia kustannusvaikutuksia, joita väistämättä syntyy työmaalla muuttuvien liikennejärjestelyiden myötä. Kustannusvaikutukset sisältävät pääosin liikenteestä aiheutuvien kustannusten kasvua, jotka kohdistuvat tieympäristön eri toimijoille. Tieliikenteestä aiheutuu eri osapuolille ajokustannuksia sekä tienpidon kustannuksia. Näistä ajokustannukset voidaan edelleen jakaa neljään alaryhmään: ajoneuvokustannukset, aikakustannukset, onnettomuuskustannukset sekä ympäristökustannukset. Toisaalta tieliikenteen aiheuttamat kustannukset voidaan jaotella myös kustannusten kohdistumisen perusteella tienkäyttäjiin, tienpitäjään ja muuhun yhteiskuntaan kohdistuviin kustannuksiin. Tienkäyttäjiin kohdistuvat kustannukset muodostuvat pääosin ajoneuvo- sekä aikakustannuksista. Lisäksi onnettomuuskustannuksista sekä ympäristökustannuksista osan voidaan ajatella kohdistuvan tienkäyttäjiin ja osan muuhun yhteiskuntaan. Tienpitäjän puolestaan täytyy ajokustannusten lisäksi huomioida myös investointi- sekä elinkaarikustannukset siltahankkeissa. Tässä luvussa esitellään tarkemmin liikenteen aiheuttamat eri kustannuslajit ja niiden kohdistuminen tieympäristön eri osapuolille. (Tiehallinto 2005c)

Nykytilanteessa ajokustannuksia käytetään pääasiassa yhteiskuntataloudellisessa kannattavuusanalyysissä hankearviointien ja -vertailujen yhteydessä. Ajokustannusten käytön tarve on alun perin syntynyt juuri hanketason arviointeja varten, mutta niiden käytölle on ilmennyt uusia tarpeita. Liikenneviraston tavoitteena on jatkossa kehittää ajokustannusten käyttöä tehokkaammaksi sekä laajentaa niiden käyttömahdollisuuksia. Työmaiden aiheuttamia lisäajokustannuksia ei nykyään toimenpidevaihtoehtovertailussa arvoteta, mutta Liikennevirasto on selvityksissään todennut, että myös rakentamisen aikaisten haittakustannusten huomioon ottamista tulisi jatkossa kehittää monipuolisemmaksi. Tietyömaan aiheuttamia liikennehaittoja on Suomessa joissakin yksittäisissä hankkeissa simuloitu, mutta yleiseen käyttöön ei menetelmää ole vielä sovellettu. (Tiehallinto 2003a; Tiehallinto 2007a)

Tietyömaat (mukaan lukien siltatyömaat) häiritsevät sen läpi kulkevaa liikennettä työmaan tyypistä ja laajuudesta riippumatta. Pääasiassa ajokustannukset lisääntyvät kasvaneen matka-ajan sekä onnettomuusriskin myötä. Matka-ajan piteneminen taas johdetaan aiheuttamasta ajonopeuden alenemisesta, ajoväylän heikosta kunnosta ja muuttuneista liikennejärjestelyistä sekä liikenteen ruuhkautumisesta. Lisäksi ajoneuvokustannukset usein kasvavat tietyömaiden vaikutuksesta. Mikäli näille eri haittatekijöille lasketaan kustannukset Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti, voidaan tulokseksi saada huomattaviakin kustannuksia jopa investointikustannuksiin nähden. Kustannusten suuruus riippuu ennen kaikkea liikenteen määrästä sekä vallitsevista olosuhteista. Liikennemäärä vaikuttaa osaltaan kiertoteihin ja muihin työnaikaisiin liikennejärjestelyihin asettamalla niille laadullisia vaatimuksia. Liikennevirasto on määrittänyt ajokustannusten eri komponenteille yksikköarvot, joiden pohjalta laskenta voidaan suorittaa. Eri haittakomponenttien ja niille määriteltyjen yksikköarvojen perusteella saadaan työmaan aiheuttamista haitoista paremmin kokonaiskuva. (Tielaitos 2000; Tiehallinto 2003b)

4.1.2 Kustannuslajit

Ajokustannukset

Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannuksilla kuvataan auton käytöstä aiheutuvia kustannuksia kuten polttoaine-, huolto-, rengas- sekä korjauskustannuksia. Ajoneuvokustannukset määräytyvät liikennesuorituksen perusteella ja muuttuvat nopeuden ja nopeusvaihteluiden mukaan. Siltahankkeiden rakentamisvaiheessa, missä työmaajärjestelyt muuttuvat ja nopeusrajoitukset ovat alhaiset, syntyy jatkuvasti suuriakin nopeuden muutoksia, mikä aiheuttaa ajoneuvokustannusten kasvua. Polttoainekustannukset on määritelty polttoaineen verotoman myyntihinnan (2004) sekä eri ajoneuvotyyppien keskimääräisen polttoaineen kulutuksen perusteella. Muut käyttökustannukset on määritelty aiemmin tehtyjen kustannuskyselyiden perusteella ja päivitetty ammatiliikenteen kustannusindekseillä. Arvojen määrittämisessä on käytetty myös ajoneuvolajikohtaisia tilastoja keskiarvoista. Vuoden 2005 yksikköarvot ovat tällä hetkellä voimassaolevat, mutta Liikennevirasto julkaisee päivitettyt yksikköarvot vuoden 2010 aikana. (Tiehallinto 2005b; Tiehallinto 2005c)

Ajoneuvokustannukset tietyllä matkalla ja aikavälillä voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$Ank(snt / T) = Ank(snt / km) \times L \times KVL \times T. \quad (1)$$

Kaavassa suure T kuvaa aikaa vuorokausissa, KVL on keskimääräinen vuorokausiliikenne ja L matkan pituus kilometreinä. Kun ajoneuvokustannus kerrotaan matkan pituudella, saadaan tulokseksi yhteen autoon kohdistuva kustannus tällä matkalla. Ajoneuvokustannuksen arvo kilometriä kohti saadaan yksikköarvotaulukosta. Kun yhden auton kustannus kerrotaan keskivuorokausiliikenteen arvolla, saadaan vuorokausikohmainen kokonaiskustannus. Jälleen kertomalla tämä halutulla vuorokausimäärällä saadaan pidemmän aikavälin kustannusarvio halutulta ajalta. Laskentakaavaa voi soveltaa esimerkiksi kiertotien aiheuttamiin lisäkustannuksiin kun tiedetään kiertotien pituus verrattuna normaalin tieyhteyden pituuteen, keskivuorokausiliikenne sekä kiertotien käyttöaika vuorokausissa. Mikäli raskaan liikenteen osuus keskivuorokausiliikenteestä on huomattavan suuri, voidaan sen ajoneuvokustannukset laskea erikseen. Taulukossa 4.1 on esitetty ajoneuvokustannukset ajoneuvotyypeittäin vuonna 2005.

Taulukko 4.1 Ajoneuvokustannusten yksikköarvot vuonna 2005. (Tiehallinto 2005c)

Tyypiajoneuvo	Polttoainekustannus	Muut käyttökustannukset	Yhteensä
Kevyt ajoneuvo, snt/km	2,91	2,9	5,81
henkilöauto, snt/km	2,83	2,85	5,68
pakettiauto, snt/km	3,82	3,42	7,42
Raskas ajoneuvo, snt/km	11,06	15,46	26,52
linja-auto, snt/km	11,5	11,5	23
kuorma-auto, snt/km	10,82	17,59	28,41
Ajoneuvoyhdistelmä, snt/km	17,26	18,86	36,12
kuorma-auto ja puoliperävaunu, snt/km	14,67	16,46	31,13
kuorma-auto ja varsinainen perävaunu, snt/km	17,72	19,28	37

Aikakustannukset

Vaihtoehtoisen ajankäytön eli matka-ajan lyhenemisen aiheuttamaa hyötyä kuvaa matka-aikasäästön arvo, aikakustannus. Aikakustannuksen arvo perustuu siihen, että liikenteessä kuluvalle ajalle on aina olemassa vaihtoehtoinen käyttötarkoitus. Ajan arvo vaihtelee matkan tarkoituksesta riippuen. Eri matkatyyppejä ovat työajan-, työ- ja asiointi- sekä vapaa- tai loma-ajan matka. (Tiehallinto 2005c)

Matka-aikasäästön arvo työajan matkalle lasketaan työajan arvoon perustuen. Työajan arvot on määritetty vuoden 2004 yleisten palkkakustannustilastojen perusteella. Työ- tai asiointimatkojen sekä vapaa- tai loma-ajan matkojen ajan arvo lasketaan 35 %:n suhteella työajan matka-aikasäästön arvosta. Matka-aikasäästöjen yksikköarvot eri ajoneuvolajeille on esitetty taulukossa 4.2. (Tiehallinto 2005c)

Taulukko 4.2 Matka-aikasäästöjen yksikköarvot vuonna 2005. (Tiehallinto 2005c)

Ajoneuvolaji	Matkan tarkoitus	Kuormitus henkilöä/ auto	euroa/ tunti/ henkilö	euroa/ tunti/ auto
Kevyt ajoneuvo	Työajan matka (14,8 %)	1,34	23,59	31,56
	Työ- tai asiointimatka (37,4 %)	1,44	7,22	10,40
	Vapaa- tai loma-ajan matka (47,9 %)	2,18	7,22	15,76
	Keskimäärin	1,78	9,04	16,09
Raskas ajoneuvo				
Kuorma-auto	Työajan matka	1,1	16,64	18,30
Linja-auto	Kuljettaja	1	19,18	
	Matkustajat			
	Työajan matka (5 %)		25,59	
	Työ- tai asiointimatka (35 %)		7,22	
	Vapaa- tai loma-ajan matka (60 %)		7,22	
	Keskimäärin matkustajia	13,5	7,94	126,08
Yhdistelmä-ajoneuvo	Työajan matka	1,1	17,79	19,57

Tietyn matkan aiheuttama aikakustannus voidaan laskea määrittämällä ensin tähän matkaan kulunut aika. Aika voidaan määrittää matkan pituuden ja ajonopeuden avulla kaavalla

$$t = \frac{L}{V}. \quad (2)$$

Kun kaavassa käytetään nopeuden V yksikkönä km/h ja matkan L yksikkönä km , saadaan aika t tunteina h . Aikakustannus matkalla L yhtä autoa kohden voidaan laskea helposti kertomalla aika t taulukon yksikköarvoilla. Laskenta voidaan suorittaa myös laajemmin laskemalla aikakustannus pidemmällä aikavälillä. Aikakustannus usealle vuorokaudelle voidaan laskea kaavalla

$$\text{Aik}(\text{€}/T) = \text{Aik}(\text{€}/\text{h}/\text{auto}) \times t \times KVL \times T. \quad (3)$$

Kaavan termi $\text{Aik}(\text{€}/\text{h}/\text{auto})$ saadaan yksikköarvotaulukosta viimeisestä sarakkeesta. Yksikköarvo kerrotaan ensin ajalla t , mikä kuvaa tässä tapauksessa tietyn matkan aiheuttamaa ajan lisäystä. Matkan aiheuttamalla aikakustannuksella tarkoitetaan esimerkiksi kiertotiestä aiheutuvan matka-ajan kasvun kustannusta. Aika t voi olla myös odotuksesta tai viivytyksestä aiheutuva matka-ajan lisäys. Kertomalla kaksi ensimmäistä termiä saadaan aikakustannus yhtä ajoneuvoa kohti. Kertomalla keskivuorokausiliikenne vuorokausien lukumäärällä saadaan tulokseksi ajoneuvojen kokonaismäärä tällä aikavälillä,

jonka jälkeen saadaan laskettua aikakustannukset tiettyä vuorokausien lukumäärää kohden kertomalla kaikki termit keskenään. Tällöin tulokseksi saadaan aikakustannus, mikä aiheutuu liikenteelle kokonaisuutena vuorokausien T aikana. Laskenta voidaan suorittaa myös muita aikasuureita kuin vuorokausia kohti. Joissain tapauksissa voi olla tarve laskea esimerkiksi aamun tai iltapäivän liikennemäärän huipputunnin aikakustannus. Tällöin huipputunnin liikennemäärä sekä viivytykset tulee olla tiedossa ja ajan yksikkönä käytetään tuntia vuorokauden sijaan.

Onnettomuuskustannukset

Onnettomuuskustannuksilla tarkoitetaan liikenneonnettomuuksista aiheutuvia taloudellisia menetyksiä. Taloudellisia vaikutuksia ovat sekä aineellisen vahingon että aineettoman hyvinvoinnin menetyksen arvo. Onnettomuustyyppit voidaan luokitella seuraavasti:

- kuolemaan johtanut onnettomuus
- vammautumiseen johtanut onnettomuus
- keskimääräinen henkilövahinko-onnettomuus
- omaisuusvahinko-onnettomuus
- keskimääräinen tieliikenneonnettomuus.

Aineettoman hyvinvoinnin arvon määrittämisessä on käytetty lähtötietona tienkäyttäjien halukkuutta maksaa onnettomuusriskin alenemisesta. Helpommin määritettävissä on omaisuusvahingon arvo. Ajoneuvovaurioiden arvo voidaan selvittää ajoneuvovaurioiden keskimääräisistä seurauksista liikenneonnettomuuksissa. Myös henkilövahinkojen osalta voidaan arvioida helposti sairaanhoidon tarve ja yksilön työkyvyn menetyksen kesto kun henkilövahinkojen tyypit ovat tiedossa. Taulukoissa 4.3 ja 4.4 on esitetty sekä henkilövahinkojen että onnettomuustyyppikohtaiset yksikköarvot. (Tiehallinto 2005c)

Taulukko 4.3 Henkilövahinkojen yksikköarvot vuonna 2005. (Tiehallinto 2005c)

Henkilövahinkojen yksikköarvot	Euroa
Kuolema	1 752 000
Pysyvä vamma	986 000
Vaikea tilapäinen vamma	227 000
Lievä tilapäinen vamma	44 300
Tilapäinen vamma keskimäärin	135 000
Keskimääräinen (ei kuolemaan johtanut) vamma	221 000

Taulukko 4.4 Onnettomuustyyppikohtaiset yksikköarvot vuonna 2005. (Tiehallinto 2005c)

Onnettomuustyyppikohtaiset yksikköarvot	Euroa
Kuolemaan johtanut onnettomuus	2 205 000
Vammautumiseen johtanut onnettomuus	330 000
Henkilövahinko-onnettomuus keskimäärin	471 000
Omaisuusvahinko-onnettomuus	2 700
Tieliikenneonnettomuus keskimäärin	118 000

Onnettomuuskustannusten arvo muodostuu useista eri osatekijöistä. Näitä tekijöitä ovat hallinnolliset kulut, ajoneuvovahingot, sairaanhoitokulut, tuotannolliset menetykset sekä inhimillisen hyvinvoinnin menetys. Hallinnolliset kulut kattavat tässä tapauksessa pelastuslaitoksen, poliisin, oikeuslaitoksen sekä liikenneviraston kulut, sairaanhoitokulut tarkoittavat vakuutusjärjestelmän ulkopuolelle jääviä kuluja ja tuotannollisista menetyksistä aiheutuneet kulut tarkoittavat yksilön osuutta bruttokansantuotteen muodostuksessa. (Tiehallinto 2005c)

Työmaaympäristö on aina turvallisuusriski normaaleihin liikenneoloihin verrattuna ja siksi myös onnettomuuden todennäköisyys on työmaalla suurempi. Työmaan kohdalla sattuneiksi onnettomuuksiksi lasketaan työmaaksi liikennemerkein rajatun alueen sisäpuolella tapahtuneet liikenneonnettomuudet. Työmaiden liikenneonnettomuuksien rekisteröinti on kuitenkin puutteellista, sillä kaikkia tarvittavia lähtötietoja ei ole saatavilla. Työmailla tapahtuneiden onnettomuuksien kustannukset on jälkikäteen helppo laskea, mutta onnettomuuksien ennustaminen työmaaympäristössä on hankalaa ja arviointi pitää suorittaa tapauskohtaisesti liikenneturvallisuusasiantuntijoiden avulla. Onnettomuuksien ennustaminen yksiselitteisesti on hankalaa, sillä onnettomuuksien tapahtumiseen vaikuttaa muun muassa ihmisen käyttäytymiseen, ajoneuvoon sekä sää- ja keliolosuhteisiin liittyviä tekijöitä. Onnettomuusmallien avulla voidaan arvioida esimerkiksi tienparannustoimenpiteiden vaikutusta tieosuuden onnettomuusmääriin, mutta tilapäisten häiriötilanteiden onnettomuusarviointeihin mallit eivät sovellu. (Tiehallinto 2004b; Tiehallinto 2005b; Tielaitos 2000)

Ympäristökustannukset

Ympäristökustannukset voidaan jakaa tieliikenteessä pakokaasupäästöistä sekä melusta aiheutuviin kustannuksiin. Pakokaasupäästöjen yksikköarvot kuvaavat sitä aineellista ja aineetonta haittaa, mitä pakokaasut aiheuttavat luonnolle ja ihmisille. Ihmisiin kohdistuvia vaikutuksia ovat sairastamis- ja kuolleisuusvaikutukset ja luontovaikutuksia kasvien kasvulle aiheutuvat haitat. Pakokaasupäästöjen haittoja voidaan myös kuvata vaikutusalueen laajuuden avulla. Päästöt voivat vaikuttaa paikallisesti, alueellisesti tai jopa globaalisti. (Tiehallinto 2005c)

Pakokaasupäästöistä arvioidaan typen oksidit, hiukkaset, hiilimonoksidi, hiilivety sekä kasvihuonekaasut hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli. Pakokaasupäästöjen yksikköarvot vuonna 2005 on esitetty taulukossa 4.5. Tieliikenteen päästöistä voidaan määrittää päästöpituisuuksia, joihin arvottaminen perustuu. Päästöpituisuuksista johdetaan terveys- ja luontovaikutusten määrä altistus-vaikutusfunktioiden perusteella. (Tiehallinto 2005c)

Taulukko 4.5 Päästökustannusten yksikköarvot vuonna 2005. (Tiehallinto 2005c)

Yhdiste	Yksikkö	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin
Rikkidioksidi (SO ₂)	euroa/tonni	14 100	2 100	8 760
Typen oksidit (NO _x)	euroa/tonni	1 170	458	773
Hiukkaset (PM _{2,5})	euroa/tonni	213 000	6 640	109 000
Hiilimonoksidi (CO)	euroa/tonni	26	1	16
Hiilivedyt (HC)	euroa/tonni	70	70	70
Hiilidioksidi (CO ₂)	euroa/tonni	34	34	34
Likaantuminen	snt/km	0	0	0

Taulukossa 4.6 on esitetty Suomen henkilöautojen keskimääräiset yksikköpäästöt matkayksikköä kohden. Taulukon 4.6 keskimääräisiä arvoja laskettaessa dieselautojen suoriteosuuden on oletettu olevan 22 % ja katuajon suoriteosuuden 35 %. (VTT 2009)

Taulukko 4.6 Suomen henkilöautojen keskimääräinen päästö matkayksikköä kohden vuonna 2008. (VTT 2009)

	Päästöt [g/km]					
	SO ₂	NO _x	PM	CO	HC	CO ₂
Bensiinikäyttöiset, maantieajo	0,00088	0,42	0,0038	2,1	0,14	172
Bensiinikäyttöiset, katuajo	0,0010	0,3	0,0032	2,4	0,27	196
Bensiinikäyttöiset, keskimäärin	0,00092	0,38	0,0036	2,2	0,19	181
Dieselkäyttöiset, maantieajo	0,0010	0,58	0,039	0,09	0,026	161
Dieselkäyttöiset, katuajo	0,0013	0,57	0,04	0,25	0,49	200
Dieselkäyttöiset, keskimäärin	0,0011	0,58	0,039	0,15	0,19	175
Maantieajo	0,00091	0,46	0,012	1,6	0,12	170
Katuajo	0,0011	0,36	0,011	2,0	0,31	197
Keskimäärin	0,00096	0,42	0,011	1,7	0,19	179

Yksikköpäästöjen ja taulukon 4.5 yksikköarvojen avulla saadaan laskettua päästökustannukset tiedettäessä matkasuorite. Kustannukset lasketaan kertomalla yksikköpäästön arvo kilometrimäärällä ja kertomalla tämä tulos jälleen kustannusten yksikköarvolla.

Päästökustannukset voidaan laskea kaavalla

$$PsK(\text{€}) = S \times Päästöt(g / km) \times PsK(\text{€} / t). \quad (4)$$

Kaavassa S kuvaa matkasuoritetta ja muut termit ovat taulukoista 4.5 ja 4.6. Laskennassa on otettava huomioon, että päästöt matkayksikköä kohden on ilmoitettu grammoina, mutta kustannukset ovat tonnia kohden. Matkasuorite voidaan kiertotien osalta laskea vastaavasti kuin edellisissä kaavoissa.

$$S = L \times KVL \times T \quad (5)$$

Liikennemelun yksikköarvo kuvaa haitan arvoa, minkä melu aiheuttaa yleisten teiden varsilla meluvyöhykkeiden sisällä asuville ihmisille. Melun yksikköarvo lasketaan vuoden aikana aiheutuneesta haitasta ja se on määritelty kirjallisuusselvitysten perusteella. Meluhaitta arvioidaan kun melutaso nousee vähintään 55 dB:een. Taulukossa 4.7 on esitetty meluhaitan yksikköarvo vuodessa asukasta kohti vuonna 2005 sekä häiriötä kokevien osuus asukkaista. (Tiehallinto 2005c)

Taulukko 4.7 Tieliikenteen meluhaitan yksikköarvot vuonna 2005. (Tiehallinto 2005c)

Melutaso dB(A)	Häiriötä kokevien osuus asukkaista, %	Euroa/melun häiriönä kokeva asukas/vuosi
55 - 65	33	1010
65 - 70	50	1010
70 -	100	1010

Työmaaympäristössä liikenteen aiheuttama melu ei lisäännä merkittävästi normaaleihin olosuhteisiin verrattuna, joten liikenteen aiheuttaman melun osalta työmaan aiheuttamia melukustannuksia ei tässä tutkimuksessa käsitellä. Taajamaympäristössä työkoneet saattavat aiheuttaa merkittäviä meluhaittoja, joiden vaikutukset tulisi ottaa huomioon. (Tiehallinto 2004b; Tielaitos 2000)

Tienpidon kustannukset

Tienpidon kustannukset käsittävät investointikustannukset sekä ylläpitokustannukset. Näitä yhdessä kutsutaan tien elinkaarikustannuksiksi. Investointikustannukset syntyvät infrastruktuurin kehittämisestä uusien väylien rakentamisen tai parantamishankkeiden myötä. Elinkaarikustannuksiin lasketaan investointikustannusten lisäksi mukaan rakenteen elinkaaren aikana syntyvät ylläpito- ja hoitokustannukset.

4.1.3 Tienkäyttäjä

Ajoneuvokustannusten kasvu näkyy suoraan tienkäyttäjille. Työmaaympäristössä tienkäyttäjä joutuu ajamaan pienellä nopeudella ja pienellä vaihteella, jonka vaikutuksesta polttoaineen kulutus usein kasvaa. Myös työmaan aiheuttamat ylimääräiset hidastukset ja kiihdytykset lisäävät polttoaineen kulutusta ja myös auton kulumisen nopeutuu. Lisäksi työmaaympäristö saattaa aiheuttaa ajoneuvoihin ulkoisia vaurioita, kuten renkaan rikkoutumista tai ajoneuvon rungon vaurioita, mistä aiheutuu ajoneuvon haltijalle korjauskuluja. Yleensä ajoneuvojen ulkoiset vauriot johtuvat ajoradan pinnan huonosta kunnosta, mikä tarkoittaa usein sorapintaa ajoradalla. Tilapäisiä sorapintaisia ajoratoja käytetään esimerkiksi työmaiden kiertotiejärjestelyissä alemman tason tieverkolla. (Tielaitos 2000)

Aikakustannus on hyvinkin selkeästi työmaista aiheutuva haitta. Matka-ajan kasvua aiheuttavat työmaan aikaiset liikennejärjestelyt, jotka lisäävät autoilijoiden viivytyksiä ja odotuksia. Lisääntyneen matka-ajan suuruuden mukaan voidaan arvioida tienkäyttäjälle aiheutettua haittaa. Aikakustannus voidaan nähdä myös merkittävimpänä haittavaihtokutuksena yksittäisen tienkäyttäjän kohdalla, sillä työmaajärjestelyt aiheuttavat väistämättä matka-ajassa muutoksia, jotka ovat tienkäyttäjän havaittavissa helposti. Matka-ajan kasvusta ei synny suoria kustannuksia tienkäyttäjälle, mutta menetetyille ajalle voidaan kuitenkin määrittää arvo matkan tarkoituksesta riippuen. (Tielaitos 2000)

Onnettomuuskustannuksista osa kohdistuu suoraan tienkäyttäjälle ja osa yhteiskunnalle. Tienkäyttäjälle kohdistuu suoraan ajoneuvovaurioista johtuvia kuluja sekä sairaanhoitokuluja. Lisäksi aineettoman hyvinvoinnin menetys kohdistuu tienkäyttäjälle. Vaikka aineetonta hyvinvointia pidetään yksittäisen tienkäyttäjän kannalta yleisesti arvokkaampana kuin suoria, aineellisen hyvinvoinnin menetyksestä aiheutuvia taloudellisia vaikutuksia, on sen huomioiminen laskelmissa vaikeaa.

Myös liikenteen aiheuttamista ympäristökustannuksista osa kohdistuu tienkäyttäjille sekä muille yksityisille henkilöille. Pitkällä aikavälillä liikenteen päästöille altistuminen lisää riskiä sairastua sydän- ja hengityselinsairauksiin sekä syöpään. Työmaan aikaiset ympäristöhaitat ovat kuitenkin niin lyhytkestoisia, että niistä ei yleensä muodostu kustannuksia sairauksien kautta yksittäiselle tienkäyttäjälle.

4.1.4 Tienpitäjä

Tienpitäjän kustannuksista merkittävin kertaluontoinen meno on investointikustannus, mikä sisältää tienpitäjälle hankkeen toteuttamisesta aiheutuneet kulut. Investointikustannuksiksi lukeutuvat myös lunastus- ja korvauskustannukset, joita usein syntyy työmaa-alueen lunastuksen yhteydessä.

Silta- tai muun tiehankkeen seurauksena myös ylläpito- ja hoitokustannukset muuttuvat, mikä tienpitäjän tulee ottaa huomioon hanketta suunniteltaessa. Ylläpitokustan-

nusten muutoksen kannalta on otettava huomioon niin työn aikaiset kuin valmistuneen työn aiheuttamat kustannukset. Työmaaolosuhteet lisäävät tienpidon kustannuksia esimerkiksi kiertotien sekä liikenteenohjauslaitteiden huollon kustannuksina. Erityisesti talvikunnossapito asettaa haasteita tienpitäjälle, jotta työmaan havaittavuus ja turvallisuus eivät heikkene talviaikanakaan. Mikäli siltahankkeessa on kyse uuden sillan rakentamisesta, aiheuttaa silta tulevan elinkaarensa aikana tienpitäjälle lisäkustannuksia, mikä tulee ottaa huomioon.

Tienpitäjälle aiheutuu rakennusurakan yhteydessä kustannuksia myös liikenteen hallinnan toimenpiteistä tilapäisten liikennejärjestelyjen myötä. Lisäksi tienpitäjän vastuulla on hankkeesta tiedottaminen, mistä aiheutuu myös kustannuksia.

4.1.5 Yhteiskunta ja ympäristö

Yhteiskuntaan kohdistuvia kustannuksia voidaan suurelta osin pitää myös tienpitäjän kustannuksina, sillä tienpitäjä toimii tiehankkeissa tilaajana ja vastaa hanketta koskevista päätöksistä. Tienpitäjä tekee hankepäätökset ja vaikuttaa hankkeen rakennustapaan, joten yhteiskunnallisten kustannusten syntyminen vastuu on tienpitäjällä. Tienpitäjän tulee hankepäätöstä tehtäessä arvioida hankkeen yhteiskuntataloudellista kannattavuutta. Tiehankkeiden arvioinnissa yhteiskuntataloudellisuus nykyään huomioidaan, mutta tarjous- ja rakennusvaiheessa kustannukset kuitenkin edelleen nähdään vain rakennus- eikä yhteiskunnallisina kustannuksina. Yhteiskunnalliset kustannukset ovat usein kustannuksia, joiden vaikutukset ulottuvat laajalle eikä niiden laskeminen ole yksiselitteistä.

Ympäristökustannukset ovat nykypäivänä yksi tärkeimmistä kustannuseristä, joihin tulisi liikenneinvestointien yhteydessä kiinnittää huomiota. Ympäristökustannusten merkitys yhteiskunnalle on kasvanut maailmanlaajuisen ilmaston lämpenemisen seurauksena. Suomessa ja useissa Euroopan maissa liikenne aiheuttaa jopa 20 % kaikista kasvihuonepäästöistä. Tietyömaiden aiheuttamat ympäristökustannukset ovat pääasiassa pakokaasupäästöistä aiheutuvia kustannuksia, mutta joissain tapauksissa työmaa saattaa aiheuttaa muutoksia myös melutasoon. Pakokaasupäästökustannusten muutokset aiheutuvat työmaalla pääasiassa nopeuden muutoksista sekä osittain myös kuljettavan matkan pidentymisestä. (Motiva Oy 2009)

Onnettomuusriskin kasvaminen työmaan kohdalla aiheuttaa yhteiskunnalle kustannuksia onnettomuuskustannusten kasvaessa. Onnettomuuden tyypistä riippumatta ne aiheuttavat aina kustannuksia yhteiskunnalle esimerkiksi hallinnollisten kulujen, sairaanhoitokulujen sekä tuotannollisten menetysten kautta.

Työmaiden aiheuttamien aikakustannusten lisääntyminen voidaan nähdä myös yhteiskunnan kannalta merkittävänä haittatekijänä. Työmatka-aikojen kasvamisesta aiheutunut aikakustannus kohdistuu yhteiskunnalle menetetyt työajan kautta. Toisaalta myös vapaa-ajan- ja asiointimatkojen matka-aikojen lisääntyminen kohdistuu osaltaan yhteiskuntaan eikä vain yksittäisiin tienkäyttäjiin.

4.1.6 Huomioitavaa kustannuslaskennassa

Ajokustannukset on helppo laskea valmiilla kaavoilla, kun tarvittavat parametrit ovat tiedossa. Kaavoja käytettäessä ei kuitenkaan voida täysin luottaa niiden antamaan tulokseen, vaan arvoja ja niiden todenmukaisuutta tulisi arvioida kriittisesti. Kaavojen laadinnassa ei koskaan voida ottaa huomioon kaikkia kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, joiden roolia kustannusten muodostumisessa tulee erikseen pohtia. Kaavojen toimivuuteen vaikuttaa myös se, mihin tarkoitukseen laskentatuloksia käyttää. On selvää, että erilaisissa tilanteissa tulee ottaa huomioon eri tekijöitä, joita ei kaavaan ole valmiiksi sisällytetty.

Tässä tutkimuksessa ajokustannusten laskentakaavoja käytetään työmaan aiheuttamien kustannusten laskentaan. Työmaan liikennejärjestelyt aiheuttavat yleensä nopeuden muutoksia, joista aiheutuu tienkäyttäjille kiihdytyksiä sekä hidastuksia. Näitä tekijöitä eivät ajokustannusten laskentakaavat ota huomioon, vaan kustannusten lisäys perustuu ainoastaan matkan pituuteen. Matkanopeuden muutoksen vaikutus niin matka-aikaan, ajoneuvon kulumiseen kuin ympäristöönkin tulee siis arvioida jollakin muulla keinolla.

Yksikköarvojen todenmukaisuutta on vaikea arvioida, mutta päästökustannusten arvot verrattuna muihin kustannuksiin vaikuttavat hyvin pieniltä. Nykyään ilmastonmuutoksen torjuminen ja päästöjen vähentäminen ovat keskeisiä teemoja liikenteen alalla, mutta päästökustannusten yksikköarvoilla laskettuna muutama kymmenen tuhatta ajokilometriä aiheuttaa vain muutaman sadan euron kustannukset. Voisi kuvitella, että ympäristön arvostus olisi nykyään korkealla ja siten myös ympäristöön kohdistuvat kustannukset olisivat suuremmat. Nyt ympäristökustannukset jäävät minimaalisen pieniksi verrattuna muihin ajokustannuslajeihin.

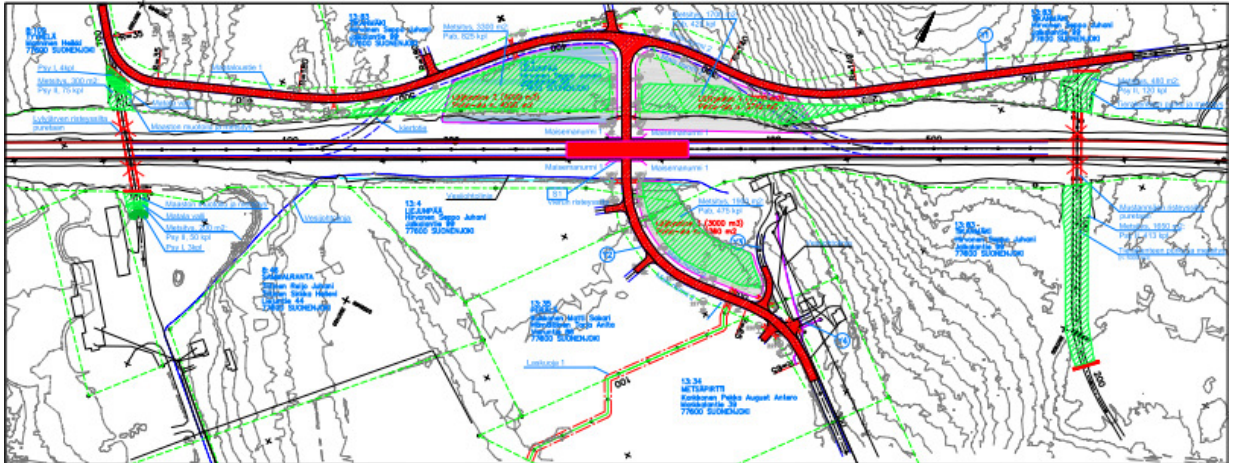
Kokonaisuutena ajokustannusten laskentakaavoilla pystytään hyvin hahmottamaan esimerkiksi työmailla syntyviä yhteiskunnallisia kustannuksia. Vaikka laskennasta saatavat arvot eivät ole absoluuttisia totuuksia, on niiden suuruusluokka oikea. Näin saadaan helposti arvioitua ajokustannusten merkitystä työmailla verrattuna hankkeen kokonaiskustannuksiin, mitkä useimmiten kattavat ainoastaan rakennuskustannukset.

4.2 Case Suonenjoki

4.2.1 Hankkeen esittely ja taustatiedot

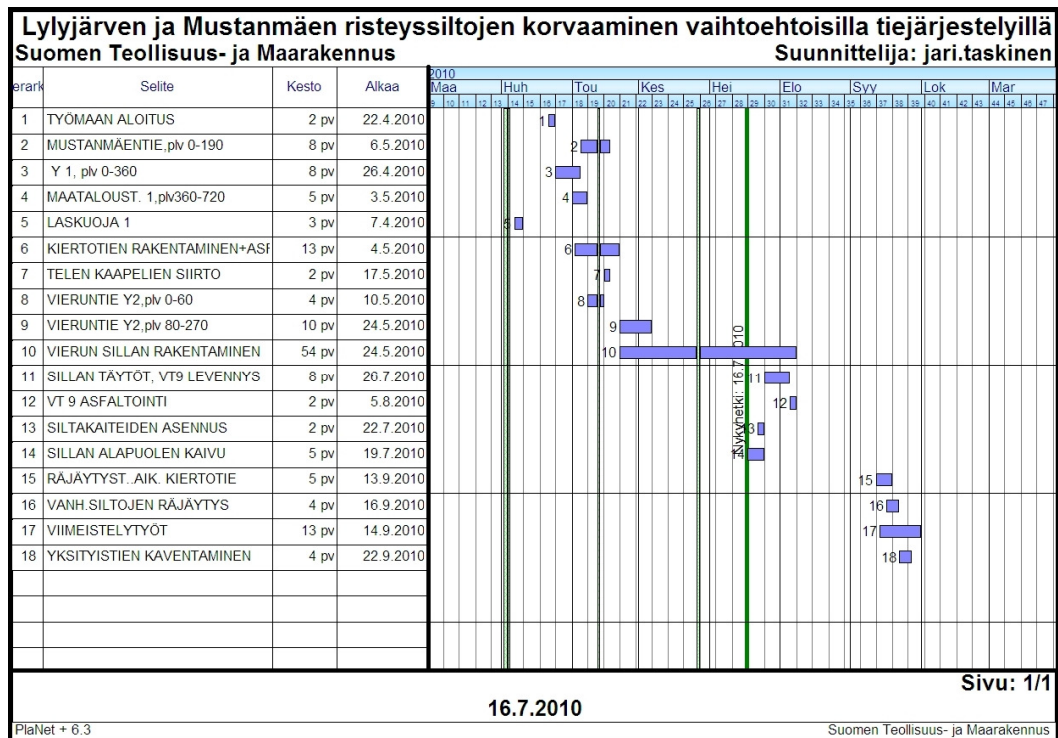
Yksityistie- ja siltajärjestelyt valtatiellä 9 -hanke sijaitsee Suonenjoella noin kaksi kilometriä Suonenjoen keskustasta koilliseen. Hanke sisältää uuden, valtatie 9 alittavan Vierun risteyssillan rakentamisen sekä valtatie ylittävien huonokuntoisten Mustamäen

ja Lylyjärven ylikulkusiltojen purkamisen. Kulkuyhteydet kiinteistöille korvataan siltojen purkamisen jälkeen uusilla yksityistiejärjestelyillä. Hankkeessa pääurakoitsijana toimii Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy. Kuvassa 4.1 näkyy Suonenjoen siltahankkeen suunnitelmakartta. Kartassa on punaisella esitetty uudet yksityistiet sekä rakennettava Vierun silta. Kartasta käy ilmi myös purettavien ylikulkusiltojen sijainnit. (Tiehallinto 2010b)



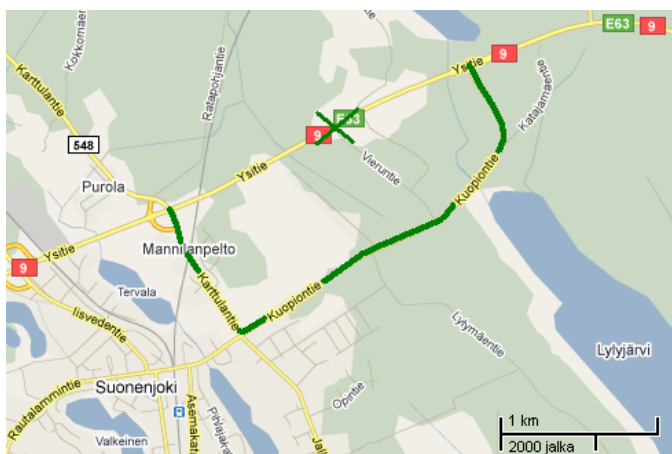
Kuva 4.1 Suonenjoen siltahankkeen suunnitelmakartta. (Tiehallinto 2010b)

Työt kohteessa aloitettiin huhtikuun lopussa ja ne valmistuvat lokakuussa 2010. Kuvassa 4.2 on esitetty hankkeen tarkempi aikataulu. Työt aloitettiin huhtikuun lopussa uuden yksityistieyhteyden rakentamisella. Yksitystien rakentamisen yhteydessä Mustanmäen risteysilta suljettiin liikenteeltä ja korvaava liittymä valtatielle rakennettiin palvelemaan yksitystien kiinteistöä. Kiertotien rakentaminen aloitettiin toukokuun alussa ja avattiin liikenteelle toukokuun lopussa, jolloin aloitettiin myös uuden sillan rakentaminen. Sillan rakentamisen sekä muiden siltaan liittyvien työvaiheiden valmistuttua silta avattiin liikenteelle elokuun alkupuolella. Sillan valmistuttua siirrettiin liikenne olemassa olevalle kiertoreitille noin viikoksi, minkä aikana vanhat ylikulkusillat purettiin räjäyttämällä. Räjätystöiden ja raivauksen jälkeen liikenne siirrettiin jälleen takaisin valtatielle. Ennen hankkeen valmistumista suoritettiin viimeistelyitä sekä kiertotien kaivaminen yksityistieksi. (Särkkä 2010; Taskinen 2010)



Kuva 4.2 Suonenjoen siltahankkeen aikataulu. (Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010)

Uudet yksityistiet ja silta rakennettiin ensin, minkä ajaksi valtatie liikenne ohjattiin kiertotielle. Kiertotie otettiin käyttöön toukokuun lopussa ja se oli käytössä elokuun alkuun saakka, joten kokonaisuudessaan liikenne kulki kiertotietä noin 70 vuorokautta sillan rakentamisen ja muiden siihen liittyvien työvaiheiden ajan. Kiertotiellä nopeusrajoituksena käytettiin 40 km/h ja se oli noin 60 metriä normaalia, valtatieä pitkin kulkevaa reittiä pidempi. Kiertotien kokonaispituus oli noin 420 metriä. Kun uudet tiejärjestelyt saatiin valmiiksi, purettiin vanhat ylikulkusillat, minkä ajaksi liikenne ohjattiin kiertoreitille hyödyntäen olemassa olevia maanteitä. Kiertoreitin tarkempi sijainti on esitetty kuvassa 4.3.



Kuva 4.3 Suonenjoen siltahankkeen yhteydessä käytössä ollut kiertoreitti. (Google Maps)

Kiertoreitti kulki maanteiden 16194 sekä 16196 kautta. Kiertoreitti oli pituudeltaan noin kilometrin pidempi kuin normaali reitti valtatieta pitkin. Kokonaisuudessaan kiertoreitin pituus oli noin 2,5 kilometriä. Kiertoreitin tiet ovat maanteitä, joilla nopeusrajoitus on 50 km/h tai 60 km/h. Suonenjoen siltahankkeessa liikennemäärä on valtatiellä kesäaika-
na noin 6000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja muina vuodenaikoina noin 5000 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Taskinen 2010)

Uusi rakennettava silta on tyypiltään teräsbetoninen ulokelaattasilta, jonka jännemittat ovat 2,5m + 18,0m + 2,5m. Sillan hyötyleveys on 11 metriä ja alikulkukorkeus noin 4,7 metriä. Kannen kokonaispituus siipimuureineen on 30 metriä. Silta on perustettu noin 16 metrisille lyötäville teräspalkkipaaluille, jotka on varustettu kalliokärjillä. Massaltaan silta on noin 750 tonnia. Liitteessä 1 on esitetty sillan yleispiirustus, mistä ilmenee tarkemmin sillan mitat ja rakenne. (Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010)

Siltahankkeen tarkoituksena on mahdollistaa valtatie 9 käyttö ylikorkeiden erikoiskuljetusten reittinä Suonenjoen ja valtatie 5:n välillä. Huonokuntoisten ja alikulkukorkeudeltaan matalien siltojen poistamisen myötä tieosuudelle voidaan tulevaisuudessa rakentaa ohituskaista. (Tiehallinto 2010b)

4.2.2 Toteutuneen rakennustavan aiheuttamat kustannukset ja liikennehaitta

Siltahankkeen aiheuttamat kustannukset ja liikenteelle aiheutettu haitta voidaan laskea rakennuskustannusten sekä yhteiskuntataloudellisten kustannusten avulla. Yhteiskuntataloudellisesta näkökulmasta kustannuksia laskettaessa otetaan rakennuskustannusten lisäksi huomioon myös työmaan poikkeuksellisten liikennejärjestelyjen aiheuttamat liikennehaittakustannukset. Kustannusten suuruuteen vaikuttaa pääasiassa, kuinka kauan tilapäisiä liikennejärjestelyjä joudutaan käyttämään sekä liikennemäärä. Tilapäisistä liikennejärjestelyistä aiheutuvat haittakustannukset syntyvät Suonenjoen siltahankkeessa kiertotiestä sekä siihen liittyvistä hidastuksista ja kiihdytyksistä. Liikennehaittakustannuksia aiheuttaa lisäksi noin viikon käytössä oleva pidempi kiertoreitti. Kustannusten laskennassa on tässä esimerkissä käytetty vain kuljettuja matkoja laskelmien pelkistämiseksi eli hidastuksia ja kiihdytyksiä ei ole laskuissa otettu huomioon.

Rakennuskustannukset

Suonenjoen siltahankkeen verollinen kokonaiskustannus vain rakennuskustannukset huomioon ottaen on noin 0,7 miljoonaa euroa, josta veroton osuus on vajaa 0,6 miljoonaa euroa. Siltatöiden osuus kokonaiskustannuksista on hieman yli puolet, noin 0,3 miljoonaa euroa. Loput kustannuksista muodostuvat pääasiassa maarakennustöistä. (Taskinen 2010)

Kiertotien rakentamisen osuus kustannuksista on noin 65 000 euroa. Tässä hankkeessa kuitenkin suuri osa kiertotiestä voidaan hyödyntää sillan valmistuttua yksityistienä, joten vain noin kolmasosa kiertotien kustannuksista kohdistuu purettavaan osaan. Kiertotietä hyödynnetään myöhemmin yksityistienä, mutta sen rakentamiseen liittyy työvaiheita, joita yksityistien rakentamisessa ei tarvita. Kiertotie on leveydeltään suurempi kuin yksityistie, joten tietä joudutaan kaventamaan. Lisäksi kiertotie on päällystetty, mutta yksityistie rakennettaisiin sorapintaisena. Päällystettä ei kuitenkaan poisteta, vaan osa yksityistiestä jää päällysteiseksi. Nämä tekijät aiheuttavat lisäkustannuksia, vaikka kiertotietä voidaan osittain hyödyntää yksityistienä hankkeen valmistuttua. (Taskinen 2010)

Aikakustannukset

Aikakustannuksia Suonenjoen siltahankkeessa muodostuu kiertotiestä, joka on käytössä 71 vuorokautta sillan rakentamisen ajan. Kiertotien lisäksi aikakustannuksia aiheuttaa pidempi kiertoreitti, joka on käytössä 5 vuorokautta. Näille reiteille on laskettu aikakustannus erikseen.

Laskettaessa kiertotien aiheuttamaa aikakustannusta täytyy ensin laskea aikaero yhtä autoa kohden normaalitilanteen ja kiertotien välillä. Aikaero saadaan laskemalla normaalitilanteessa sekä kiertotien aikana vastaavaan matkaan kuluneiden aikojen erotus. Ajan laskemisessa hyödynnetään kaavaa (2).

Normaalitilanteessa yhden auton käyttämä aika lasketaan kaavalla

$$t = \frac{0,36\text{km} + 0,5\text{km}}{80\text{km/h}} = 0,01075\text{h},$$

missä 0,36 km kuvaa kiertotietä vastaavaa matkaa valtatieä pitkin ja 0,5 km on matka, jonka aikana nopeusrajoitukset muuttuvat ennen kiertotietä ja sen jälkeen. Tämä matka otetaan huomioon myös kiertotien aiheuttamaa matka-aikaa laskettaessa.

Kiertotien kulkemiseen yhden auton käyttämä aika lasketaan kaavalla

$$t = \frac{0,15\text{km}}{60\text{km/h}} + \frac{0,42\text{km} + 0,35\text{km}}{40\text{km/h}} = 0,02175\text{h},$$

missä 0,42 km on kiertotien pituus, 0,15 km kuvaa matkaa 60 km/h nopeusrajoituksella ennen kiertotietä ja 0,35 km on vastaava matka 40 km/h nopeusrajoituksella. Näiden aikojen perusteella saadaan normaalitilanteen ja kiertotien väliseksi aikaeroksi 0,011 tuntia (noin 4 sekuntia). Tämän aikaeron eli kiertotien aiheuttaman aikakustannuksen arvo voidaan laskea kaavalla (3).

$$\text{Aik}(\text{€}/71\text{vrk}) = 16,09\text{€}/\text{h}/\text{auto} \times 0,011\text{h} \times 6000\text{ajon.}/\text{vrk} \times 71\text{vrk} \approx \underline{\underline{75398\text{€}}},$$

missä 16,09 €/h/auto on taulukon 4.2 aikasäästön keskimääräinen yksikköarvo kevyelle ajoneuvolle. Kaavalla on laskettu kiertotien aiheuttama aikakustannus koko ajalle, jolloin kiertotie on käytössä, eli 71 vuorokaudelle. Laskelmien perusteella kiertotie aiheuttaa ajallisesti yhteiskunnalle reilun 75 000 euron kustannukset, joita ei hankkeen kustannuksissa ole huomioitu lainkaan. Tämä summa on hankkeen kokonaiskustannuksista yli 10 %.

Suonenjoen esimerkkihankkeessa työn aikaisen kiertotien lisäksi siltojen purkamisen ajan on käytössä pidempi kiertoreitti, mikä kulkee siltapaikan ohi olemassa olevia maanteitä pitkin. Tälle reitille lasketaan aikakustannus vastaavalla tavalla kuin kiertotielle. Lasketaan ensin yhden auton käyttämä aika siltapaikan ohi kulkemiseen valtatiötä pitkin eli normaalitilanteessa.

$$t = \frac{1,5\text{km}}{80\text{km/h}} = 0,01875\text{h},$$

missä 1,5 km on kiertoreittiä vastaavan matkan pituus valtatiötä pitkin mitattuna. Seuraavaksi lasketaan kiertoreitin kulkemiseen kuluva aika yhtä autoa kohden kaavalla

$$t = \frac{1,25\text{km}}{50\text{km/h}} + \frac{1,25\text{km}}{60\text{km/h}} = 0,0458\text{h},$$

missä kiertoreitin pituus 2,5 km on jaettu kahteen osaan nopeusrajoituksen mukaan. Edellä laskettujen aikojen erotus kuvaa sitä aikaa, joka kuluu pidempään kiertoreittiä käytettäessä. Tulokseksi saadaan 0,02705 tuntia (noin 10 sekuntia). Kiertoreitin aiheuttama aikakustannus viiden vuorokauden ajalta, minkä kiertoreitti on käytössä, lasketaan kaavalla (3) tässäkin tapauksessa.

$$Aik(\text{€}/5\text{vrk}) = 16,09\text{€}/\text{h}/\text{auto} \times 0,02705\text{h} \times 5000\text{ajon./vrk} \times 5\text{vrk} \approx \underline{\underline{10881\text{€}}}$$

Kaavassa liikennemäärä on käytetty 5000 ajon./vrk, koska kiertoreitti on käytössä syyskuussa, jolloin liikennemäärä on kesäkuukausia pienempi. Kun otetaan huomioon myös kiertoreitin aiheuttama aikakustannus, saadaan kokonaisarvoksi noin 86 300 euroa.

Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannusten laskennassa käytetään kaavaa (1), mihin sijoitetaan keskivuorokausiliikennemäärä, kiertotien käyttöaika sekä kiertotien ja normaalireitin pituusero. Ajoneuvokustannukset lasketaan kaavalla

$$Ank(\text{€}/71\text{vrk}) = 5,81\text{snt}/\text{km} \times 0,06\text{km} \times 6000\text{ajon./vrk} \times 71\text{vrk} \approx \underline{\underline{1485\text{€}}},$$

missä ajoneuvokustannuksen yksikköarvo 5,81 snt/km on otettu taulukosta 4.1 ja arvo 0,06 km kuvaa pituutta, jonka kiertotie on normaalia reittiä pidempi. Tässä esimerkkitapauksessa kiertotie on käytössä noin kaksi kuukautta ja keskivuorokausiliikenne ei ole kovin suuri, joten ajoneuvokustannukset eivät muodostu merkittäviksi kokonaisuuden kannalta. Suurilla liikennemäärillä sekä kohteissa, missä kiertotie on käytössä useita kuukausia, ajoneuvokustannusten osuus kasvaa huomattavasti.

Pidemmän kiertoreitin aiheuttamat ajoneuvokustannukset lasketaan vastaavalla tavalla kuin kiertotien. Laskennassa käytetään kaavaa (1).

$$Ank(\text{€} / 5\text{vrk}) = 5,81\text{snt} / \text{km} \times 1\text{km} \times 5000\text{ajon.} / \text{vrk} \times 5\text{vrk} \approx \underline{\underline{1453\text{€}}}$$

Kaavassa 1 km kuvaa matkaa, minkä kiertoreitti on normaalia reittiä pidempi. Laskettaessa ajoneuvokustannukset yhteen, saadaan tulokseksi yhteensä 2938 euroa.

Ympäristökustannukset

Ympäristökustannukset lasketaan taulukoiden 4.5 ja 4.6 arvoja hyödyntäen. Matkayksiköiden kokonaismäärä on tiedettävä ensin, jotta voidaan laskea eri päästölajien suuruudet. Kiertotien aiheuttama lisä kokonaismatkaan saadaan laskettua kaavalla (5).

$$S = 0,06\text{km} \times 6000\text{ajon.} / \text{vrk} \times 71\text{vrk} = 25560\text{km} ,$$

missä 0,06 km on matka, jonka kiertotie on normaalia reittiä pidempi. Taulukossa 4.8 on esitetty kiertotiestä aiheutuvat eri päästölajien kustannukset. Arvot on laskettu kaavaa (4) käyttäen.

Taulukko 4.8 Kiertotien aiheuttamien päästökustannusten arvot päästölajikohtaisesti.

Päästölaji	SO ₂	NO _x	PM	CO	HC	CO ₂	Yht.
Päästö-kustannus [€]	0,214949	8,29831	30,64644	0,695232	0,339948	155,5582	<u><u>195,75</u></u>

Pidemmälle kiertoreitille lasketaan matkan lisäys vastaavalla tavalla kuin kiertotielle kaavalla

$$S = 1\text{km} \times 5000\text{ajon.} / \text{vrk} \times 5\text{vrk} = 25000\text{km} ,$$

missä 1 km on matkan pidentymisen osuus verrattuna normaaliin, valtatieä pitkin kulkevaan reittiin. Taulukossa 4.9 on esitetty kiertoreitin aiheuttamat ympäristökustannukset, joiden laskenta on suoritettu vastaavalla tavalla kuin taulukon 4.8 arvojen.

Taulukko 4.9 Kiertoreitin aiheuttamat päästökustannukset päästölajeittain.

Päästölaaji	SO ₂	NO _x	PM	CO	HC	CO ₂	Yht.
Päästökustannus [€]	0,21024	8,1165	29,975	0,68	0,3325	152,15	<u>191,46</u>

On huomattava, että tässä laskutavassa lasketaan vain ylimääräisen matkan aiheuttamat ympäristökustannukset eikä oteta huomioon kiihdytyksistä ja hidastuksista aiheutuneita kustannuksia. Todellisuudessa nämä tekijät kasvattavat ympäristökustannuksia jossain määrin.

Onnettomuuskustannukset ja turvallisuus

Työmaa aiheuttaa kasvaneen onnettomuusriskin, mikä vaikuttaa onnettomuuksien määrään sekä onnettomuuskustannuksiin. Kustannuksia työmaan aiheuttamille riskitekijöille on vaikea laskea. Tapahtuneille onnettomuuksille voidaan määrittää arvo onnettomuuskustannuksista taulukoista 4.3 ja 4.4, mutta yleisen turvallisuuden heikkenemisen ja työturvallisuuden vaaratilanteiden arvoa on vaikea määrittää. (Tiehallinto 2004b)

Turvallisuusriskin kasvua työmaalla pyritään hallitsemaan erilaisilla häiriönhallinnan keinoilla, joiden tarkoituksena on taata työntekijöiden sekä tienkäyttäjien turvallisuus. Suonenjoen siltahankkeessa liikenne- ja työturvallisuutta on parannettu nopeusrajoitusta alentamalla sekä erilaisilla huomiolaitteilla. Kiertotien havaittavuutta on parannettu heijastimilla sekä vilkkuvaloilla varustetuilla suoja-aidoilla ja sulkupylväillä, joiden huoltotoimenpiteistä urakoitsija huolehtii työmaan ajan. Lisäksi suoja-aitojen takana on käytetty sorakasoja vahinkojen minimoimiseksi onnettomuuden sattuessa. Kiertoreitille ohjaaminen on aloitettu tarpeeksi ajoissa ja helposti havaittavasti, jotta onnettomuuksien mahdollisuus saataisiin mahdollisimman pieneksi. Kiertoreitti ei kuitenkaan aiheuta työturvallisuuden heikkenemistä vastaavalla tavalla kuin kiertotie, sillä reitti ei kulje siltapaikan välittömässä läheisyydessä. Toisaalta valtatie liikenteen siirtyessä alempi tasoiselle tieverkolle, aiheuttaa se kasvaneen onnettomuusriskin kiertoreittinä toimiville teille. (Tiehallinto 2004b)

Tienpidon kustannukset

Kiertotien ja kiertoreitin käyttö ei tässä tapauksessa aiheuta huomattavaa tienpidon kustannusten kasvua. Kesäaikana kiertotien kunnossapito ei vaadi toimenpiteitä samalla tavalla kuin esimerkiksi syksyllä tai talvella. Liikenteenohjauslaitteina on käytetty sulkuaitoja sekä tilapäisiä heijastinpylväitä, joiden kunnossapitotarve on etenkin kesäaikana vähäistä.

4.2.3 Sillansiirron hyödyntäminen Suonenjoen siltahankkeessa

Suonenjoen sillanrakennushankkeessa olisi voitu hyödyntää sillansiirtomenetelmää sillanrakennustapana. Kohteen maasto-olosuhteet sekä muut liikenneympäristön tekijät olisivat sallineet vaihtoehtoisen rakennusmenetelmän käytön. On kuitenkin joitakin tekijöitä, mitkä olisivat aiheuttaneet sillansiirtomenetelmän käytölle haasteita. Nämä haasteet olisivat olleet ratkaistavissa, mutta ne olisivat pienentäneet sillansiirtomenetelmällä saavutettua hyötyä. Ennen urakan aloittamista sillansiirto oli esillä yhtenä rakennustapavaihtoehtona, mutta nopean aikataulun vuoksi sen hyödyntäminen käytännössä ei onnistunut.

Sillansiirtomenetelmää käytettäessä työvaiheet olisivat olleet pääosin samat kuin toteutuneessa rakennustavassa lukuun ottamatta kiertotien rakentamista sekä sillansiirtoa. Jotta silta olisi voitu rakentaa valtatie vierteen, olisi ensimmäisenä työvaiheena rakennettu yksityistiet, kuten toteutuneessakin rakennustavassa. Sillan rakentaminen olisi voitu aloittaa jo yksityisteiden vielä ollessa rakenteilla, joten kiertotien rakentamiseen kulunut aika olisi suurelta osin säästetty. Tie sijaitsee noin seitsemän metriä korkealla penkereellä ja maapohja valtatie vieressä on pehmeä, joten sillan rakentaminen valtatie vieressä olisi vaatinut työsillan rakentamisen. Sillan kannen rakentaminen työvaiheena on samanlainen rakennusmenetelmästä riippumatta, mutta sillan tukipaalut olisi asennettu sillansiirtomenetelmässä liikenteen kulkiessa valtatiellä. Käytännössä paalujen asentaminen olisi tässä esimerkissä toteutettu esimerkiksi kaistavuokrauksen avulla. Paalutuksen ajan käytössä olisi ollut vain toinen valtatie kaista ja liikenteen ohjaus olisi tapahtunut liikennevaloja tai liikenteen ohjaajaa käyttäen. Paalutuksen kestoksi voidaan tässä esimerkissä arvioida 15 tuntia paalua kohden sisältäen kaikki paalutukseen liittyvät työvaiheet ennen ja jälkeen paalujen asentamisen. Paalutuksen kesto tässä hankkeessa olisi pidentänyt paalujen jatkaminen, sillä lopulliset paalut ovat noin 16 metriä pitkiä.

Nykyisessä rakentamistavassa on käytetty valtatie liikennekatkoa, missä liikenne kulkee noin viikon ajan kiertoreittiä vanhojen ylikulkusiltojen purkamisen ajan. Tämän viikon mittaisen liikennekatkon aikana olisi ollut mahdollista siirtää silta paikoilleen sekä tehdä valtatie päällystys ja muut viimeistelytyöt ennen tien liikenteelle avaamista. Sillansiirto olisi voitu suorittaa tarvittaessa jopa huomattavasti lyhyemmän liikennekatkon aikana. Sillan siirtämisen jälkeen olisi aloitettu sillan alapuoliset kaivutyöt ja viimeistely samalla sillan alittava yksityistie. Viimeiset sillansiirtomenetelmän työvaiheet olisivat olleet vastaavat kuin toteutuneessa menetelmässä sisältäen esimerkiksi viheralueiden istutustöitä. Kuvassa 4.4 on esitetty mahdollinen aikataulu, mikäli silta olisi rakennettu sillansiirtomenetelmää käyttäen.

tannukseksi olisi tullut noin 46 000 euroa. Riippuen maapohjan pehmeystä, tilapäinen penger olisi ollut yksi mahdollisuus rakentaa silta tien vieressä. Penkereen rakentaminen olisi ollut kannattavaa, mikäli pehmeä maapohja ei olisi aiheuttanut penkereelle liiallista painumista. Penkereen tilavuus olisi ollut noin 1800 m³, jolloin penkereen kustannus olisi ollut noin 40 000 euroa. Penkereen tai työsillan kustannusten lisäksi sillansiirtomenetelmän käyttö olisi lisännyt rakennuskustannuksia sillan siirtokustannusten myötä. Siirtokustannukset ovat 25 000–40 000 euroa riippuen sillan rakennustavasta. Sillan rakennuskustannukset muuten olisivat olleet pääosin samat eli noin 300 000 euroa. Nämä kaikki kustannukset yhteenlaskettuna sillan rakennuskustannuksiksi olisi sillansiirtomenetelmällä tullut noin 370 000 euroa riippuen käytetystä sillanrakennustavasta. (Harju 2010)

Kiertotien aiheuttamia rakennuskustannuksia ei sillansiirtomenetelmässä olisi syntynyt lainkaan. Kiertotien 65 000 euron kustannuksista noin kolmasosa kohdistui purettavaan osaan, joten sillansiirtomenetelmällä olisi säästetty kiertotien kustannuksista noin 20 000 euroa. (Taskinen 2010)

Aikakustannukset

Sillan rakentamisen ajan liikenne olisi voinut kulkea valtatieä pitkin sillansiirtomenetelmää hyödynnettäessä lähes koko rakennusajan. Ennen siirtokatkoa ainoa liikenteelle aiheutettu haitta olisi syntynyt paalutustöiden aikana. Paalutuksen ajan toinen kaista olisi ollut suljettuna liikennevalo-ohjausta tai liikenteen ohjaajaa käyttäen. Suonenjoen rakennushankkeessa olisi voitu soveltaa vuorokausiliikenteeseen tai tuntiliikenteeseen perustuvaa kaistavuokran määrittämisen mallia. Ajokustannuslisäykseen perustuvan kaistavuokran suuruus Suonenjoella olisi voinut olla suuruudeltaan esimerkiksi 4 000 euroa vuorokaudessa tai 200 euroa tunnissa. Paalutukseen olisi yhteensä kulunut noin 60 tuntia, mikä olisi tarkoittanut noin 12 000 euron kaistavuokrakustannuksia. (Tiehallinto 2005a)

Lisäksi liikenteelle olisi aiheutettu haittaa sillan siirtämisen aikana. Siirto olisi kuitenkin voitu suorittaa samaan aikaan kuin vanhojen ylikulkusiltojen purku, joten siitä ei olisi aiheutunut liikenteelle ylimääräistä haittaa nykyiseen rakennusmenetelmään verrattuna. Nämä haittakustannukset olisivat olleet siis samat kuin toteutuneessa rakennusmenetelmässä. Viikon mittainen valtatie liikennekatko ja tilapäisen kiertoreitin käyttö aiheuttaa 10 881 euron kustannukset, kuten laskennat aiemmin tässä luvussa osoittavat. Kokonaisuudessaan sillansiirtomenetelmä olisi aiheuttanut noin 23 000 euron aikakustannuksen yhteiskunnalle ja tienkäyttäjille.

Ajoneuvokustannukset

Sillansiirtomenetelmän käyttö olisi aiheuttanut ajoneuvokustannuksia pääasiassa tilapäisen kiertoreitin vaikutuksesta. Kiertoreitin aiheuttamat ajoneuvokustannukset on lasket-

tu toteutuneen rakennustavan kustannusten yhteydessä ja ovat suuruudeltaan 1453 euroa.

Ympäristökustannukset

Ympäristökustannuksia olisi aiheuttanut sillansiirtomenetelmää käytettäessä pääosin kiertoreitistä aiheutuva matkan pidentyminen. Kiertoreitin aiheuttamat ympäristökustannukset laskettiin tässä luvussa jo aiemmin ja tulokseksi saatiin 191 euroa. Ympäristökustannusten osuus olisi suurempi, mikäli kiihdytysten aiheuttamat kustannukset otettaisiin huomioon.

Onnettomuuskustannukset ja turvallisuus

Työmaaympäristössä kasvanut onnettomuusriski johtuu muuttuneista liikennejärjestelyistä. Sillansiirtomenetelmää käytettäessä työmaan aiheuttamien onnettomuuksien todennäköisyys pienenee, kun tilapäisiä liikennejärjestelyitä ei jouduta käyttämään useita viikkoja tai jopa kuukausia. Sillansiirtomenetelmää käytettäessä ei jouduta käyttämään kiertotieratkaisuja eikä siihen liittyviä liikenteenohjaus- ja turvalaitteita, minkä vuoksi liikenne saa kulkea sillan rakentamisen ajan valtatieä pitkin eikä onnettomuusriski normaaliin tilanteeseen verrattuna lisäänty.

Työmaan aiheuttama onnettomuusriskin kasvu koskee sillansiirtomenetelmää käytettäessä lähinnä paalujen asentamisen aikaista kaistan sulkemista. Kun liikenne joudutaan pysäyttämään valtatiellä, on onnettomuuden mahdollisuus suurempi normaaliin tilanteeseen verrattuna. Lisäksi kiertoreitti noin viikon ajan aiheuttaa onnettomuusriskin kasvua vastaavalla tavalla kuin toteutuneessa rakennusmenetelmässä.

Tienpidon kustannukset

Tienpidon kustannukset eivät kasva sillansiirtotekniikan käytön myötä. Menetelmän etuna on, että liikenne kulkee koko hankkeen rakennusajan olemassa olevia teitä pitkin, joten tienpito ei vaadi normaalista poikkeavia toimenpiteitä. Vaikka paalutustyön ajan liikenteenohjauslaitteena käytettäisiin liikennevaloja, on niiden aiheuttama tienpidon kustannus hyvin pieni.

4.2.4 Rakennusmenetelmien vertailu

Vertaamalla toteutuneita kustannuksia siirtomenetelmän laskennallisiin kustannuksiin voidaan huomata yhteiskunnallisten kustannusten merkitys. Vain rakennuskustannuksia vertailemalla toteutunut rakennustapa osoittautuu halvemmaksi. Tilanne kuitenkin muuttuu, kun kustannusten laskennassa otetaan huomioon aika-, ajoneuvo-, ympäristö-

sekä onnettomuuskustannukset. Nämä kustannukset huomioon ottaen voidaan todeta sillansiirtomenetelmän olevan kokonaistaloudellisesti edullisempi.

Sillansiirtomenetelmä olisi aiheuttanut yhteensä noin 23 000 euron aikakustannukset, kun otetaan huomioon paalutuksen aiheuttama sekä kiertoreitin aiheuttama liikennehaitta. Aikaisemmissa laskelmissa saatiin toteutuneelle rakennustavalle aikakustannukseksi yli 86 000 euroa. Toteutunut rakennusmenetelmä aiheutti siis tässä hankkeessa tienkäyttäjille sekä yhteiskunnalle noin 63 000 euroa suuremmat aikakustannukset verrattuna hankkeen toteuttamiseen sillansiirtomenetelmällä. Ajoneuvokustannusten osalta kustannukset ovat kokonaisuudessaan melko vähäisiä urakan kokonaishintaan nähden. Sillansiirtomenetelmällä ajoneuvokustannukset olisi kuitenkin saatu puolta pienemmiksi kuin toteutuneella rakennusmenetelmällä. Myös ympäristökustannukset ovat yksittäisenä kustannuseränä pieni, mutta sillansiirtotekniikalla kustannuksia olisi saatu edelleen pienennettyä. On myös huomattava, että todellisuudessa ajoneuvokustannusten sekä ympäristökustannusten osuus on suurempi, mikäli laskennassa otetaan huomioon myös tienkäyttäjien nopeuden vaihtelut. Kun lasketaan yhteen toteutuneen rakennustavan kaikki ajokustannukset, saadaan tulokseksi noin 89 600 euroa. Sillansiirtomenetelmällä ajokustannukset olisi saatu noin 24 500 euroon eli rakennusmenetelmien välillä yhteiskunnallisten kustannusten ero on noin 65 000 euroa.

Rakennuskustannusten kannalta sillansiirtomenetelmän käyttö olisi lisännyt kustannuksia. Kun otetaan huomioon sillan sekä kiertotien rakennuskustannukset, aiheutti toteutunut menetelmä noin 320 000 euron kustannukset. Tässä sillan rakennuskustannuksiin on lisätty vain se osa kiertotien kustannuksista, mikä kohdistui purettavaan kiertotien osaan. Sillansiirtomenetelmällä rakennuskustannukset samalla periaatteella laskien olisivat olleet noin 370 000 euroa eli 50 000 euroa enemmän kuin toteutuneen rakennustavan kustannukset. Taulukossa 4.10 on esitetty eri sillanrakennusmenetelmien aiheuttamat rakennus- ja ajokustannukset. Taulukon rakennuskustannuksissa on otettu huomioon ainoastaan sillanrakennuksesta syntyvät kustannukset, sillä eri rakennusmenetelmien välinen kustannusero syntyy juuri sillanrakennuskustannuksista.

Taulukko 4.10 Sillanrakennusmenetelmien kustannusvertailu.

Kustannukset [€]	Toteutunut rakennustapa	Sillansiirtomenetelmä
Rakennuskustannukset (silta ja kiertotie)	320 000	370 000
Aikakustannukset	86 279	22 881
Ajoneuvokustannukset	2938	1453
Ympäristökustannukset	387	191
Yhteensä	409 604	394 525

Suonenjoen esimerkkihankkeessa erityispiirteenä on valtatie liikennekatko ja kiertoreitin käyttö myös toteutuneessa rakennustavassa. Sillansiirtomenetelmän aiheuttamat lisäkustannukset olisi saatu minimoitua, kun viikon mittaisen liikennekatkon aikana olisi voitu vanhojen siltojen purkamisen lisäksi suorittaa myös sillan siirtäminen eikä sillansiirto olisi vaatinut erillistä liikennekatkoa. Useimmissa hankkeissa tällaista katkoa ei perinteisen sillanrakennusmenetelmän yhteydessä käytetä, jolloin liikennekatko tarvitaan ainoastaan sillansiirron ajaksi. Tässä hankkeessa sillansiirto olisi aiheuttanut huomattavasti pienemmät liikennekatkosta johtuvat lisäkustannukset kuin usein vastaavissa hankkeissa. Toisaalta kustannuseroa kaventaa sillansiirtomenetelmän käytön aiheuttamat korkeammat rakennuskustannukset tässä esimerkissä. Kaikki kustannukset huomioidaan ottaen sillansiirtomenetelmä olisi kuitenkin ollut noin 15 000 euroa toteutunutta rakennusmenetelmää edullisempi. Urakan kokonaishintaan nähden tämä kustannussäästö olisi ollut hieman yli 2 %.

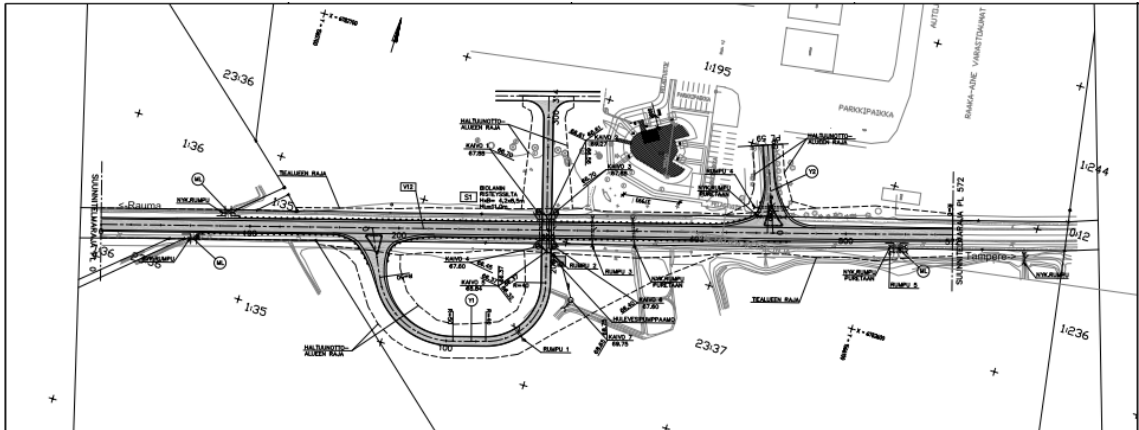
4.3 Case Eura

4.3.1 Hankkeen esittely ja taustatiedot

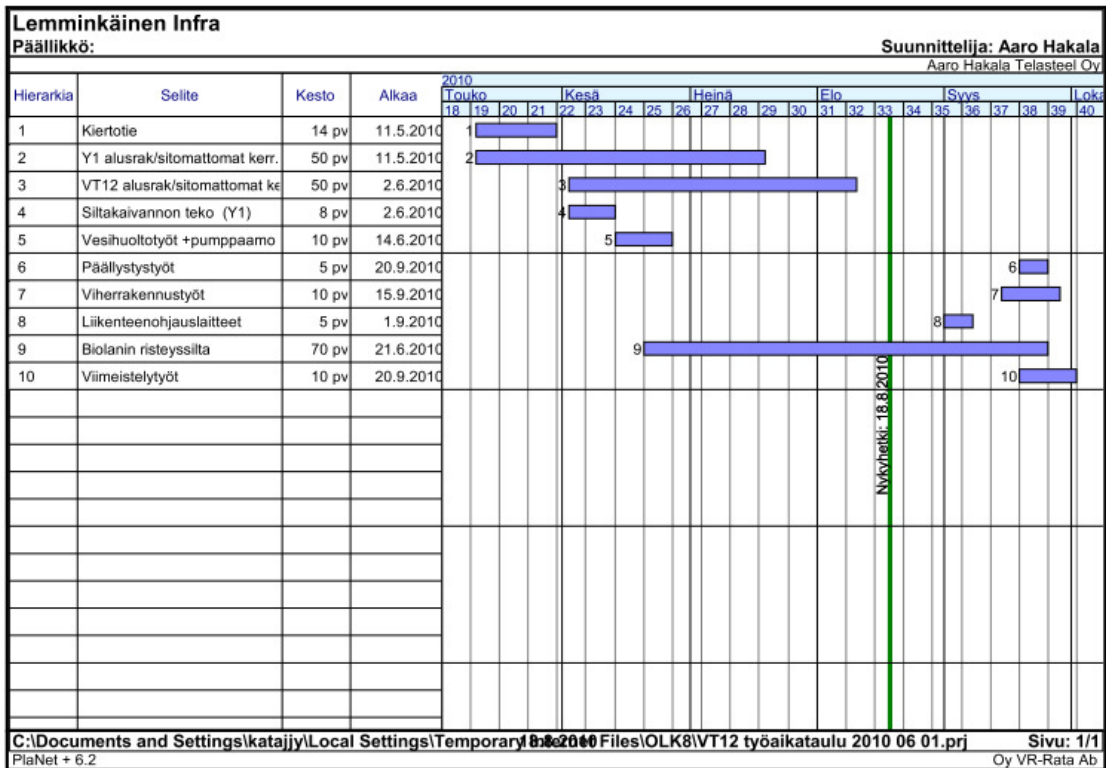
Euran ja Biolanin risteyssiltahanke sijaitsee noin neljä kilometriä Euran keskustasta koilliseen valtatie 12 varrella. Uudet liittymäjärjestelyt sijaitsevat aivan Biolanin pääkonttorin vieressä. Hankkeessa rakennetaan eritasoliittymä palvelemaan Biolanin sisäistä liikennettä valtatie molemmin puolin sijaitsevien tonttien välillä. Alikulkusillan lisäksi hankkeen yhteydessä rakennetaan Rauman suunnasta tulevalle liikenteelle ramppi ja Tampereen suunnasta saapuvan liikenteen liittymä säilyy nykyisellään. Poistamalla valtatieltä vasemmalle kääntymiset parannetaan vaarallisen liittymän liikenneturvallisuutta. Liittymäjärjestelyjen lisäksi parannettavalla osuudella tie levennetään tavoitelevyyteen 10,5 metriä sekä tien tasausta nostetaan siltapaikan kohdalla puolitoista metriä. Kuvassa 4.5 on esitetty Biolanin siltahankeeseen suunnitelmakartta, mistä ilmenee tarkemmin liittymän liikennejärjestelyt tulevaisuudessa. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010)

Siltahanke aloitettiin Eurassa toukokuun alkupuolella rakentamalla kiertotie, mikä myös toimii liittymän valmistumisen jälkeen osittain yksityistienä. Liikenteen siirrettyä kiertotielle toukokuun lopussa, aloitettiin valtatie parantaminen sekä sillan rakentaminen siltakaivannon teolla. Risteyssillan rakennustyöt aloitettiin varsinaisesti kesäkuun loppupuolella ja niiden oli määrä valmistua syyskuun loppuun mennessä. Viimeisiä työvaiheita ennen hankkeen valmistumista ovat viherrakennus-, päällystys- sekä viimeistelytyöt. Alkuperäisen aikataulun mukaan hankkeen oli määrä valmistua kokonaaisuudessaan syyskuun loppuun mennessä, mutta yllättävien viivytysten jälkeen arvioitu valmistumisaika on marraskuun loppu. Aikataulua ovat viivästyttäneet tilaajan vaatimat

suunnitelmamuutokset sekä yllättävät tekijät, joita ei ole osattu ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Suunnitelmamuutoksissa valtatie tasausta laskettiin ensimmäisistä suunnitelmista ja nyt toteutuva tasauksen nosto on noin puolitoista metriä. Alkuperäisissä suunnitelmissa valtatie tasausten nosto oli noin neljä metriä. Lisäksi aikataulua on viivästyttänyt sillan vierestä löytynyt vesijohto, josta ei ollut tietoa ennen urakan aloittamista. Kuvassa 4.6 on esitetty alkuperäinen aikataulu, missä kaikki työvaiheet on suoritettu syyskuun loppuun mennessä.



Kuva 4.5 Biolanin risteyssillan suunnitelmakartta. (Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010)



Kuva 4.6 Valtatie 12 parantaminen Biolanin kohdalla -hankkeen alkuperäinen aikataulu. (Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010)

Aikataulun viivästyminen on pidentänyt myös kiertotien käyttöaikaa, mikä nykyisen aikataulun mukaan on kuusi kuukautta eli noin 180 vuorokautta. Kiertotiellä nopeusrajoitukset ovat 50km/h sekä 30km/h ja sen pituus on kokonaisuudessaan noin 340 metriä. Tieosuuden liikennemäärä on noin 6000 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Lyly 2010; Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010)

Biolanin uusi risteyssilta on tyypiltään teräsbetoninen ulokelaattasilta, jonka jänne- mitat ovat 2,5m + 16,0m + 2,5m. Sillan hyödyllinen leveys on 11 metriä ja alikulkukorkeus noin 4,2 metriä. Kokonaisuudessaan silta on noin 27 metriä pitkä ja sillan kannen pituus on 21 metriä. Sillan perustuksina toimivat anturaperusteiset teräsbetonipilarit, jotka liitetään siltakanteen kumipesälaakereilla. Biolanin risteyssillan yleispiirustus, mistä nähdään sillan rakenne tarkemmin, on esitetty liitteessä 2. (Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010)

4.3.2 Toteutuneen rakennustavan aiheuttamat kustannukset ja liikennehaitta

Rakentamisesta aiheutuneet kustannukset ja liikennehaitat lasketaan rakennuskustannusten sekä ajokustannusten osalta. Valtatien 12 parantaminen Biolanin kohdalla -hankkeessa rakennuskustannusten lisäksi kokonaiskustannuksia kasvattaa useita kuukausia käytössä oleva kiertotie. Kiertotie aiheuttaa yhteiskunnallisia kustannuksia esimerkiksi lisääntyneen matka-ajan myötä. Tässä esimerkissä on kustannukset laskettu vain kasvaneen matkan pituuden perusteella eikä hidastuksia ja kiihdytyksiä ole siis laskelmissa otettu huomioon.

Rakennuskustannukset

Rakennuskustannukset huomioon ottaen hankkeen kokonaiskustannus on noin 0,75 miljoonaa euroa, josta sillan rakennuskustannusten osuus on noin 270 000 euroa. Sillan rakennuskustannusten lisäksi tässä esimerkissä otetaan huomioon kiertotien rakennuskustannus, minkä suuruus on noin 50 000 euroa. Osa kiertotiestä hyödynnetään hankkeen valmistuttua yksityistienä, joten todellinen kiertotiestä aiheutuva kustannus on noin 20 000 euroa. Tämä kustannus on kiertotien purettavan osan kustannus.

Aikakustannukset

Aikakustannuksia Euran siltahankkeessa muodostuu sillan rakentamisen ajan käytössä olevan kiertotien käytöstä. Alkuperäisen aikataulun mukaan kiertotien oli tarkoitus olla käytössä neljän kuukauden ajan, mutta rakennustöiden viivästymisen myötä käyttöaika on pidentynyt jopa kuuteen kuukauteen.

Kokonaisaikakustannusten laskemiseksi täytyy ensin laskea aikaero normaalin reitin ja kiertotien välillä yhtä autoa kohden. Tämän aikaeron laskemisessa hyödynnetään kaavaa (2).

Normaalitilanteessa yhden auton käyttämä matka-aika lasketaan kaavalla

$$t = \frac{0,29km + 0,5km}{80km/h} = 0,009875h,$$

missä 0,29km on kiertotietä vastaava pituus valtatieä pitkin mitattuna ja 0,5km on matka, jonka aikana nopeusrajoitukset muuttuvat ennen ja jälkeen kiertotien. Vastaava matka otetaan huomioon myös kiertotien aiheuttamaa matka-ajan lisäystä laskettaessa.

Yhden auton käyttämä matka-aika kiertotietä käyttäen lasketaan kaavalla

$$t = \frac{0,3km}{50km/h} + \frac{0,34km + 0,2km}{30km/h} = 0,024h,$$

missä 0,34km on kiertotien pituus, 0,3km kuvaa matkaa ennen kiertotietä nopeusrajoituksella 50km/h ja 0,2km kuvaa matkoja ennen kiertotietä ja sen jälkeen nopeusrajoituksella 30 km/h. Edellä laskettujen aikojen perusteella voidaan laskea eri reittien välinen aikaero ja tulokseksi saadaan 0,014125h (noin 5 sekuntia). Tämän aikaeron aiheuttama kustannus lasketaan kaavalla (3).

$$Aik(€/180vrk) = 16,09€/h / auto \times 0,014125h \times 6000ajon./vrk \times 180vrk \approx \underline{\underline{245453€}},$$

missä 16,09€ on keskimääräinen aikasäästön arvo kevyille ajoneuvoille ja se saadaan taulukosta 4.2. Aikakustannus on laskettu koko ajalta, jolloin kiertotie on käytössä, jotta tulokseksi saadaan kiertotien aiheuttama kokonaisaikakustannus. Laskelman perusteella kiertotie aiheuttaa kokonaisuudessaan yhteiskunnalle sekä tienkäyttäjille noin 245 500 euron kustannukset. Nämä kustannukset ovat suuruudeltaan yli 30 % urakan kokonais hinnasta, joten kustannukset ovat merkittävän suuret jopa hankkeen kokonaiskustannuksiin nähden.

Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannukset lasketaan kaavalla (1), mihin sijoitetaan kiertotien ja normaali-reitin pituusero, keskivuorokausiliikenne sekä kiertotien käyttöaika vuorokausina. Ajoneuvokustannukset lasketaan kaavalla

$$Ank(€/180vrk) = 5,81snt / km \times 0,05km \times 6000ajon./vrk \times 180vrk \approx \underline{\underline{3137€}},$$

missä 5,81snt/km on ajoneuvokustannusten yksikköarvo ja se saadaan taulukosta 4.1. Arvo 0,05km kuvaa matkan pituuseroa kiertotien ja normaalin reitin välillä. Aikakustannuksiin nähden ajoneuvokustannusten osuus kokonaiskustannuksista on pieni, mutta niiden merkitys kasvaa liikennemäärän sekä kiertotien käytön pidentymisen myötä. Ajokustannusten osalta on myös huomattava, että tässä laskutavassa ei ole otettu huomioon ajoneuvon nopeuden vaihteluita, jotka lisäävät osaltaan ajoneuvojen käyttökustannuksia.

Ympäristökustannukset

Matkayksiköiden kokonaismäärä kiertotien käytön ajalta lasketaan ensin, jonka jälkeen voidaan laskea eri päästölajien määrät ja kustannukset. Laskennassa käytetään taulukoiden 4.5 sekä 4.6 arvoja. Kiertotien aiheuttama kokonaismatkan lisäys lasketaan kaavalla (5).

$$S = 0,05\text{km} \times 6000\text{ajon./vrk} \times 180\text{vrk} = 54000\text{km},$$

missä 0,05km on matka, minkä kiertotie on normaalia, valtatie reittiä pidempi. Taulukossa 4.11 on esitetty kiertotien aiheuttamat ympäristökustannukset päästölajikohtaisesti. Laskenta on suoritettu kaavaa (4) käyttäen.

Taulukko 4.11 Kiertotien aiheuttamat päästökustannukset päästölajikohtaisesti.

Päästölaji	SO ₂	NO _x	PM	CO	HC	CO ₂	Yht.
Päästö- kustannus [€]	0,454118	17,53164	64,746	1,4688	0,7182	328,644	<u>413,56</u>

Ympäristökustannuksissakin on otettava huomioon, että kustannusten arvo olisi toinen, mikäli laskentaan otettaisiin mukaan ajoneuvojen hidastukset sekä kiihdytykset.

Onnettomuskustannukset ja turvallisuus

Biolanin risteyssillan rakentamisessa kasvaneen onnettomuusriskin aiheuttaa kiertotien käyttö usean kuukauden ajan. Kiertotien aiheuttaman turvallisuusriskin kasvua on rajoitettu nopeusrajoitusta alentamalla sekä erilaisilla liikenteenohjauslaitteilla. Ennen kiertotietä nopeusrajoitus muuttuu vaiheittain ollen kiertotieosuudella 30km/h. Nopeuksien hiljentämiseksi ennen kiertotietä on käytetty tien pinnassa heräteraitoja. Lisäksi kiertotien havaittavuutta on parannettu vilkkuvaloin varustetuin sulkuidoin sekä sulkupylväin. Siltakaivannon reunat on varustettu sorakasoilla, jotta vahingot onnettomuustilanteissa minimoituisivat. Kaikilla näillä toimenpiteillä saadaan onnettomuuden riskiä pienennettyä työmaa-alueella, mutta se on kuitenkin huomattavan suuri normaalitilanteeseen verrattuna.

Työmaa-alueella ei ole sattunut henkilövahinkoon johtaneita onnettomuuksia, joten kustannuksia tapahtuneiden onnettomuuksien osalta ei ole. Kustannuksia turvallisuustason heikkenemiselle on vaikea laskea, mutta onnettomuusriskin kasvaminen on silti otettava huomioon merkittävänä tekijänä.

Tienpidon kustannukset

Normaaleihin tienpidon kustannuksiin verrattuna tässä hankkeessa saattaa esiintyä kasvua esimerkiksi talvikunnossapidon myötä. Kiertotie on käytössä marraskuun loppuun asti, joten sen käyttöaikana voi ilmetä tarvetta talvikunnossapidolle esimerkiksi aurauksen sekä liikenteenohjauslaitteiden huollon myötä. Kiertotielle asennetaan tievalaistus, mistä myös saattaa aiheutua ylimääräisiä tienpidon kustannuksia.

4.3.3 Sillansiirron hyödyntäminen Euran siltahankkeessa

Biolanin risteyssillan rakentaminen olisi voitu tehdä maasto-olosuhteiden sekä muiden ympäristötekijöiden puolesta myös vaihtoehtoista sillanrakennusmenetelmää hyödyntäen. Hankkeeseen ei liity merkittäviä haasteita, jotka olisivat hankaloittaneet sillansiirtomenetelmän käyttöä. Kuvassa 4.7 on esitetty Euran siltahankkeen aikataulu, mikäli silta olisi toteutettu sillansiirtomenetelmällä.

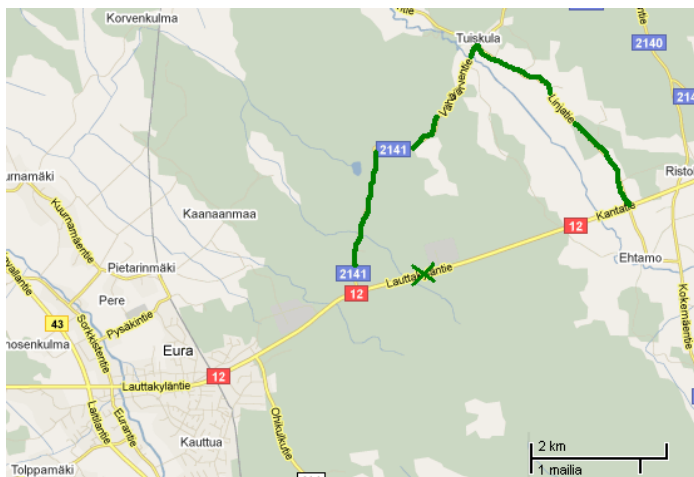
Selite	Kesto	Alkaa	Tou		Kes					Hei					Elo					Syys				
			18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Sillan paaluperustus	2 pv	11.5.2010																						
Y1 alusrak./sitomattomat kerr.	50 pv	11.5.2010																						
Biolanin risteyssilta	70 pv	15.5.2010																						
VT12 alusrak./sitomattomat kerr.	50 pv	28.6.2010																						
Sillansiirto	7 pv	28.8.2010																						
Vesihuoltotyöt ja pumppaamo	10 pv	30.8.2010																						
Viherkennustyöt	10 pv	15.9.2010																						
Viimeistelytyöt	10 pv	20.9.2010																						

Kuva 4.7 Sillansiirron aikataulusimerkki Euran siltahankkeessa.

Mikäli siltahanke olisi toteutettu sillansiirtomenetelmällä, ensimmäinen työvaihe olisi ollut yksityistien rakentaminen vastaavasti kuin toteutuneessa rakennustavassa. Kiertotiestä olisi kuitenkin tarvinnut rakentaa vain se osuus, mikä toimii myös yksityistienä. Tien rakentaminen olisi helpottanut sillan rakentamista valtatie eteläpuolelle. Yksityistien valmistuttua olisi aloitettu sillanrakennustyöt, mitkä ovat pääosin samat kuin toteutuneessa rakennustavassa. Sillankansi rakennetaan tien sivussa vastaavasti kuin tien kohdallakin, mutta sillan perustukset tehdään sillansiirtomenetelmää käytettäessä liikenteen käytössä olevalle väylälle. Koska liikennemäärä ei ole Eurassa merkittävän suuri, olisi sillan paaluperustukset olleet mahdollista asentaa liikenteen kulkiessa valtatieä. Toinen kaista olisi ollut suljettuna yhden paalun asentamisen ajan kerrallaan ja urakoitsija olisi maksanut tältä ajalta kaistavuokraa työn keston mukaisesti. Kaistan sulkemisen

aikana liikenteen ohjaus olisi voitu suorittaa esimerkiksi liikennevalojen tai liikenteen ohjaajan avulla. Paalujen asentamiseen olisi kulunut tässä esimerkissä aikaa noin viisi tuntia yhtä paalua kohden, joten kokonaisuudessaan neljän paalun asentaminen olisi vaatinut noin 20 tunnin kaistavuokrauksen.

Sillan valmistuttua tien sivussa, olisi aloitettu noin viikon mittainen liikennekatko, minkä aikana silta olisi siirretty paikalleen. Sillan siirtäminen ei olisi vaatinut kuin kahden päivän liikennekatkon, mutta hankkeeseen liittyvien valtatieparantamistoimenpiteiden vuoksi liikennekatko olisi ollut jopa viikon. Liikennehaitan pienentämiseksi katkon pituutta olisi voinut tarvittaessa lyhentää. Liikennekatkon aikana kiertoreitti olisi kulkenut Köyliön Tuiskulan kylän kautta. Valtatieltä kääntyminen tälle reitille olisi tapahtunut reilu kaksi kilometriä siltapaikan kohdalta itään ja reitti olisi jälleen yhtynyt valtatiehen noin kilometri siltapaikasta länteen. Kuvassa 4.8 on esitetty mahdollisen kiertoreitin sijainti kartalla.



Kuva 4.8 Euran siltahankkeen mahdollinen kiertoreitti sillansiirron ajan. (Google Maps)

Kokonaisuudessaan kiertoreitin pituus olisi ollut noin seitsemän kilometriä kun vastaava matka valtatieä pitkin kuljettuna on noin kolme ja puoli kilometriä. Mahdollisen kiertoreitin tiet ovat paikallis- sekä yhdystie, joiden nopeusrajoitukset vaihtelevat välillä 40 km/h ja 80 km/h. Keskimäärin kiertoreitin molempien tieosuuksien nopeusrajoitukseksi voidaan arvioida 60 km/h. Sillansiirtoa varten liikennekatkon pituuden olisi pitänyt olla noin kolme vuorokautta, jotta siirtoon liittyvät työvaiheet olisi saatu varmasti suoritettua. Liikennekatkoa olisi voinut hyödyntää myös valtatieparantamiseen liittyviin työvaiheisiin, minkä vuoksi katkon pituus olisi voinut olla esimerkiksi seitsemän vuorokautta.

Rakennuskustannukset

Erot rakennuskustannuksissa eri rakennusmenetelmissä muodostuvat pääosin sillanrakennuskustannuksista, joten rakennuskustannusten osalta tarkastellaan sillan aiheutta-

mia kustannuksia. Myös kiertotien rakentamisesta aiheutuu rakennuskustannuksia, jotka vaihtelevat sillanrakennusmenetelmästä riippuen.

Toteutuneen rakennustavan rakennuskustannukset sillan osalta olivat noin 270 000 euroa, joita sillansiirtomenetelmän käyttö olisi lisännyt jossain määrin. Tässä esimerkissä sillan rakentaminen tien sivussa ei olisi vaatinut siltatelineiden perustusten osalta erikoisrakenteita, joten siltatelineiden perustuksena olisi voitu käyttää vain murskekerrosta. Murskekerroksen rakentaminen ei olisi kuitenkaan lisännyt rakennuskustannuksia merkittävästi, sillä sillansiirtomenetelmää käytettäessä siltatelineet olisi voitu rakentaa matalampana kuin nykyisessä rakennustavassa. Siltatelineiden korkeusero johtuu tarvittavasta kaivussyvyydestä, sillä toteutuneessa rakennusmenetelmässä kaivutaso on anturoiden asentamisen vuoksi alempana. Voidaan siis arvioida, että sillansiirtomenetelmää käytettäessä siltatelineiden kustannus perustuksineen olisi ollut samansuuruinen kuin toteutuneen rakennustavan siltatelineiden kustannus. Sillan perustusten osalta kustannusmuutoksia olisi aiheutunut teräsputkipaalujen käytöstä teräsbetonipilarien sijaan. Paaluperustuksen kustannus porapaaluja käyttäen olisi ollut noin 52 000 euroa sisältäen paalutuksen sekä betonimanttelit paalujen näkyvälle osalle. Toteutuneessa rakennustavassa teräsbetonisten pilarien ja anturoiden kustannus on noin 23 000 euroa, joten porapaalujen käyttö olisi aiheuttanut noin 30 000 euroa suuremmat kustannukset. Tämä kustannusero olisi kuitenkin säästetty porapaaluja käytettäessä kaivutöissä, joten sillan perustusten osalta sillansiirtomenetelmän käyttö ei olisi lisännyt kustannuksia. Kallioon porautuvaa paalua voidaan pitää myös riskittömämpänä kuin maanvaraisia perustuksia. Lisäksi sillan siirtäminen olisi lisännyt rakennuskustannuksia noin 40 000 euroa. Kokonaisuudessaan sillansiirtomenetelmän käyttö olisi tässä esimerkissä lisännyt rakennuskustannuksia vain siirtokustannusten osuuden verran eli noin 40 000 euroa.

Kiertotien rakennuskustannuksista vain osa voidaan ottaa huomioon rakennusmenetelmien rakennuskustannuseroja vertailtaessa, sillä suuri osa kiertotiestä hyödynnetään hankkeen valmistuttua yksityistienä. Sillansiirtomenetelmällä olisi kuitenkin säästetty noin 20 000 euroa, kun kiertotietä ei olisi tarvinnut rakentaa lainkaan. Loput kiertotien 50 000 euron rakennuskustannuksista kohdistuu yksityistieosuuteen, mikä olisi jouduttu rakentamaan myös sillansiirtomenetelmää käytettäessä.

Aikakustannukset

Sillansiirtomenetelmän käytön suurimpana etuna on, että liikenne kulkee normaalia väylää pitkin lähes koko rakennusajan. Tässä esimerkissä liikenteelle aiheutettua ajallista haittaa olisi sillansiirtomenetelmää käytettäessä aiheuttanut sillan perustusten paalutustyöt sekä sillansiirtokatko.

Paalutustöiden aikana kaistavuokran hinnoittelussa olisi voinut soveltaa ajokustannuslisäykseen perustuvaa kaistavuokraa. Hinnan arvioinnin perustana olisi voitu käyttää vuorokausiliikennettä (6000ajon./vrk) tai keskimääräistä tuntiliikennettä (250ajon./vrk). Ottaen huomioon liikennemäärän sekä työmaan pituuden vuorokauden kaistavuokrana olisi voinut käyttää arvoa 4000 euroa ja tuntikohtaisena kaistavuokrana 200 euroa. Paa-

lutustyön kesto olisi kokonaisuudessaan ollut noin 20 tuntia, joten kaistavuokran kokonaiskustannus olisi ollut noin 4000 euroa.

Kiertoreitin aiheuttama aikakustannus lasketaan vastaavalla tavalla kuin kiertotien. Ensin lasketaan aikaero normaalin reitin ja kiertoreitin välillä yhtä autoa kohden hyödyntäen kaavaa (2). Yhden ajoneuvon käyttämä aika valtatieta pitkin kuljettuna lasketaan kaavalla

$$t = \frac{3,5\text{km}}{80\text{km/h}} = 0,04375\text{h},$$

missä 3,5km kuvaa kiertoreittiä vastaavaa matkaa valtatieta pitkin ja 80km/h on valtatieen normaali nopeusrajoitus. Kiertoreittiin kuluva matka-aika lasketaan vastaavasti samaa kaavaa hyödyntäen.

$$t = \frac{3\text{km}}{60\text{km/h}} + \frac{4\text{km}}{60\text{km/h}} = 0,1167\text{h}$$

Kaavassa on laskettu erikseen kahden kiertotien väylän osuus kuluneesta ajasta. Kahden edellä lasketun ajan erotuksena saadaan tulokseksi 0,07295 tuntia (noin 26 sekuntia). Tämä aika kuvaa kiertoreitin ja normaalin reitin välistä aikaeroa, minkä aiheuttama kustannus voidaan laskea kaavalla (3).

$$Aik(\text{€}/7\text{vrk}) = 16,09\text{€}/\text{h}/\text{auto} \times 0,07295\text{h} \times 6000\text{ajon.}/\text{vrk} \times 7\text{vrk} \approx \underline{\underline{49298\text{€}}}$$

Kaavassa 16,09€ on aikasäästön keskimääräinen yksikköarvo kevyelle ajoneuvolle ja se on saatu taulukosta 4.2. Laskenta on tehty seitsemän vuorokauden ajalle, mutta mikäli siirtokatko olisi esimerkiksi vain 5 vuorokautta, pienentäisi se aikakustannuksia huomattavasti noin 35 000 euroon.

Kun lasketaan yhteen sekä paalutustyön että kiertoreitin aiheuttama aikakustannus, saadaan kokonaiskustannukseksi hieman yli 53 000 euroa.

Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannuksia sillansiirtomenetelmässä aiheutuu kiertoreitin käytöstä. Ajoneuvokustannukset lasketaan kaavalla (1).

$$Ank(\text{€}/7\text{vrk}) = 5,81\text{snt}/\text{km} \times 3,5\text{km} \times 6000\text{ajon.}/\text{vrk} \times 7\text{vrk} \approx \underline{\underline{8541\text{€}}},$$

missä ajoneuvokustannusten yksikköarvo 5,81snt/km on saatu taulukosta 4.1 ja arvo 3,5km on matkan pituus, minkä kiertoreitti on normaalia reittiä pidempi.

Ympäristökustannukset

Ympäristökustannusten laskenta suoritetaan taulukoiden 4.5 ja 4.6 arvoja käyttäen. Ensin lasketaan kiertoreitin matkayksiköiden lisäys verrattuna normaaliin reittiin, jotta voidaan laskea matkan lisäyksen aiheuttamat ympäristökustannukset. Kiertoreitin aiheuttama matkan kasvu lasketaan kaavalla (5).

$$S = 3,5\text{km} \times 6000\text{ajon./vrk} \times 7\text{vrk} = 147000\text{km},$$

missä 3,5 km kuvaa matkaa, minkä kiertoreitti on normaalia, valtatie reittiä pidempi. Kiertoreitti on käytössä seitsemän vuorokautta. Taulukossa 4.12 on esitetty kiertoreitin aiheuttamat päästökustannukset päästölajeittain. Taulukon arvot on laskettu käyttäen kaavaa (4).

Taulukko 4.12 Kiertoreitin aiheuttamat päästökustannukset päästölajeittain.

Päästölaji	SO ₂	NO _x	PM	CO	HC	CO ₂	Yht.
Päästökustannus [€]	1,236211	47,72502	176,253	3,9984	1,9551	894,642	<u>1125,81</u>

Onnettomuskustannukset ja turvallisuus

Sillansiirtomenetelmää käytettäessä työmaan turvallisuus paranee niin tienkäyttäjien kuin työntekijöidenkin kannalta, sillä kiertotiejärjestelyjä ei jouduta käyttämään. Työmaalla suurimman onnettomuusrisikin aiheuttavat tilapäiset liikennejärjestelyt, jotka saadaan sillansiirtomenetelmällä minimoitua.

Viikon käytössä oleva kiertoreitti aiheuttaa jossain määrin kasvaneen onnettomuusrisikin erityisesti kiertoreitin yhdys- ja paikallisteille, joilla liikennemäärä lisääntyy huomattavasti tavanomaiseen liikennetilanteeseen verrattuna. Kiertoreitti ei kuitenkaan aiheuta turvallisuuden heikkenemistä vastaavalla tavalla kuin kiertotie, sillä liikenne ei kulje työmaan välittömässä läheisyydessä.

Onnettomuusrisikin kasvua sillansiirtomenetelmässä aiheuttaa myös kaistan sulkeminen paalutuksen aikana. Liikenteen pysäyttäminen valtatiellä aiheuttaa aina turvallisuusrisikin, minkä vuoksi paalutus suoritetaan useassa eri vaiheessa ja työt ajoitetaan liikenteellisesti mahdollisimman hiljaiselle ajalle.

Tienpidon kustannukset

Tienpidon kustannukset eivät kasva sillansiirtomenetelmää käytettäessä normaaliin tilanteeseen verrattuna. Kiertoreitin väylät ovat yleisiä teitä, joten niiden kunnossapito ei vaadi erityisiä toimenpiteitä kiertoreittinä toimimisen vuoksi. Muuten liikenne kulkee valtatieä pitkin, joten normaalista poikkeavia kunnossapidon toimenpiteitä ei tarvita.

4.3.4 Rakennusmenetelmien vertailu

Riippuen kustannusten laskentatavasta, eri rakennusmenetelmien väliset kustannuserot vaihtelevat huomattavan paljon. Nykyisen laskentaperiaatteen mukaan eli vain rakennuskustannukset huomioon ottaen sillansiirtomenetelmää käytettäessä kustannukset nousevat jossain määrin. Kun laskennassa otetaan huomioon myös yhteiskunnalliset kustannukset, voidaan sillansiirtomenetelmän todeta olevan tässä esimerkissä selvästi edullisempi rakennustapa kokonaistaloudellisesta näkökulmasta.

Sillansiirtomenetelmän käyttö tässä kohteessa olisi aiheuttanut noin 53 000 euron aikakustannukset. Nämä kustannukset olisivat syntyneet siirtokatkon aikana kiertoreitistä sekä toisen kaistan sulkemisesta paalutuksen aikana. Toteutuneelle rakennustavalle saatiin kiertotien aikakustannukseksi lähes 250 000. Aikakustannusten osalta nykyinen rakennusmenetelmä aiheutti yhteiskunnalle lähes 200 000 suuremmat kustannukset sillansiirtomenetelmään verrattuna. Ajokustannusten merkitys urakan kokonaishintaan nähden ei ole yhtä merkittävä kuin aikakustannusten. Toteutuneen rakennustavan ajoneuvokustannukset, noin 3100 euroa, olisivat lisääntyneet sillansiirtomenetelmän käytön myötä. Viikon käytössä oleva kiertoreitti olisi tässä esimerkissä aiheuttanut noin 8500 euron ajokustannukset. Myös ympäristökustannukset olisivat kasvaneet sillansiirtomenetelmää käytettäessä lähes kolminkertaisiksi. Ympäristökustannustenkin osalta on kuitenkin huomattava, että niiden osuus on erittäin pieni yhteiskunnallisia kokonaiskustannuksia ajatellen. Toteutuneen rakennustavan kaikki ajokustannukset huomioon ottaen aiheutui hankkeesta noin 249 000 euron kustannukset yhteiskunnalle ja tienkäyttäjille. Sillansiirtomenetelmää käytettäessä näiden kustannusten suuruus olisi ollut noin 63 000 euroa eli valitsemalla rakennusmenetelmä toisin, olisi ajokustannusten osalta säästetty noin 186 000 euroa.

Toteutuneen rakennustavan rakennuskustannukset, kun otetaan huomioon sillanrakennuskustannus sekä kiertotien kustannus, ovat noin 290 000. Tässä kiertotien rakennuskustannuksista on otettu huomioon ainoastaan purettavan osan kustannus, mikä aiheuttaa kustannuseroa eri rakennusmenetelmien välillä. Sillansiirtotekniikkaa hyödyntämällä sillan rakennuskustannukset olisivat nousseet 40 000 euroa ja kiertotien rakennuskustannuksia ei olisi syntynyt muilta osin kuin yksityistien osuudelta. Rakennuskustannusten kokonaisarvoksi sillansiirtomenetelmällä olisi tullut noin 310 000, kun rakennuskustannusten osalta on otettu huomioon sillan sekä kiertotien rakennuskustannukset.

Laskemalla yhteen molempien rakennusmenetelmien kaikki kustannukset, voidaan huomata sillansiirtomenetelmän olevan selkeästi kokonaistaloudellisempi kuin toteutuneen rakennustavan. Taulukossa 4.13 on esitetty eri rakennusmenetelmien kustannusvertailu.

Taulukko 4.13 Sillanrakennusmenetelmien kustannusvertailu.

Kustannukset [€]	Toteutunut rakennustapa	Sillansiirtomenetelmä
Rakennuskustannukset (silta ja kiertotie)	290 000	310 000
Aikakustannukset	245 453	53 298
Ajoneuvokustannukset	3137	8541
Ympäristökustannukset	414	1126
Yhteensä	539 004	372 965

Rakennus- sekä ajokustannukset huomioon ottaen toteutuneen rakennustavan aiheuttamat kustannukset ovat noin 539 000 euroa. Sillansiirtomenetelmän aiheuttamat vastaavat kustannukset olisivat olleet noin 373 000 euroa, joten kokonaisuudessaan sillansiirtomenetelmällä olisi säästetty hankkeen kustannuksissa noin 166 000 euroa. Kustannusero on merkittävä jopa hankkeen kokonaiskustannuksiin verrattuna, sillä sen suuruus on yli 20 % kokonaiskustannuksista.

4.4 Olosuhdemuutosten vaikutustarkastelu

4.4.1 Yleistä

Useimmiten työmaat ovat keskenään hyvinkin erilaisia ja eri olosuhteet vaihtelevat työmaan luonteesta sekä sijainnista riippuen. Kahden esimerkitapauksen perusteella ei voi vielä tehdä johtopäätöksiä, joten tässä yhteydessä tulee tarkastella eri olosuhdetekijöiden vaikutusta sillansiirtomenetelmän mahdollisuuksiin tiesiltojen rakentamisessa. Olosuhteiden vaikutusta tutkitaan aikaisemmin esillä olleiden esimerkkien avulla eli kuinka eri olosuhdemuutokset olisivat näissä esimerkeissä vaikuttaneet sillansiirtomenetelmän kannattavuuteen. Olosuhdemuutokset näkyvät pääasiassa ajokustannuslaskelmissa ja vaikuttavat näin kokonaistaloudellisuuteen. Muuntelemalla eri olosuhteiden arvoja, voidaan tulokseksi saada raja-arvoja sillansiirtomenetelmän kannattavuudesta esimerkiksi liikennemäärän suhteen. Olosuhdemuutosten vaikutusten analysoinnin avulla voidaan arvioida muissa vastaavissa hankkeissa sillansiirron mahdollisuuksia.

Yksi tärkeimmistä olosuhdetekijöistä on liikennemäärä, jonka vaikutus kustannuslaskelmiin on suuri. Mitä suurempi liikennemäärä on, sitä suuremmat ovat myös työmaan liikenteelle aiheuttamat häiriöt. Tästä johtuen väylillä, joilla on suuret liikennemäärät, tulee kiinnittää erityistä huomiota työmaiden liikennejärjestelyihin, jotta liiken-

teen häiriöt ja haitat saataisiin minimoitua. Toinen olosuhdetekijä, mikä vaikuttaa merkittävästi liikennehaitan syntymiseen, on työmaan kesto ja erityisesti kiertotien käyttöaika. Tämä aika tarkoittaa liikenteelle aiheutetun häiriön kestoa. Pienissä siltahankkeissa kiertotie on käytössä esimerkiksi vain kaksi kuukautta, mutta isommissa hankkeissa kiertotietä joudutaan käyttämään jopa yli vuosi. Mikäli kiertotie on käytössä vain lyhyen ajan ja liikennemäärä on pieni, ei kiertotie aiheuta suurta liikennehaittaa. Kiertotien käyttöajan vaikutus voidaan huomata Suonenjoen ja Euran esimerkkihankkeista, missä liikennemäärät ovat samat, mutta kiertotien käyttöaika muuttuu kahdesta kuukaudesta puoleen vuoteen. Jo tällä neljän kuukauden erolla kustannukset kasvavat huomattavasti. Muita tekijöitä, mitkä vaikuttavat ajokustannusten ja liikennehaitan muodostumiseen, ovat kiertotien sekä mahdollisen kiertoreitin pituus. Kiertotien pituus ei yleensä ole yhtä merkittävä tekijä kustannusten muodostumisen kannalta kuin liikennemäärä sekä kiertotien käyttöaika. Pienemmissä siltahankkeissa kiertotien pituusero normaaliin reittiin on usein vain muutamia kymmeniä metrejä. Sillansiirron ajaksi valittu kiertoreitti voi vaikuttaa enemmän liikennehaitan syntymiseen riippuen siitä, millainen kiertoreitti on olemassa. Mikäli kiertoreitin pituus kasvaa huomattavan suureksi, voi sillansiirron kannattavuus kokonaistaloudellisesti heikentyä.

Ajokustannusten lisäksi olosuhteet vaikuttavat myös rakennuskustannuksiin. Maasto-olosuhteet vaihtelevat siltahankkeesta riippuen ja näillä muutoksilla voi olla merkittävä vaikutus rakennuskustannusten suuruuteen. Sillansiirtomenetelmä nostaa sillan rakennuskustannuksia aina sillan siirtämisestä johtuen, vaikka maasto-olosuhteet eivät lisäkustannuksia aiheuttaisikaan. Useissa hankkeissa kiertotie rakennetaan vain työmaan ajaksi, jolloin sillan siirtämisestä aiheutunut kustannus katetaan jo kiertotien kustannussäästöillä. Suonenjoen ja Euran siltahankkeissa kiertotietä hyödynnetään hankkeen valmistuttuakin, joten näissä esimerkeissä ei kiertotien kustannussäästö vastaa kokonaan sillansiirrosta aiheutuvaa lisäkustannusta.

4.4.2 Case Suonenjoki

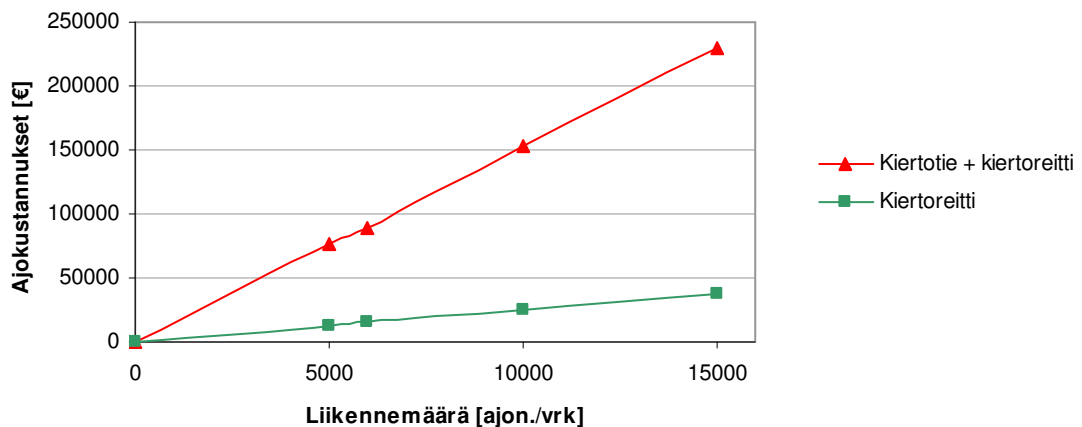
Suonenjoella liikennemäärä ei ole huomattavan suuri eikä kiertotie ole käytössä kovin pitkään, joten toteutuneen rakennustavan liikennehaittakustannukset jäävät melko vähäisiksi. Tästä johtuen sillansiirtomenetelmällä saavutettu etu olisi jäänyt suhteellisen pieneksi. Voidaan kuitenkin tarkastella, kuinka olosuhteiden muutokset olisivat tässä esimerkissä vaikuttaneet ajokustannuksiin.

Liikennemäärä

Liikennemäärän vaikutus ajokustannusten suuruuteen nykyisellä liikennemäärällä ei ole kovin suuri, sillä liikennemäärä kesäaikana Suonenjoella on noin 6000 ja muina aikoina noin 5000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Näillä liikennemäärillä toteutuneen rakennustavan sekä sillansiirtomenetelmän väliset ajokustannuserot olisivat olleet vain noin 15 000

euroa, joten liikennemäärä on hyvin lähellä raja-arvoa, milloin sillansiirtomenetelmä on kannattavampi rakennusmenetelmä kuin perinteinen kiertotiemenetelmä. Mikäli liikennemäärä olisi myös kesäaikana 5000 ajoneuvoa vuorokaudessa, häviäisi kustannusero rakennusmenetelmien väliltä. Tämä luku on liikennemäärän raja-arvo, jota suuremmilla liikennemäärillä sillansiirtomenetelmä olisi tässä esimerkissä ollut kokonaistaloudellisesti kannattavampi sillanrakennusmenetelmä.

Liikennemäärän vaikutusta voidaan tutkia myös laskemalla kustannuseroja, mikäli liikennemäärä olisi esimerkiksi 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, mikä olisi käytännössä hyvin mahdollinen liikennemäärä valtatiellä. Liikennemäärän lähes kaksinkertaistuminen aiheuttaisi tässä tapauksessa kokonaiskustannusten eron nelinkertaistumisen eli rakennusmenetelmien kustannuseroksi tulisi noin 60 000 euroa. Liikennemäärän vaikutus ajokustannusten syntymiseen on esitetty kuvassa 4.9. Sillansiirtomenetelmän osalta on kuitenkin huomattava, että myös paalutuksen aikana syntyy aikakustannuksia, joten kiertoreitin aiheuttamat ajokustannukset eivät muodosta kokonaisajokustannuksia. Toteutuneen rakennusmenetelmän osalta kiertotien sekä kiertoreitin aiheuttamat ajokustannukset vastaavat kokonaisajokustannuksia. Kuva arvot on laskettu muuttamalla vain liikennemäärää eli muut olosuhteet pysyvät ennallaan.



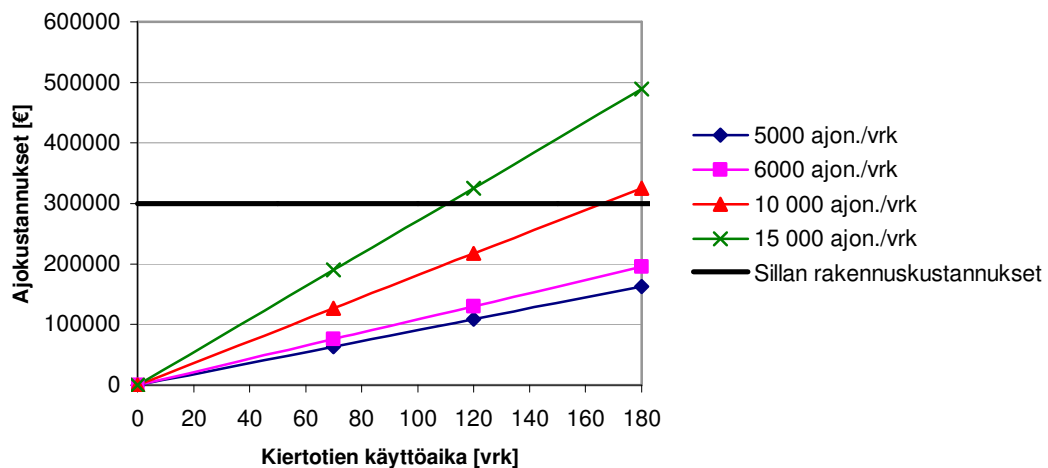
Kuva 4.9 Liikennemäärän vaikutus kiertotien sekä kiertoreitin ajokustannuksiin.

Tässä esimerkissä kustannuseron kasvuun vaikuttaa paljon sillansiirron tarvitseman kiertoreitin käyttö myös toteutuneessa rakentamismenetelmässä. Koska kiertoreitti on käytössä molemmissa tapauksissa, ei se kasvata kustannuseroa, joka syntyy tässä esimerkissä pääasiassa kiertotien ajokustannuksista. Useimmiten kiertoreitti on käytössä vain sillansiirtomenetelmää käytettäessä, jolloin olosuhdemuutokset muuttavat kustannuseroa myös kiertoreitin vaikutuksesta.

Kiertotie

Kiertotien osalta kustannuksiin vaikuttaa eniten kiertotien käyttöaika eli liikenteelle aiheutetun häiriön kesto. Suonenjoen esimerkissä kiertotie oli käytössä hieman yli kaksi

kuukautta. Mikäli kiertotien käyttöaikaa olisi jouduttu pidentämään neljään kuukauteen esimerkiksi yllättävistä muutoksista tai maasto-olosuhteista johtuen, olisi rakennusmenetelmien välinen kustannusero moninkertaistunut. Neljän kuukauden kiertotiellä kustannuseroksi olisi tullut kokonaisuudessaan noin 80 000 euroa, mikä on noin viisinkertainen alkuperäiseen 15 000 euron kustannuseroon verrattuna. Kiertotien käyttö puolen vuoden ajan lisäisi kustannuseroa jopa 150 000 euroon eli noin kymmenkertaiseksi verrattuna nykyiseen kustannuseroon. Kustannuseron kasvu johtuu pääasiassa siitä, että kiertotien käytössäoloajan kasvattaminen vaikuttaa vain nykyisen rakennustavan kustannuksiin, jotka kasvavat sillansiirtomenetelmän kustannuksiin nähden. Kahta kuukautta lyhyempää kiertotien käyttöaikaa ei ole tarpeen tarkastella, sillä sillan rakentaminen nykyisillä tekniikoilla alle kahden kuukauden ei ole useimmiten mahdollista. Kuvassa 4.10 on esitetty kiertotien käyttöajan vaikutusta ajokustannuksiin eri liikennemäärillä. Ajokustannukset on kuvaajassa laskettu vain kiertotien osalta, joten toteutuneen rakennustavan kokonaisajokustannuksiin nähden kustannukset ovat kiertoreitin aiheuttamien ajokustannusten verran pienemmät. Kuvaajasta voidaan huomata ajokustannusten kasvavan nopeammin suhteessa kiertotien käyttöaikaan. Ajokustannusten arvot on kuvaajassa laskettu vuorokausille 70, 120 sekä 180.



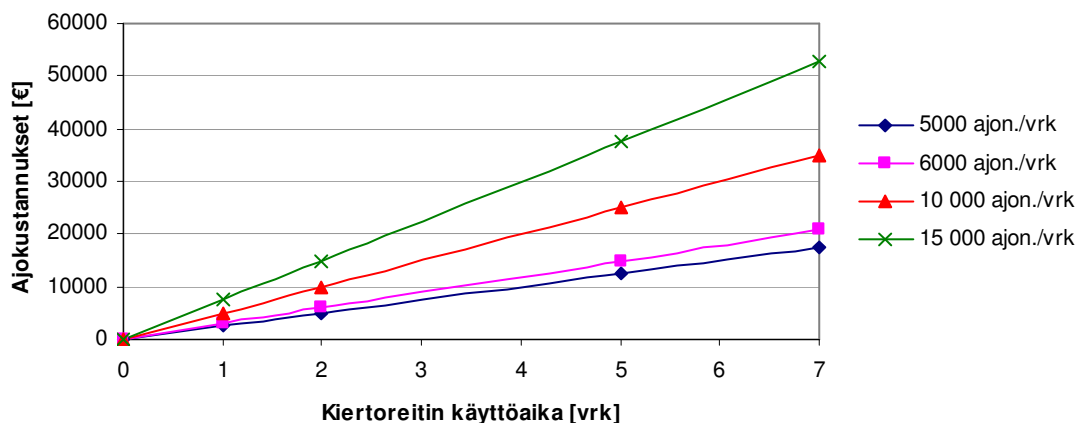
Kuva 4.10 Kiertotien käytössäoloajan vaikutus ajokustannusten muodostumiseen eri liikennemäärillä.

Kiertotien pituuden vaikutus ajokustannuksiin ei ole yhtä suuri kuin esimerkiksi kiertotien käyttöajan. Mikäli kiertotien pituus olisi kaksinkertainen käytettyyn kiertotiehen verrattuna, aiheuttaisi se noin 10 000 euroa suuremman kustannuseron eli noin 25 000 euroa. Kiertotien nopeusrajoitus vaikuttaa myös osaltaan kustannusten suuruuteen. Tässä esimerkissä kiertotien nopeusrajoituksina käytettiin 60 km/h sekä 40 km/h. Mikäli nopeusrajoituksina olisi jouduttu käyttämään 50 km/h ja 30 km/h, olisi se kasvattanut toteutuneet rakennusmenetelmän ajokustannuksia lähes 50 000 euroa, mikä olisi lisännyt rakennusmenetelmien välistä kustannuseroa huomattavasti. Nopeusrajoitusten va-

linnalla voidaan siis vaikuttaa ajokustannusten muodostumiseen hyvinkin paljon, vaikka liikennemäärä ei ole suuri eikä kiertotie ole käytössä pitkään.

Kiertoreitti

Kiertoreittiä käytettiin tässä esimerkissä myös toteutuneessa rakennustavassa, joten sen käyttö sillansiirron aikana ei olisi lisännyt kustannuseroa sillansiirtomenetelmän ja toteutuneen rakennusmenetelmän välillä. Vaikka kiertoreitin käyttö olisi ollut tarpeen vain sillansiirron aikana, olisi sillansiirtomenetelmän käyttö ollut kuitenkin kokonaistaloudellisesti edullisempi ratkaisu, mutta kustannusero olisi ollut hyvin pieni. Tässä esimerkissä olemassa oleva kiertoreitti olisi aiheuttanut poikkeuksellisen vähäiset häiriöt liikenteelle, sillä kiertoreitin pituus oli vain kilometrin normaalia reittiä pidempi. Tässä esimerkissä lopullinen kustannusero oli niin vähäinen, että hiemankin pidempi kiertoreitti olisi aiheuttanut sillansiirtomenetelmän kannattamattomuuden, mikäli kiertoreittiä olisi käytetty vain sillansiirron ajan.



Kuva 4.11 Kiertoreitin käyttöajan vaikutus ajokustannusten muodostumiseen eri liikennemäärillä.

Kiertoreitin käyttöajan vaikutus ajokustannuksiin voidaan nähdä kuvasta 4.11. Nykyisen liikennemäärän lisäksi kuvaajassa on esitetty ajokustannuksia eri liikennemäärillä. Kuvaajasta nähdään, että kiertoreitin aiheuttamat ajokustannukset jäävät vähäisiksi, vaikka liikennemäärä sekä kiertoreitin käyttöaika kasvavat.

Maasto-olosuhteet

Suonenjoen siltahankkeessa erityispiirteenä oli korkea pengeri sekä pehmeä maa, mitkä olisivat nostaneet sillanrakennuskustannuksia rakennettaessa silta valtatie vieressä. Useissa tapauksissa näitä erityispiirteitä ei kuitenkaan ole, mikä alentaisi sillansiirron aiheuttamia lisärakennuskustannuksia muutamalla kymmenellä tuhannella eurolla. Sillansiirto aiheuttaa vain noin 40 000 euron lisärakennuskustannukset, mikäli erityiset

maasto-olosuhteet eivät vaikuta kustannusten kasvuun. Mikäli tässä esimerkissä olisi kiertotie jouduttu rakentamaan vain rakentamisen ajaksi, olisi sillan siirtämisestä aiheutuvat kustannukset katettu kiertotien kustannussäästöllä. Voidaankin päätellä sillansiirtomenetelmän olevan kannattava sillanrakennusmenetelmä, kun rakennuskustannukset eivät kasva huomattavan suuriksi hankalista maasto-olosuhteista johtuen ja kun kiertotietä ei voida hyödyntää hankkeen valmistuttua.

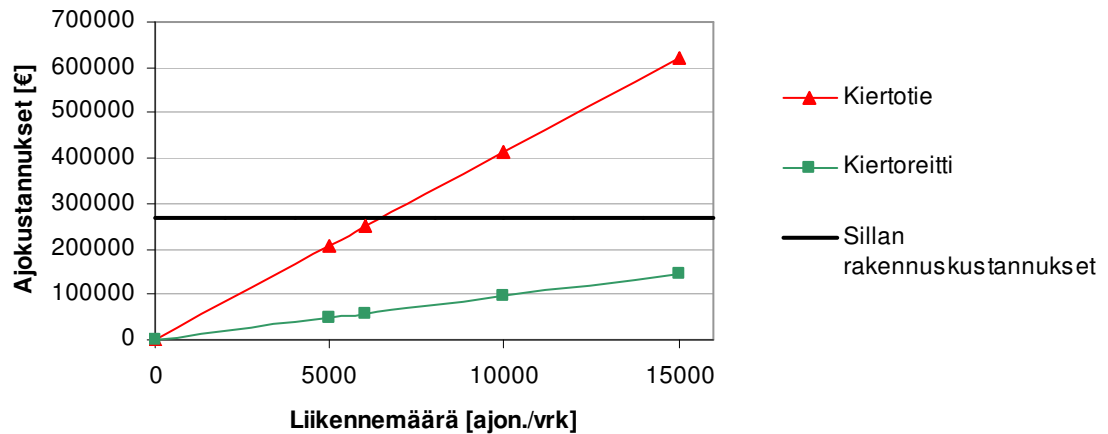
4.4.3 Case Eura

Liikennemäärä ei ole suuri Eurankaan siltahankkeessa, mutta kiertotie on käytössä pidempään kuin Suonenjoella. Tässä esimerkissä voidaan hyvin havaita kiertotien merkitys ajokustannusten muodostumisen kannalta. Kustannusero toteutuneen rakennustavan ja sillansiirtomenetelmän välillä on huomattavan suuri juuri kiertotiestä johtuen. Seuraavassa tarkastellaan eri olosuhdetekijöiden muuttumisen vaikutusta Biolanin risteys-siltahankkeen kustannuksiin.

Liikennemäärä

Liikennemäärän vaikutus ajokustannusten muodostumisessa ei ole tässä esimerkissä kovin suuri verrattuna muihin olosuhdetekijöihin. Kokonaisuudessaan kustannuseroksi eri rakennusmenetelmien välillä saatiin aiemmissa laskelmissa lähes 170 000 euroa. Tässä esimerkissä liikennemäärän raja-arvo on noin 1000 ajoneuvoa vuorokaudessa, jota suuremmilla liikennemäärillä sillansiirto olisi ollut kokonaistaloudellisesti kannattavampi rakennustapavaihtoehto. Tällainen tarkastelu ei kuitenkaan tässä tapauksessa ole realistinen, sillä liikennemäärä ei ole ratkaisevin ajokustannusten suuruuteen vaikuttava tekijä. Lisäksi on käytännössä hyvin harvinaista, että sillansiirtomenetelmän käyttö olisi kannattavaa erittäin vähäliikenteisten väylien siltahankkeissa.

Kiertotiestä johtuen ajokustannukset ovat jo nykyisellään suuret, mutta liikennemäärän kasvaessa ne suurenisivat entisestään. Mikäli Biolanin risteys sillan kohdalla valtatie liikennemäärä olisi esimerkiksi 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, eri rakennusmenetelmien välinen kokonaiskustannusero nousisi yli 290 000 euron. Tämä kustannus on jopa suurempi kuin uuden sillan rakennuskustannukset. Suomen valtatieverkosto käsittää useitakin tieosuusia, joilla liikennemäärä on 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, joten tällaisten liikennehaittakustannusten syntyminen on täysin mahdollista siltahankkeen yhteydessä. Kuvassa 4.12 on esitetty liikennemäärän muutoksen vaikutus kiertotien sekä kiertoreitin aiheuttamiin ajokustannuksiin.



Kuva 4.12 Liikennemäärän vaikutus kiertotien ja kiertoreitin aiheuttamiin ajokustannuksiin.

Toteutuneen rakennustavan osalta nämä ajokustannukset vastaavat kokonaisajokustannuksia. Sillansiirron aiheuttamat ajokustannukset käsittävät kiertoreitin aiheuttamien ajokustannusten lisäksi myös paalutuksesta aiheutuvat aikakustannukset.

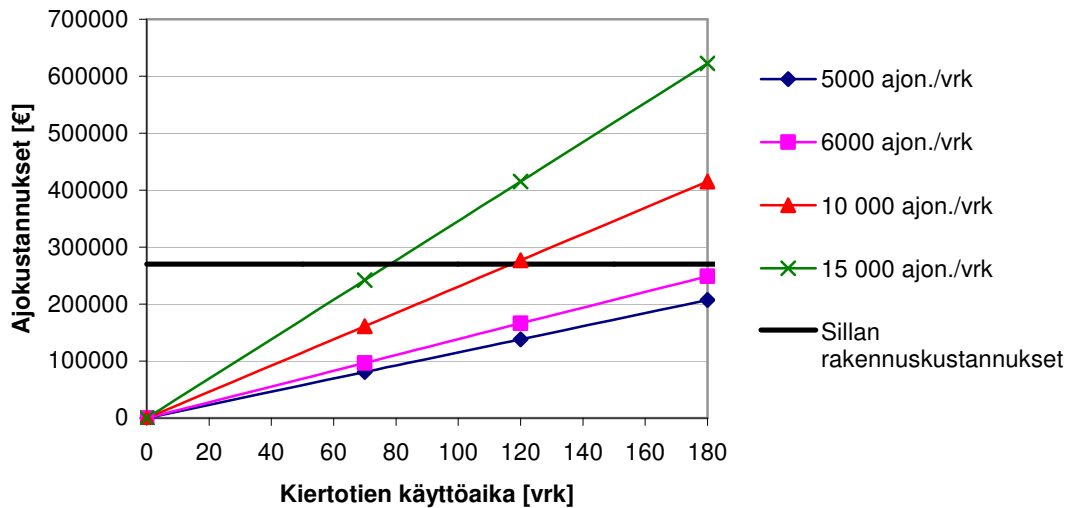
Kiertotie

Kiertotien käyttöaika on tässä esimerkissä olosuhdetekijöistä merkittävin ajokustannusten suuruuteen vaikuttava tekijä. Toteutuneessa rakennusmenetelmässä kiertotie on käytössä noin kuusi kuukautta, vaikka suunniteltu aika oli neljä kuukautta. Mikäli kiertotie olisi ollut käytössä alkuperäisen suunnitelman mukaisesti neljä kuukautta, olisivat toteutuneen rakennustavan ajokustannukset laskeneet lähes 250 000 eurosta noin 165 000 euroon. Tämä kustannusero olisi laskenut eri rakennusmenetelmien välisen kustannuseron nykyisestä noin puoleen eli noin 80 000 euroon. Vastaavassa tapauksessa kiertotien käyttö pidempään kuin kuusi kuukautta on harvinaista, sillä sillan kokoon nähden kuuden kuukauden rakentamisaika on poikkeuksellisen pitkä. Tämän esimerkin osalta ei ole tarpeen tarkastella kiertotien pidemmän käyttöajan vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Pidemmät kiertotien käytössäoloajat tulevat useimmiten kyseeseen lähinnä useampi-kaistaisilla teillä kuten moottoriteillä.

Kiertotien pituus ei vaikuta ajokustannuksiin merkittävästi, etenkin kiertotien käytössäoloajan ollessa pitkä. Mikäli kiertotien pituus olisi tässä esimerkissä kaksinkertaistunut, olisi se kasvattanut kustannuseroa eri rakennusmenetelmien välillä noin 30 000 euroa. Tässä esimerkissä kiertotien nopeusrajoituksen merkitys korostuu kiertotien pitkän käyttöajan myötä. Kiertotien nopeusrajoituksina tässä esimerkissä on käytetty 50 km/h ja 30 km/h. Mikäli kiertotien nopeusrajoitukset olisivat olleet 60 km/h ja 40 km/h, olisi se pienentänyt toteutuneen rakennusmenetelmän ajokustannuksia lähes 100 000 eurolla. Tämä olisi tarkoittanut kustannuseron pienenemistä reilusti alle puoleen. Vaik-

ka kyse on pienestä muutoksesta, ovat sen vaikutukset pitkällä aikavälillä yllättävänkin suuret.

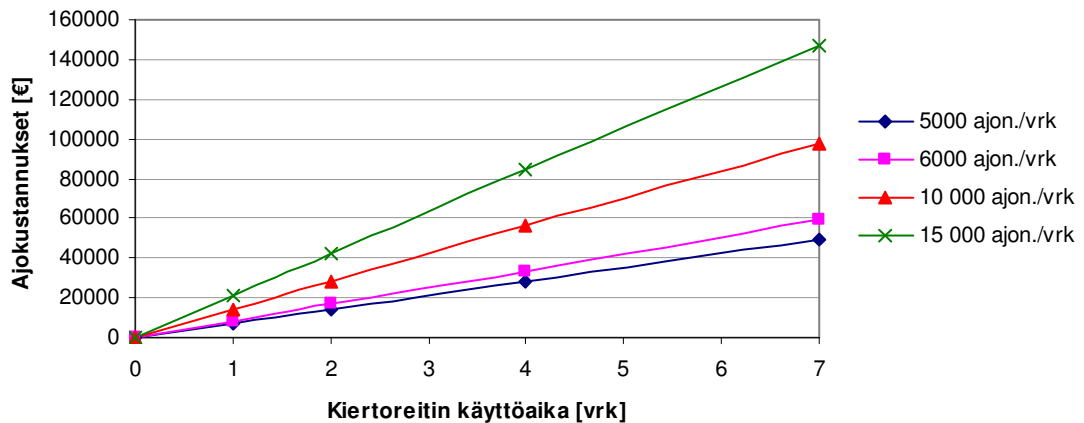
Kuvassa 4.13 on esitetty Euran siltahankkeen osalta kiertotien käyttöajan vaikutus kiertotien aiheuttamiin ajokustannuksiin eri liikennemäärillä. Kustannukset on kuvassa laskettu vuorokausille 70, 120 sekä 180.



Kuva 4.13 Kiertotien käyttöajan vaikutus ajokustannusten syntymiseen eri liikennemäärillä.

Kiertoreitti

Tässä esimerkissä mahdollinen kiertoreitti on noin seitsemän kilometriä pitkä ja se on noin kolme ja puoli kilometriä normaalia reittiä pidempi. Ajokustannuksia tämä kiertoreitti olisi aiheuttanut viikon käyttöaikana noin 60 000 euroa. Mikäli kiertotien pituus olisi tässä esimerkissä ollut esimerkiksi 10 km, olisi se kasvattanut kiertoreitin aiheuttamia ajokustannuksia noin 35 000 eurolla. Jos kiertotie olisi ollut nykyistä lyhyempi, esimerkiksi viisi kilometriä, olisi se pudottanut ajokustannukset noin puoleen. Näiden laskelmien perusteella voidaan huomata, että lyhytaikainen kiertoreitti on huomattavasti edullisempi kokonaistaloudellisesti verrattuna pitkäaikaiseen kiertotiehen. Kiertoreitin kannattavuuteen vaikuttaa paljon kiertotien käyttöaika, jonka pidentyessä kiertoreitin kannattavuus paranee. Kuvassa 4.14 on esitetty kiertotien käyttöajan vaikutus ajokustannusten muodostumiseen.



Kuva 4.14 Kiertoreitin käyttöajan vaikutus ajokustannuksiin eri liikennemäärillä.

Kuvaajasta voidaan huomata, että ajokustannukset jäävät hyvin pieniksi verrattuna kiertotien aiheuttamiin ajokustannuksiin. Minimoimalla kiertoreitin käyttöaika, ajokustannukset olisivat alle kymmenyksen toteutuneista ajokustannuksista.

Maasto-olosuhteet

Euran siltahankkeessa sillansiirtomenetelmä ei olisi aiheuttanut rakennuskustannusten kasvua muuten kuin sillansiirtokustannusten osalta, joten sillansiirtotekniikan aiheuttamat lisäkustannukset olisi tässä esimerkissä minimoitu. Kiertotien myöhemmällä hyödyntämisellä on tässäkin esimerkissä merkitystä, sillä ilman kiertotien myöhempää käyttöä, sillansiirtomenetelmä olisi ollut rakennuskustannuksiltaan edullisempi.

4.5 Sillan sivussarakentamismenetelmän käytön haasteita tiesiltojen rakentamisessa

4.5.1 Liikenteelliset eroavaisuudet tie- ja raideliikenteen välillä

Tie- ja raideliikenne ovat luonteeltaan hyvin erilaiset liikennemuodot, joten myös sillansiirtoon liittyvät haasteet eroavat osittain toisistaan. Ennen sillan sivussarakentamistekniikan soveltamista tiesiltojen rakentamisessa pitää ratkaista ongelmat, jotka liittyvät menetelmän käyttöön nimenomaan tiesiltojen rakentamisessa. Toisaalta joitakin tekijöitä, jotka ovat rautatierakentamisessa hyvin tärkeässä roolissa, ei tarvitse tieympäristössä ottaa huomioon.

Aikataulutus on yksi tärkeimmistä eroavaisuuksista eri liikennemuotojen välillä. Junaliikenne on tarkkaan aikataulutettu, joten töiden ajoittaminen on helpompaa, kun

aikataulun perusteella tiedetään mahdollisten liikennekatkojen ajankohdat. Lisäksi pienempiä töitä voidaan tehdä ilman liikennekatkoa aikataulun sallimissa rajoissa. Tieliikenteessäkin on helposti havaittavissa vähäliikenteisimmät vuorokauden ajat, joille lyhytkestoiset rakennustyöt voidaan ajoittaa. Kuitenkin hiljaisimpinakin tunteina liikennettä on aina jossain määrin useimmilla tieosilla, joten lyhyemmätkin työvaiheet vaativat erityisiä liikenteen järjestelyjä työmaa-alueella. Vaikka tieliikenteen satunnaisuus onkin haaste sillansiirtotekniikan käytölle, ei se rajoita menetelmän käyttömahdollisuuksia. Kun liikennemäärät eri vuorokaudenaikoina on tiedossa, voidaan työt suunnitella mahdollisimman vähän liikennettä haittaavasti ja liikennejärjestelyt toteuttaa liikennemäärän vaatimalla tavalla. (Liikennevirasto 2010a)

Lisäksi tie- ja rautatieliikenne eroavat toisistaan myös liikenteen ohjauksen suhteen. Liikenneviraston hallinnoimalla rataverkolla toimii tällä hetkellä vain yksi liikennöitsijä, VR Osakeyhtiö, jonka liikennöintiä ohjaa keskitetysti valtakunnallinen liikennekeskus sekä alueelliset liikenteenohjauskeskukset. On selvää, että yhden toimijan kanssa on mahdollista järjestää tilapäisiä liikenteellisiä muutoksia helpommin kuin kaikkien tienkäyttäjien. Junaliikenteessäkin on kuitenkin huomattava, että liikennöitsijälle tilapäisistä muutoksista tiedottaminen ei riitä, vaan myös asiakkaiden on oltava tietoisia tulevista muutoksista. (Ratahallintokeskus 2010)

Edelliset tekijät aiheuttavat haasteita sillansiirtomenetelmän käytölle erityisesti tiesiltojen rakentamisen yhteydessä. Kuitenkin rautatieympäristössä on joitakin sellaisia erityispiirteitä, jotka aiheuttavat haasteita rautatiesiltojen rakentamisessa, mutta joita ei tieympäristöstä löydy lainkaan. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi sidonnaisuus kiskoihin sekä radan sähköistys. Sidonnaisuus kiskoihin rajoittaa tilapäisten liikennejärjestelyjen mahdollisuutta rautatiesiltojen rakentamisen yhteydessä ja sähköistys aiheuttaa ongelmia sähkövirran sekä ajolankojen sijainnin myötä.

4.5.2 Tiedotus

Tieliikenteessä tiedottamisen merkitys korostuu, kun tieto työmaan aiheuttamista muutoksista tulee saada jokaiselle tienkäyttäjälle. Tiedottamisessa käytetään yleensä useita eri medioita, jotta kaikki liikenteen käyttäjät tavoitetaan mahdollisimman kattavasti. Ihmisten asenteisiin työmaata kohtaan voidaan vaikuttaa paljon tiedotuksella, sillä tiedotuksen onnistuessa tienkäyttäjät ovat yleisesti tyytyväisempiä työmaan aikaisiin liikennejärjestelyihin. Kun tieto muuttuneista liikennejärjestelyistä saadaan tienkäyttäjille ajoissa, saadaan koetut liikennehäiriöt minimoitua.

Sillansiirtomenetelmää käytettäessä tiedotuksen merkitys korostuu edelleen, kun normaalisti käytössä oleva tieosuus joudutaan useissa tapauksissa sulkemaan hetkellisesti kokonaan liikenteeltä ja etsimään vaihtoehtoinen reitti. Käytännössä tiedottaminen esimerkiksi vuorokauden mittaisesta tien sulkemisesta ja vaihtoehtoisen reitin käytöstä tällä ajalla voisi tapahtua useassa vaiheessa. Ensimmäinen ilmoitus siltatyömaan aiheuttamasta haitasta tulisi tehdä jo työmaan alkuvaiheessa ja tiedotusta tulisi lisätä liikenne-

katkon lähestyessä eri medioissa. Tiedottaminen liikennekatkosta tulisi tehdä Liikenneviraston liikennekeskuksen välityksellä, mistä tieto poikkeuksellisista liikennejärjestelyistä saadaan tienkäyttäjille radion, internetin, television ja myös lehdistön kautta.

4.5.3 Työnaikainen kiertoreitti

Tieliikenteessä kiertotien käyttäminen liikenteen ohjaamisessa työmaan ohi on yleisin tapa ratkaista työnaikaiset liikennejärjestelyt. Sillan sivussarakentamismenetelmän käytön yhteydessä kiertoreitillä ei tarkoiteta perinteistä työmaan ajaksi rakennettua tietä vaan olemassa olevan tieverkon hyödyntämistä kiertoreitiksi. Ongelmaksi voi muodostua järkevän reitin löytäminen niin, että kiertoreitin aiheuttama ajallinen haitta ei ole tienkäyttäjille liian suuri suhteessa perinteisen sillanrakennusmenetelmän aiheuttamaan liikennehaittaan. Kiertoreitin valinnassa on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota reitin soveltuvuuteen liikenteelle ottaen huomioon myös raskas liikenne. Reitin valinnassa otetaan kuitenkin myös huomioon, että kiertoreitti on käytössä vain yhdestä muutamaan vuorokautta eikä kuukausia kuten kiertoreitti tyypillisesti.

Suomen tieverkko on pääosin hyvin kattava, mutta sen hyödyntäminen työmaan liikenteen hallinnassa on nykyään hyvin vähäistä. Vaihtoehtoisten reittien sijainti voidaan helposti suunnitella esimerkiksi peruskarttaa apuna käyttäen, mutta Tiehallinnon teettämiä varareittisuunnitelmia voidaan myös hyödyntää tilapäisen kiertoreitin valinnassa. Tiehallinto on teettänyt useissa tiepiireissä joillekin runkoverkon osille tai jopa koko tiepiirin laajuisesti varareittisuunnitelmia. Näissä selvityksissä on tutkittu valmiiksi eri tieosuuksien hyödyntäminen mahdollisena kiertoreittinä, joten reittien soveltuvuus työmaiden tilapäisiksi kiertoreiteiksi voidaan nähdä suunnitelmasta. Erityisolosuhteet esimerkiksi talviaikana täytyy ottaa erikseen huomioon. Varareittisuunnitelmat sisältävät myös tarkat ohjeet kiertotien viitoitus- ja ohjausjärjestelyihin tieverkon eritasoisilla osilla. (Tiehallinto 2004c)

Ennen työnaikaisen kiertoreitin käyttöönottoa on varmistuttava sen soveltumisesta kiertotieksi kyseisessä tapauksessa ottaen huomioon eri tekijöitä. Liikennemäärä vaikuttaa paljon siihen, minkä tasoista väylää voidaan käyttää kiertoreittinä. Lyhytaikaisenkin kiertoreitin on oltava sellainen, että se pystyy välittämään normaalin työmaan tieosuuden liikennemäärän. Raskas liikenne rajoittaa myös kiertoreitin valintaa esimerkiksi siltojen kantavuuden sekä tien leveyden osalta. Myös tien geometrian vaikutus raskaan liikenteen liikennöitävyyteen tulee arvioida. Erikoiskuljetukset tulee ottaa kiertoreitin suunnittelussa huomioon työmaan sijaitessa erikoiskuljetusreitillä. Erikoiskuljetukset ovat kuitenkin aina luvanvaraisia, joten niiden ajankohtaan voidaan vaikuttaa jo ennalta, kun tiedetään sillansiirtoon tarvittavan liikennekatkon ajankohta päättiellä. (Tiehallinto 2010a; Tiehallinto 2004c)

4.5.4 Tilaaja

Yksittäisissä siltaurakoissa yleisin urakkamuoto on kokonaisurakka, missä hinta perustuu valmiisiin suunnitelmiin. Tässä urakkamuodossa tilaaja esittää tarjouspyyntöasiakirjoissa valmiit rakennussuunnitelmat, joiden perusteella urakoitsijat tekevät tarjouksensa. Usein vaihtoehtoisia rakennustapoja ei kokonaisurakan tarjouskilpailussa edes hyväksytä. On selvää, että tällaisessa urakkamuodossa ei ole tilaa uusien teknisten ratkaisujen ja innovaatioiden kehittämiseksi. Isommissa tiehankkeissa usein käytetty urakkamuoto on ST-urakka (suunnittele ja toteuta), missä urakoitsijat vastaavat itse myös suunnitelmien laatimisesta. Tämä urakkamuoto antaa urakoitsijoille enemmän vapauksia kokonaisurakkaan verrattuna, mutta ei kuitenkaan ratkaise ongelmaa kokonaan.

Budjettirahoitus on tilaajan kannalta yksi määräävä tekijä urakoitsijoiden valinnassa. Tämä tarkoittaa, että tilaajalla on käytettävissään urakkaan tietty budjetti, jonka puitteissa hanke tulee toteuttaa. Esimerkiksi tie- ja rataurakoissa, missä rahoittajana on usein valtio, budjettirahoitus on tiukka. Tämän vuoksi urakoitsijat valitaan usein pelkätään rakennuskustannusten perusteella eli valintakriteerinä on hinta. Myös laatu on joissakin hankkeissa urakoitsijavalinnassa valintakriteerinä, mutta valintaa tulisi laajentaa edelleen kokonaistaloudellisempaan suuntaan. Kokonaistaloudellisessa urakoitsijavalinnassa otetaan rakennuskustannusten lisäksi huomioon myös erilaiset liikenteen haitte-
kijät ja löydetään näin kokonaistaloudellisesti edullisin vaihtoehto. Tämä saattaa kuitenkin aiheuttaa investointikustannusten kasvua esimerkiksi innovaatioiden kehittämisen myötä.

Myös tilaajan ennakkoluulot uusia työmenetelmiä kohtaan sekä uusien työmenetelmien tuntemattomuus hankaloittavat uusien tekniikoiden kehittymistä. Uusien, innovatiivisten menetelmien kehittäjien tulee antaa tilaajille tarpeeksi tietoa uusista menetelmistä, jotta tilaajat tuntevat uudet työtavat ja voivat hyväksyä niiden käyttämisen tulevaisuudessa.

4.5.5 Tekninen toteutus

Siirretyt rautatiesillat eroavat joiltakin teknisiltä ominaisuuksiltaan yleisesti käytössä olevista tiesiltarakenteista. Suurimmat eroavaisuudet löytyvät siltakannen ja sillan perustusten liitoskohdasta. Vaikka rautateillä käytetään osittain erilaisia siltarakenteita tiesiltoihin verrattuna, olisi niiden käyttö teknisten ominaisuuksien puolesta mahdollista myös tiesiltojen rakentamisessa. (Sinisalo 2010)

5 TOIMENPIDESUOSITUKSET

5.1 Yleistä

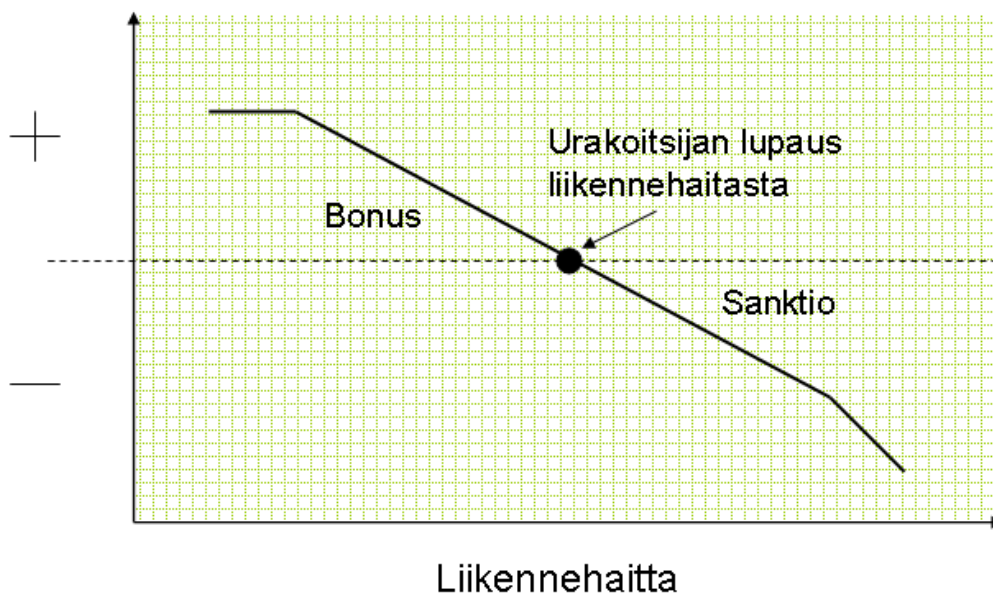
Sillansiirron mahdollisuudet tiesiltojenkin rakennusmenetelmänä on osoitettu edeltävissä luvuissa. Nykykäytännön mukaan sillansiirtotekniikan käyttö tiesiltojen rakentamisessa ei kuitenkaan ole mahdollista. Jotta sillansiirtomenetelmä olisi tulevaisuudessa hyväksytty ja kilpailukykyinen sillanrakennusmenetelmä liikennemuodosta riippumatta, on tehtävä joitakin käytännön muutoksia esimerkiksi nykyiseen hankintamenettelyyn. Muutosten aikaansaaminen kuitenkin edellyttää eri osapuolilta uudenlaista, tienkäyttäjien etua tavoittelevaa ajatustapaa. Verrattuna nykyiseen menettelytapaan, missä investoija päättää käytetyt toimintamallit, tulisi ottaa käyttöön tienkäyttäjätasavertaisempi toimintatapa.

Sillansiirron keskeisin etu verrattuna muihin sillanrakennusmenetelmiin on liikennehaitan minimoiminen. Jotta sillansiirron tuomat edut olisi hyödynnettävissä myös tiesiltojen rakentamisessa, tulisi liikennehaitan vaikutukset määrittää tiehankkeissa. Nykyisen tiesiltojen rakentamistavan aiheuttamat liikennehaittakustannukset ovat jopa suurempia kuin sillan rakennuskustannukset. Liikennehaitalle olisikin järkevää määrittää sallittu maksimiarvo suhteutettuna esimerkiksi hankkeen kokonaiskustannuksiin. Se, onko maksimiarvo esimerkiksi 10 vai 30 prosenttia hankkeen kokonaiskustannuksista, tulee määrittää tapauskohtaisesti riippuen siltapaikan sijainnista. Voisi ajatella, että liikennehaittakustannusten ylittäessä esimerkiksi sillan rakennuskustannukset liikenteelle aiheutettu haitta on liian suuri.

Erilaisilla liikennehaittakustannukset huomioon ottavilla tarjouspyyntömenetelmillä pystytään kehittämään alaa ja luomaan alalle uusia innovaatioita, kun urakoitsijat joutuvat kehittämään uusia ratkaisuja liikennehaittojen minimoimiseksi. Uusien innovaatioiden avulla voidaan myös parantaa tienkäyttäjien tyytyväisyyttä sekä tuottavuutta, mikä johtaa pidemmällä aikavälillä myös kustannussäästöihin. Erilaisten kannusteiden käyttö tarjouskilpailussa on uudenlainen menettely, joka tulee lisääntymään tulevaisuudessa kasvaneiden vaatimusten myötä. Liikennehaitta ei ole ainoa kannustinvaihtoehto, mutta sen käyttäminen mittarina on suhteellisen helppoa, sillä liikennehaitalle voidaan määrittää rahallinen arvo. Esimerkiksi asiakastyytyväisyyden tai turvallisuuden mittaaminen on haasteellisempaa yksiselitteisen mitta-asteikon puuttuessa.

5.2 Nykyisen hankintamenettelyn muuttaminen

Yksi tärkeimmistä käytännön toimenpiteistä sillansiirron mahdollistamiseksi myös tie-siltojen rakentamisessa on nykyisen hankintamenettelyn muuttaminen. Nykyisen kaltainen kokonaishintaurakka ei mahdollista sillansiirron käyttöä eikä tällaisessa urakamuodossa oteta yleensä huomioon muita kilpailutekijöitä kuin investoinnin hinta. Käytännössä nykyistä tarjouskäytäntöä tulisi muuttaa siten, että yhtenä kilpailutekijänä mukaan otettaisiin liikennehaitta. Tilaaja voisi esimerkiksi määrittää sallitun haitan määrän, jota suuremmasta liikennehaitasta urakoitsijaa sakotettaisiin. Vastaavasti pienemmästä haitasta urakoitsijan tulisi saada palkkio, jotta järjestelmä kannustaisi urakoitsijoita parhaimpaan mahdolliseen työn toteuttamiseen. Tilaajan määrittämälle sallitulle haitalle vaihtoehtona voisi olla käytäntö, missä urakoitsija itse lupaa toteuttaa hankkeen tietyn suuruisella liikennehaitalla, mikä otettaisiin huomioon tarjouskilpailussa. Tässä käytännössä voisi ottaa käyttöön edellä mainitun bonus-sanktio -järjestelmän. Tällaisen menetelmän avulla, missä liikennehaitta määritetään markkinoihin perustuen, voidaan parantaa ja kehittää sillanrakennuksen tuottavuutta. Urakoitsijan määrittäessä aiheuttamansa liikennehaitan pystytään helpommin löytämään eri rakennusmenetelmien eroja liikennehaitan osalta. Toisaalta tämä menetelmä luo myös urakoitsijoille enemmän mahdollisuuksia tarjouskilpailussa, kun kilpailijoiden liikennehaitan osuus ei ole tiedossa. Bonus-sanktio -menetelmä perustuu TUKEFIN-konseptiin ja menetelmää on jo aiemmin kokeiltu TUKEFIN-tuottavuushankkeen pilotin yhteydessä, missä yhteiskunnallisen edullisuuden mittarina käytettiin hankkeen läpimenoaikaa. Vastaavaa periaatetta voisi soveltaa myös liikennehaitan ja -häiriöiden syntymiseen sillanrakennushankkeessa. Kuvassa 5.1 on esitetty bonus-sanktio -menetelmän periaate. (RIL 256-2010)



Kuva 5.1 Bonus-sanktio -järjestelmän periaate. (RIL 256-2010)

Tässä esimerkissä mittarina toimii liikennehaitta. Nollatasolla sijaitseva piste kuvaa sitä liikennehaitan määrää, jolla urakoitsija lupaa hankkeen toteuttaa. Mikäli urakoitsija toteuttaa hankkeen pienemmällä liikennehaitalla kuin on luvannut, maksetaan siitä palkkiota kuvaajan mukaisesti. Vastaavasti liikennehaitan kasvaessa luvatussa urakoitsija joutuu maksamaan sakkoa. Palkkion ja sakon suuruus tulee määrittää tapauskohtaisesti suhteutettuna hankkeen kokonaiskustannuksiin.

Käytännössä tarjouspyynnössä tulisi esittää perusteet ja laskentakaavat, joilla kokonaistaloudellisesti edullisin tarjous valitaan. Tässä yhteydessä esitetyt laskentaperiaatteet pohjautuvat hankkeen Vt 14 Savonlinna, Laitaatsalmi-Ruislahti tarjouspyyntöasiakirjaan, missä yhteiskuntataloudellisena mittarina oli tarkoitus käyttää asiakastytyväisyyttä. Tämän hankkeen yhteydessä asiakastytyväisyyden käyttämisestä vertailutekijänä kuitenkin luovuttiin. Kokonaistaloudellisesti edullisimman tarjouksen valinta tulisi tehdä hintaan sekä aiheutettuun liikennehaittaan perustuen. Tarjousten valinnassa voisi hyödyntää seuraavaa laskentaperiaatetta.

$$\text{Hintapisteeet} \quad \frac{\text{Halvin hyväksyty hinta} * \text{painoarvo [\%]}}{\text{Tarjottu hinta} \quad 100}$$

$$\text{Liikennehaittapisteeet} \quad \frac{\text{Pienin tarjottu liikennehaitta} * \text{painoarvo [\%]}}{\text{Tarjottu liikennehaitta} \quad 100}$$

Liikennehaitan painoarvo tulee määrittää tapauskohtaisesti hankkeen sijainnista riippuen, mutta yleisesti ottaen se voisi olla 10–30 %. Tällaisessa tarjouskilpailussa kokonaistaloudellisesti edullisin tarjous on se, missä kokonaispisteet ovat suurimmat eli lähinnä arvoa yksi. Vertailuhinnan maksimipistemäärä on 0,7–0,9 ja liikennehaitan 0,1–0,3 riippuen valituista painoarvoista. Kaavassa tarjotun hinnan sijasta voisi käyttää myös vertailuhintaa, missä otetaan huomioon myös lisä- ja muutostöiden hinta. Vastaava laskentaperiaate toimii kuitenkin myös tällaisessa tapauksessa. Liikennehaitan määrittämiseksi tulee tilaajan antaa liikennehaitan arvot kiertotielle sekä liikennekatkolle. Kun näille liikennehaittoille on vuorokausikohtainen hinta, voi urakoitsija laskea aiheuttamansa liikennehaittakustannuksen arvioimalla kiertotien käyttöajan tai mahdollisen liikennekatkon tarpeen. Sekä kiertotien että liikennekatkon kustannukset vaihtelevat liikennemäärän sekä muiden olosuhteiden mukaan, joten yhtä arvoa on vaikea määrittää. Tässä tutkimuksessa aiemmin esillä olleiden esimerkkien pohjalta voidaan laskea joitakin suuntaa antavia arvoja. Kiertotien aiheuttamaksi liikennehaittakustannukseksi vuorokaudessa voidaan arvioida 1000–2000 euroa. Liikennekatkon arvoon vaikuttaa ratkaisevasti myös olemassa olevan kiertoreitin ominaisuudet, mutta ottaen huomioon kaikki olosuhdetekijät liikennekatkon vuorokausihinnaksi voidaan arvioida 5000–20 000 euroa. (Liikennevirasto 2010g)

5.3 Uuden hankintamenettelyn käyttö esimerkkihankkeissa

Edellä esitettyjä kaavoja olisi voinut hyödyntää myös tutkimuksessa käsitellyissä esimerkkisiltahankkeissa. Laskentaperiaatteen selventämiseksi tässä yhteydessä voidaankin tutkia, kuinka liikennehaitan huomioon ottaminen olisi vaikuttanut tarjouskilpailuun. Sekä Suonenjoen että Euran siltahanke-esimerkeissä liikennehaitan painoarvona käytetään tässä laskuesimerkissä 20 %, jolloin rakennuskustannusten osuudeksi jää 80 %. Kiertotien vuorokausikohtaisena liikennehaittakustannuksena käytetään tässä esimerkissä 1200 euroa ja liikennekatkon hintana 10 000 euroa vuorokaudessa. Liikennehaitan painoarvona sekä kiertotien ja kiertoreitin hinnoittelussa käytetään samoja arvoja, sillä kohteet vastaavat liikennemäärän osalta toisiaan. On kuitenkin huomattava, että lasketut arvot eivät ole täysin todenmukaisia, sillä ne on laskettu aikaisemmin esimerkkihankkeiden yhteydessä esillä olleiden arvojen avulla. Tarjouskilpailussa, missä liikennehaitta toimii kilpailutekijänä, sillansiirron tarvitsema liikennekatko minimoitaisiin, jolloin kustannusero urakoitsijoiden välillä kasvaisi. Toisaalta myös kiertotietä käyttävät urakoitsijat kiinnittäisivät enemmän huomiota kiertotien käyttöajan minimointiin.

5.3.1 Suonenjoki

Nykyinen urakoitsija	Hintapisteet	$\frac{700000}{700000} \times 0,8 = 0,8$
	Liikennehaittapisteet	$\frac{50000}{135200} \times 0,2 = 0,07$
Sillansiirtourakoitsija	Hintapisteet	$\frac{700000}{770000} \times 0,8 = 0,73$
	Liikennehaittapisteet	$\frac{50000}{50000} \times 0,2 = 0,2$

Tässä esimerkissä nykyisen urakoitsijan vertailupisteiksi saatiin 0,87 ja sillansiirtourakoitsijan 0,93. Nykyisen urakoitsijan liikennehaitan laskennassa on otettu huomioon kiertotie sekä kiertoreitti, kuten toteutuneessa hankkeessa. Todellisuudessa tällaisessa tarjouskilpailumenettelyssä nykyinen urakoitsija olisi todennäköisesti keksinyt muita ratkaisuja niin, että pitkältä liikennekatkolta kiertotien lisäksi olisi välttytty. Toisaalta myös sillansiirto olisi voitu tehdä lyhyemmän liikennekatkon aikana. Tässä esimerkissä liikennehaittakustannuksen painoarvon raja-arvoksi saadaan noin 12 %. Tämä painoar-

vo tarkoittaa arvoa, jolla eri urakoitsijoiden tarjouksien vertailupisteet ovat samansuuruiset edellä esitetyllä laskentamenetelmällä.

5.3.2 Eura

Nykyinen urakoitsija	Hintapisteet	$\frac{750000}{750000} \times 0,8 = 0,8$
	Liikennehaittapisteet	$\frac{70000}{144000} \times 0,2 = 0,1$
Sillansiirtourakoitsija	Hintapisteet	$\frac{750000}{790000} \times 0,8 = 0,76$
	Liikennehaittapisteet	$\frac{70000}{70000} \times 0,2 = 0,2$

Nykyisen urakoitsijan vertailupisteiksi tässä esimerkissä saatiin 0,9 ja sillansiirtourakoitsijan 0,96. Tämän yksinkertaistetun laskelman perusteella sillansiirtomenetelmällä olisi toteutettu hanke kokonaistaloudellisesti edullisemmin. Nykyisen urakoitsijan liikennehaitta pisteet on laskettu olettaen kiertotien käyttöajan olevan neljä kuukautta, kuten alkuperäisessä suunnitelmassa. Tämän ajan ylittämisestä urakoitsija olisi tässä menettelyssä joutunut maksamaan sakkoa. Myös tässä esimerkissä voidaan laskea liikennehaitan painoarvo niin, että tarjousten vertailupisteet ovat samansuuruiset. Raja-arvoksi saadaan tässä esimerkissä noin 9 %.

5.4 Siltatekniset toimenpiteet

Nykyisen hankemenettelyn muuttamisen lisäksi yksi konkreettinen toimenpide sillansiirtotekniikan käytön mahdollistamiseksi tiesiltojen rakentamisessa on siirrettävän sillan rakenteen mahdollinen tyypittäminen myös tiesiltakäyttöön. Teknisten ominaisuuksien puolesta tälle ei ole estettä, joten siirrettävien siltojen tyypit ovat helposti käytettävissä myös tiesiltojen rakentamisessa. Tärkeää olisi myös laatia Liikenneviraston tieosaston tyyppisilloista työtapapiirustus sillansiirron käyttöä varten. (Mantere 2010; Sinisalo 2010)

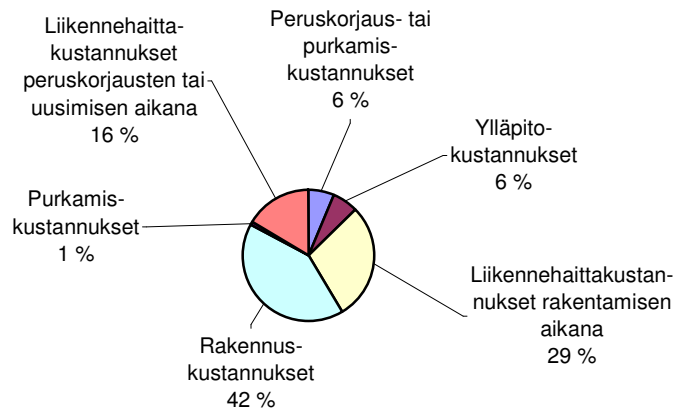
6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Nykyisen käytännön mukaan tiesillat rakennetaan pääosin kiertotiejärjestelyjen avulla, missä liikenne kiertää siltapaikan ohi kiertotietä käyttäen. Sillan rakentaminen kestää tyypillisesti kahdesta kuukaudesta jopa yli vuoteen riippuen sillan koosta sekä liikenne- ja maasto-olosuhteista. Koko tämän ajan liikenne kulkee useimmiten vain työmaan ajaksi rakennettua kiertotietä, mikä aiheuttaa tienkäyttäjille erilaisia häiriötilanteita. Työnaikainen liikenteen hallinta, mihin häiriöiden hallinta myös liittyy, on yksi suurimmista haasteista työmaaympäristössä. Häiriötilanteiden myötä syntyy myös kasvanut turvallisuusriski niin työ- kuin liikenneturvallisuudenkin kannalta. Nämä haasteet tulisi työmaalla ratkaista niin, että liikenteelle aiheutettu haitta olisi mahdollisimman pieni ja häiriötilanteet saataisiin minimoitua.

Työmaaympäristö ja erityisesti kiertotiejärjestelyt aiheuttavat aina liikenteelle häiriöitä viivytysten, hidastusten sekä muuttuneiden olosuhteiden myötä. Häiriöt aiheuttavat esimerkiksi matka-ajan kasvua, ajoneuvon kulumista sekä ajomukavuuden heikkene- mistä. Häiriönhallinnalla voidaan pienentää häiriöistä aiheutuvia haittoja tienkäyttäjille, mutta niiden poistaminen kokonaan ei ole mahdollista. Häiriötilanteiden syntymiseen vaikuttaa työnaikaisen liikenteenhallinnan suunnittelu, minkä avulla häiriöt saadaan minimoitua. Sallituille häiriöille ei ole usein annettu raja-arvoja eikä haittaa arvioida, joten siltahankkeiden toteuttajilla ei ole tarvetta kiinnittää huomiota liikennehaitan mi- nimointiin. Matka-ajan kasvulle sekä ajoneuvojen kulumiselle on mahdollista laskea kustannuksia, mutta häiriöiden syntymisessä on otettava huomioon myös sellaisia teki- jöitä, joille on vaikea laskea suoraa kustannusta. Ajomukavuus on yksi tällainen tekijä ja siihen tulisi myös kiinnittää huomiota tiesiltahankkeissa. Häiriöiden lisäksi työmaaym- päristö aiheuttaa aina kasvaneen turvallisuusriskin niin työ- kuin liikenneturvallisuuden kannalta. Työturvallisuudenkin osalta onnettomuusriskin kasvua aiheuttaa pääosin työ- maan muu liikenne eli tienkäyttäjät. Turvallisuuden takaamiseksi työmaaympäristössä tulisi miettiä keinoja, joilla työnaikaiset liikennejärjestelyt saataisiin nykyistä turvalli- semmiksi. Sillansiirtomenetelmä on yksi vaihtoehto kaikkien näiden haasteiden ratkai- semiseksi. Sillansiirtomenetelmässä työnaikaiset liikennejärjestelyt saadaan huomatta- vasti lyhytaikaisemmiksi kuin perinteisessä sillanrakennusmenetelmässä, joten liiken- teelle aiheutetut häiriötekijät saadaan näin minimoitua.

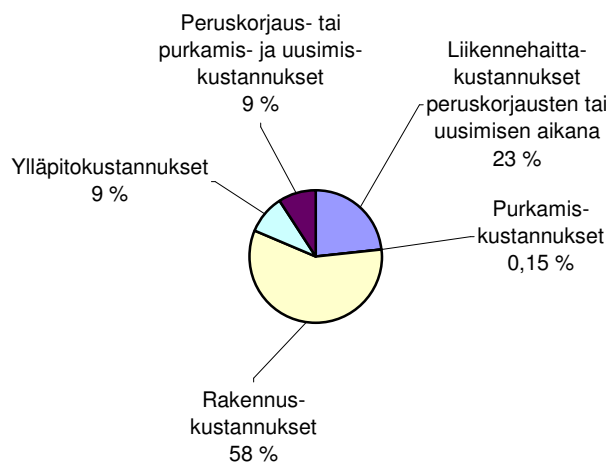
Tyypillisesti siltojen elinkaarikustannukset kattavat rakentamisesta, korjauksesta, ylläpidosta ja purkamisesta aiheutuvat kustannukset sekä korjaustyön aikaiset liikenne- haittakustannukset. Usein rakentaminen on pitkäaikaisempi haitta liikenteelle kuin esi- merkiksi peruskorjaus, mutta näitä kustannuksia ei arvioida hankkeen kokonaiskustan-

nuksissa. Rakentamisen aikaisten liikennehaittakustannusten merkitys elinkaarikustannusten muodostumisessa voidaan todeta vertaamalla kuvia 6.1 ja 6.2.



Kuva 6.1 Esimerkki sillan elinkaarikustannusten muodostumisesta, kun rakentamisen aikaisten liikennehaittakustannukset otetaan huomioon.

Kuvassa 6.1 on esitetty esimerkki sillan elinkaarikustannusten jakaantumisesta, kun rakentamisen aikaisten liikennehaittakustannukset otetaan huomioon. Tässä esimerkissä liikennemääränä on käytetty 5000 ajoneuvoa vuorokaudessa, mikä vastaa tutkimuksessa käytettyjä esimerkkihankkeita. Rakentamisen aikaisten liikennehaittakustannusten suuruudeksi on tässä esimerkissä valittu noin kaksi kolmasosaa sillan rakennuskustannuksista. Vastaava tilanne ilman rakentamisen aikaisten liikennehaittakustannuksia on esitetty kuvassa 6.2.



Kuva 6.2 Esimerkki sillan elinkaarikustannusten muodostumisesta ilman rakentamisen aikaisten liikennehaittakustannusten huomioon ottamista.

Uudenlainen sillansiirtomenetelmä sai alkunsa rataverkon parantamisen yhteydessä. Jo 1990-luvun alkupuolella ratarakentamisessa alettiin ottaa huomioon liikenteelle aiheutetut haitat, mikä johti uuden, liikennehaitat minimoivan, sillanrakennusmenetelmän kehittymiseen. Liikennehaitan minimoinnin perustana on lyhyt liikennekatko, joka on kokonaistaloudellisempi kuin pitkäaikainen häiriötilanne. Liikennekatkoja voidaan käyttää useitakin, mutta niiden ajankohta voidaan suunnitella mahdollisimman vähän liikennettä haittaavaksi. Sillansiirtomenetelmän kehittymiseen on osaltaan vaikuttanut myös rakennusajan lyheneminen, kun ylimääräisiä rakenteita, kuten kiertoraidetta tai -tietä, ei tarvitse rakentaa. Rautateillä väistöraiteen rakentaminen on lisäksi erittäin kallista, joten sillansiirtoa edeltävänä sillanrakennusmenetelmänä rautateillä käytettiin pääasiassa apusillanmenetelmää. Jo pian sillansiirtomenetelmän kehittämisen jälkeen menetelmä yleistyi vallitsevaksi rautatiesiltojen rakennusmenetelmäksi ja nykyään valtaosa uusista rautatiesilloista rakennetaan sillansiirtotekniikkaa käyttäen. Sillansiirtotekniikan kehittäminen jatkuu edelleen ja nykyään käytössä onkin perinteisen sillansiirtomenetelmän rinnalla entistä tehokkaampi siirtotekniikka.

Sillansiirtomenetelmän keskeisenä periaatteena on, että silta rakennetaan väylän sivussa ja siirretään lopulliselle paikalleen lyhyen liikennekatkon aikana. Sillan rakentamisen ajan liikenne kulkee alkuperäistä väylää pitkin eikä liikenteelle näin ollen aiheuteta rakennusvaiheessa haittaa sillan paaluperustusten asentamista lukuun ottamatta. Sillan siirtämisen jälkeen sillan alittava tie tai katu voidaan rakentaa liikenteen jo käytäessä uutta siltaa. Sillansiirtotekniikan työvaiheet voidaan jakaa ennen siirtokatkoa tehtäviin, siirtokatkon aikana tehtäviin sekä siirtokatkon jälkeisiin työvaiheisiin. Sillansiirtotekniikan hyödyntämistä käytännössä on tutkittu tässä työssä kolmen kesän 2010 aikana rakennetun esimerkkisillan avulla. Esimerkkien avulla on arvioitu esimerkiksi työvaiheiden kestoa ja miettiä eri työvaiheiden vaikutusta aikataulun toteutumiseen.

Tiesiltojen rakentamisessa sillansiirtotekniikkaa ei vielä ole hyödynnetty, mutta rautatiesiltojen rakentamisesta saatujen hyvien kokemusten perusteella sillansiirtotekniikka soveltuisi myös tiesiltojen rakentamiseen. Tulevaisuudessa varsinkin liikennemäärien kasvun myötä tulee työmaiden liikennejärjestelyjä kehittää häiriöttömämmiksi, jolloin sillansiirtomenetelmä tulee olemaan yksi vaihtoehto nykyisten rakennusmenetelmien rinnalla. Mitä suurempi liikennemäärä on, sitä suuremmat haitat työmaa aiheuttaa liikenteelle häiriöiden myötä. Liikenteellisistä eroavaisuuksista johtuen siirtotekniikan soveltaminen nimenomaan tiesiltojen rakennusmenetelmänä vaatii muun muassa erilaista työaikaista liikenteenhallintaa. Toisaalta joitakin rautateillä sillansiirtomenetelmää hankaloittavaa tekijöitä ei tieympäristössä tarvitse huomioida.

Sillansiirtomenetelmän mahdollisuudet tiesiltojenkin rakentamisessa voidaan helposti todeta laskemalla nykyisen tiesiltojen rakennusmenetelmän aiheuttamia liikennehaittakustannuksia ja vertaamalla niitä sillansiirtomenetelmän aiheuttamiin kustannuksiin. Ajokustannukset laskemalla saadaan tulokseksi eri sillanrakennusmenetelmien aiheuttamat aika-, ajoneuvo- sekä ympäristökustannukset. Lisäksi turvallisuuden sekä tienpidon rooli muuttuu riippuen käytetystä sillanrakennusmenetelmästä. Käytännön esimerkkien avulla sillansiirron mahdollisuudet voidaan nähdä todellisessa ympäristössä.

Kun esimerkit eroavat joidenkin olosuhteiden osalta, saadaan edelleen kattavampi käsitys sillansiirtotekniikkaan vaikuttavista tekijöistä ja menetelmän mahdollisuuksista. Jotta tarkastelu ei jää liian suppeaksi, on tarkastelussa otettu huomioon erilaisia olosuhteiden muutoksia. Eri olosuhdetekijät, kuten liikennemäärä sekä kiertotien käyttöaika, vaikuttavat ratkaisevasti sillansiirtotekniikan sekä perinteisen sillanrakennusmenetelmän väliseen kokonaiskustannuseroon. Tämän vuoksi olosuhteiden variointi sekä olosuhdemuutosten vaikutusten pohtiminen on tärkeää kattavan kokonaiskuvan saamiseksi.

Tutkimuksessa on esitetty konkreettisia toimenpiteitä, joiden avulla sillansiirtoa voisi hyödyntää tiesiltahankkeissa. Ennen käytännön toimenpiteiden toteutumista tulisi yleistä ajattelutapaa muuttaa tiesiltahankkeissa. Hankkeiden yhteydessä tulisi kiinnittää huomiota myös tienkäyttäjien mielipiteisiin eli asiakastytyväisyyteen. Käytännössä asiakastytyväisyyttä voidaan parantaa muuttamalla nykyistä hankintamenettelyä siten, että liikennehaitta on tarjouskilpailussa mukana yhtenä kilpailutekijänä. Yksi vaihtoehto on TUKEFIN-konseptin esittämä bonus-sanktio -malli, missä urakoitsijat määrittävät aiheuttamansa liikennehaitan. Liikennehaitan huomioon ottavassa tarjouskilpailussa urakoitsijoiden määrittämällä liikennehaitalla sekä rakennuskustannuksella on painoarvo, minkä perusteella lasketaan eri urakoitsijoiden vertailupisteet. Painoarvon suuruus ei ole yksiselitteinen, vaan sen suuruus tulee valita riippuen hankkeen sijainnista. Jo alle 10 % liikennehaitan painoarvolla on merkitystä erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä tieosuuksilla.

Tutkimuksen keskeisimpänä tavoitteena oli todistaa sillansiirron kannattavuus myös tiesiltojen rakentamisessa. Perustelun apuna tutkimuksessa käytettiin kahta kesän 2010 aikana rakenteilla olevaa tiesiltahanketta, joiden osalta simuloitiin sillansiirron hyödyntämistä. Tutkimustulokset osoittavat, että kokonaistaloudellisesti laskettuna sillansiirtotekniikka on useimmiten edullisin sillanrakennusmenetelmä tiesiltojenkin rakentamisessa. Toisen esimerkkihankkeen kohdalla kustannusero perinteisen sillanrakennusmenetelmän ja sillansiirtotekniikan välillä oli hyvin pieni, mutta toinen esimerkki todisti edut, joita sillansiirtomenetelmällä voidaan parhaimmillaan saavuttaa. Vaikka esimerkkihankkeet monilta osin olivat hyvinkin samankaltaisia, syntyi niiden välillä suuriakin kustannuseroja erilaisista olosuhteista riippuen. Työn tavoitteena oli myös löytää keski- vuorokausiliikenteelle raja-arvo, jolloin sillansiirtomenetelmä on tavanomaista sillanrakennusmenetelmää kannattavampi. Yksittäisen arvon löytäminen osoittautui kuitenkin hankalaksi, sillä kokonaiskustannuksiin vaikuttaa useita eri olosuhdetekijöitä, jotka muuttuvat tapauskohtaisesti. Tutkimus tarjoaakin lähinnä työkaluja, joiden avulla sillansiirtomenetelmän kannattavuutta voidaan arvioida erilaisissa tilanteissa ja olosuhteissa. Esimerkkihankkeiden ja olosuhdemuutosten tarkastelun perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että esimerkiksi liikennemäärällä 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa sillansiirtomenetelmä on varmasti perinteistä sillanrakennusmenetelmää kannattavampi, mikäli liikennehaittakustannukset otetaan vertailussa huomioon. Tämä tietenkin edellyttää, että järkevä ja mahdollinen kiertoreitti on olemassa liikennekatkoa varten. Joissakin olosuhteissa sillansiirtomenetelmän käyttö on kannattavaa jo huomattavasti pienemmälläkin liikennemäärällä. Olosuhdetekijöiden muutosten vaikutusten tarkastelu osoittaa, että

sillansiirron käyttömahdollisuudet tulee tarkastella tapauskohtaisesti, vaikka joitakin yleistyksiä voidaan tulosten perusteella tehdä.

Esimerkkihankkeista voidaan selkeästi huomata työmaiden häiriön vaikutus liikenteeseen. Jo muutamia kuukausia käytössä oleva kiertotie siltatyömaalla aiheuttaa huomattavan suuria ajokustannuksia jopa hankkeen kokonaiskustannuksiin nähden. Tämä huomioon ottaen onkin uskomatonta, että näitä kustannuksia ei nykyään oteta huomioon hankkeiden kokonaiskustannuksissa. Toimenpidesuosituksissa onkin esitetty joitakin käytännön keinoja, joilla liikennehaitta voitaisiin ottaa huomioon tiehankkeiden yhteydessä.

LÄHTEET

BBC News. 2010. A34 Wolvercote viaduct bridge-slide hailed a success. [www-sivu]. [viitattu 4.8.2010]. Saatavissa:

http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/oxfordshire/8593103.stm

Byoung Koo, W. & Sang Gi, K. 2008. Construction of Railway Bridges under Traffic. UIC Railway Bridge & Tunnel Exchange Seminar, Tokio, 17.9.2008. Tokio, International Union of Railways. s.29-38.

Costain Group. 2010. Giant Bridge Slide Completed. [www-sivu]. [viitattu 4.8.2010]. Saatavissa: <http://www.costain.com/news/news-releases/2010/3/30/giant-bridge-slide-completed.aspx>

Dywidag-Systems International. 2010. Biggest sideways bridge slide in the world. [www-sivu]. [viitattu 4.8.2010]. Saatavissa:

<http://www.dsigrsupport.com/en/references/details/article/marsh-mills-viaduct-united-kingdom.html>

Elinkeino-, Liikenne- ja Ympäristökeskus. 2010. Tiedotteet. Valtatiellä 12 Eurassa kiertotieparannustöiden ajan. [www-sivu]. [viitattu 10.8.2010]. Saatavissa:

<http://www.elykeskus.fi/fi/tiedotepalvelu/2010/Sivut/Valtatiell%C3%A412EurassaBiolaninkohdallakiertotieparannust%C3%B6idenajan.aspx>

FINLEX - Valtion säädöstietopankki. 2010. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.3.2009/205. [verkkodokumentti]. [viitattu 8.9.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090205?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=rakennusty%C3%B6n>

Google Maps. [www-sivu]. [viitattu 16.9.2010]. Saatavissa: <http://maps.google.fi/>

Harjula, H., 2008. Construction of Railway Bridges under Traffic. UIC Railway Bridge & Tunnel Exchange Seminar, Tokio, 17.9.2008. Tokio, International Union of Railways. s.137-145.

Highways Agency. 2010. A34 Wolvercote Viaduct Replacement. [www-sivu]. [viitattu 4.8.2010]. Saatavissa: <http://www.highways.gov.uk/roads/projects/14397.aspx>

Kataja, J. 2010a. Sillansiirtotekniikka - ratkaisu tiemaailman liikennejärjestelyihin. 26.4.2010. Helsinki, Oy VR-Rata Ab. Esitelmä. 17 s.

Liikennevirasto. 2010a. Kovalan tasoristeysjärjestelyt. Kovalan alikulkusilta, Mikkeli. Rakennussuunnitelmat.

Liikennevirasto. 2010b. Rautatieliikenteen täsmällisyys 2009. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2010. Helsinki, Liikennevirasto. 50 s.

Liikennevirasto. 2010c. Rautatiesiltojen hallintaraportti 2009. Helsinki, Liikennevirasto.

Liikennevirasto. 2010d. Siltarekisteri. Sähköinen tietokanta.

Liikennevirasto. 2010e. Tasoristeykset. [www-sivu]. [viitattu 10.6.2010]. Saatavissa: <http://www.rhk.fi/rataverkko/tasoristeykset/>.

Liikennevirasto. 2010f. Visio ja strategia. [www-sivu]. [viitattu 26.10.2010]. Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/fi/liikennevirasto/Visio%20ja%20strategia>

Liikennevirasto. 2010g. Vt 14 Savonlinna, Laitaatsalmi-Ruislahti, KU. Tarjouspyynnön lisäkirje 1. 14.6.2010.

Länsi-Savo. 2010. Tasoristeykset historiaan. [verkkolehti]. [viitattu 8.9.2010]. Saatavissa: http://www.lansi-savo.fi/Uutiset/tasoristeykset_historiaan_10296167.html

Mantere, P. <pekka.mantere@sito.fi>. 23.9.2010. Tiesiltojen detaljeista. [sähköpostiviesti].

Mantere, P., Mikkonen, A. 1998. Silta siirtyy. Sito tänään 4, 12, s. 6-7.

Matela, E. 2004. Rautatiesillan rakentaminen siirtomenetelmällä. Rata 2004 -seminaari, Helsinki, 27.-28.1.2004

Mikkonen, A. 1998. Alikulkusillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. Diplomityö. Espoo. Teknillinen Korkeakoulu, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto. 128 s.

Motiva Oy. 2009. Liikenteen energiankulutus ja pakokaasupäästöt. [www-sivu]. [viitattu 28.7.2010]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/liikenne/perustietoa_liikenteesta_ja_ymparistosta/liikenteen_energiankulutus_ja_pakokaasupaastot

Oy VR-Rata Ab Megasiirto. 2007. [www-sivu]. [viitattu 10.6.2010]. Saatavissa: <http://www.megasiirto.fi/fi/index.html>.

Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2010. Valtatie 9, Lylyjärven risteyssillan ja Mustanmäen risteyssillan korvaaminen vaihtoehtoisilla tiejärjestelyillä, Suonenjoki. Rakennussuunnitelmat.

Ratahallintokeskus. 1999. Rautatiesiltojen suunnitteluohjeet. Osa 5. Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. Helsinki, Ratahallintokeskus. 33 s.

Ratahallintokeskus. 2007. Tasoristeysstrategia. Helsinki, Ratahallintokeskus. 12 s.

Ratahallintokeskus. 2008. Ratahanke Seinäjoki-Oulu. Hipin alikulkusilta, Seinäjoki. Rakennussuunnitelmat.

Ratahallintokeskus. 2009a. Luumäki-Vainikkala siltojen ja rumpujen korjaus. Tittarajärven ratasilta, Lappeenranta. Rakennussuunnitelmat.

Ratahallintokeskus. 2009b. Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Ratahallintokeskuksen julkaisuja B 24. Helsinki, Ratahallintokeskus. 71 s.

Ratahallintokeskus. 2009c. Suomen rautatietilasto 2009. Helsinki, Ratahallintokeskus. 54 s.

Ratahallintokeskus. 2010. Liikenteenohjaus. [www-sivu]. [viitattu 10 8 2010]. Saatavissa: http://www.rhk.fi/radan_kaytto/liikenteenohjaus/

RIL 256-2010. 2010. Julkisten hankintojen kehittämismalli, tuottavuuden parantaminen TUKEFIN-menetelmällä. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 75 s.

Road Traffic Technology. 2010. A34 Wolvercote Viaduct Replacement, United Kingdom. [www-sivu]. [viitattu 4.8.2010]. Saatavissa: <http://www.roadtraffic-technology.com/projects/wolvercote-viaduct/>

Saranpää, M. 2010. Rataurakka poistaa seitsemän tasoristeystä. Ilkka [verkkolehti]. [viitattu 9.9.2010]. Saatavissa: <http://www.ilkka.fi/teemat/kulttuuriteematarticle.jsp?p=264&article=505175&Title=Rataurakka+poistaa+seitsem%E4n+tasoristeyst%E4>

Sinisalo, I. <ilkka.sinisalo@vr.fi>. 14.9.2010. Tie- ja rautatiesiltojen eroavaisuuksista. [henkilökohtainen sähköpostiviesti].

Tiehallinto. 2003a. Ajokustannuslaskelmien käytön tehostaminen. Tiehallinnon selvityksiä 31/2003. Helsinki, Tiehallinto. 64 s.

Tiehallinto. 2003b. Tieliikenteen ajokustannusten päivittämistarpeet. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 30/2003. Helsinki, Tiehallinto. 62 s.

Tiehallinto. 2003c. Tieturva 1 - Tietöiden järjestely- ja turvallisuuskoulutus. Toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki, Tiehallinto. 40 s.

Tiehallinto. 2004a. Pienten siltojen elinkaarikustannukset. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 4/2004. Helsinki, Tiehallinto. 40 s.

Tiehallinto. 2004b. Tietyömaiden ja muiden tieliikenteen häiriötilanteiden vaikutukset. Tiehallinnon selvityksiä 34/2004. Helsinki, Tiehallinto. 88 s.

Tiehallinto. 2004c. Vaasan tiepiirin runkoverkon varareitit. Varareitit valtateille 3, 8, 16, 18 ja 19. Tiehallinnon selvityksiä 3/2004. Vaasa, Tiehallinto. 94 s.

Tiehallinto 2005a. Kaistanvuokrauksen soveltamisohje tienpidon hankintoihin. Ohjelunnon. Julkaisematon. Helsinki, Tiehallinto. 32 s.

Tiehallinto. 2005b. Tieliikenteen ajokustannusten laskenta. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki, Tiehallinto. 48 s.

Tiehallinto. 2005c. Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki, Tiehallinto. 20 s.

Tiehallinto. 2005d. Tieturva 2 - Tiellä tehtävien töiden turvallisuuskoulutus, Vastuuhenkilöiden kurssi. Toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki, Tiehallinto. 77 s.

Tiehallinto. 2006. Tienpidon tutkimus- ja kehittämistoiminnan toimintalinjat 2006-2011. Helsinki, Tiehallinto. 26 s.

Tiehallinto. 2007a. Ajonopeudet ja välityskyky tietyömaiden kohdilla. Tiehallinnon selvityksiä 35/2007. Helsinki, Tiehallinto.

Tiehallinto 2007b. Tiehallinnon teiden ja siltojen kunto 2006. Tiehallinnon selvityksiä 31/2007. Helsinki, Tiehallinto. 48 s.

Tiehallinto. 2008a. Siltaomaisuuden hallinnan kuvaus. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 67/2008. Helsinki, Tiehallinto. 28 s.

Tiehallinto. 2008b. Siltaomaisuuden kunnan hallinta 2008. Selvitystyöryhmän loppuraportti. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 50/2008. Tampere, Tiehallinto. 32 s.

Tiehallinto. 2009. Sillat 1.1.2009. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 38/2009. Helsinki, Tiehallinto. 84 s.

Tiehallinto. 2010a. Erikoiskuljetukset. [www-sivu]. [viitattu 17.6.2010]. Saatavissa: www.tiehallinto.fi/erikoiskuljetukset

Tiehallinto. 2010b. Valtatie 9, yksityistie- ja siltajärjestelyt, Suonenjoki. [www-sivu]. [viitattu 22.7.2010]. Saatavissa: http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=70&_dad=julia&_schema=PORTAL30&menu=14663&_pageid=71&kieli=fi&linkki=34873&julkaisu=11075

Tielaitos. 1993. Tietyömaiden turvallisuuden parantaminen. Tutkimussuunnitelma. Tampere: Keskushallinto, Hämeen tiepiiri. 12 s.

Tielaitos. 2000. Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi. S12 Pääteiden parantamisratkaisut. Tielaitoksen selvityksiä 14/2000. Helsinki, Tielaitos. 74 s.

Tompuri, V. 2007. Rautatiesiltojen kunto estää nopeuden korotukset. Rakennuslehti [verkkolehti]. [viitattu 10.6.2010]. Saatavissa: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/uutiset/9542.html>.

Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2010. Valtatien 12 parantaminen Biolanin kohdalla, Eura. Rakennussuunnitelmat.

VTT. 2009. LIPASTO-laskentajärjestelmä. Liikenteen yksikköpäästöt. [www-sivu]. [viitattu 10.8.2010]. Saatavissa: <http://www.lipasto.vtt.fi/>

HAASTATTELUT

Harju, J. 2010. Tarjouspäällikkö, Oy VR-Rata Ab. Tampere. Puhelinhaastattelu 13.9.2010.

Harjula, H. 2010. Liiketoimintajohtaja, Oy VR-Rata Ab. Tampere. Haastattelu 26.5.2010.

Kataja, J. 2010b. Yksikön päällikkö, Oy VR-Rata Ab Megasiirto.

Lyly, P. 2010. Projektipäällikkö, Lemminkäinen Oyj. Eura. Haastattelu 23.7.2010

Matela, E. 2010. Siltasuunnittelun ja siltojen kunnossapidon johtava erikoisasiantuntija –2009, Oy VR-Rata Ab. Hyvinkää. Haastattelu 26.4.2010.

Mäki, E. 2010. Toimitusjohtaja, Megasiirto Oy 1995–2004. Toimitusjohtaja, Erikoistyö Mäki Ky. Seinäjoki. Haastattelu 6.5.2010.

Pesonen, J. 2010. Projektipäällikkö –2008, Oy VR-Rata Ab. Hyvinkää. Haastattelu 26.4.2010.

Särkkä, T. 2010. Projektivastaava, Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Suonenjoki. Haastattelu 16.7.2010

Taskinen, J. 2010. Vastaava työnjohtaja, Suomen Teollisuus- ja Maarakennus Oy. Suonenjoki. Haastattelu. 16.7.2010

