

SPMT-tekniikka sillan siirrossa

Juha-Pekka Peltonen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Juha-Pekka Peltonen	
Työn nimi SPMT-tekniikka sillan siirrossa	
Päiväys 28.9.2012	Sivumäärä/Liitteet 37
Ohjaaja(t) Lehtori Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savon Kuljetus Oy, Antti Pehkonen	
Tiivistelmä <p>Tämä insinööryö tehtiin Savon Kuljetus Oy:lle helpottamaan sivusiirrettävien rautatiesiltojen tarjouslaskentaa. Työn tavoitteena oli tutkia uutta SPMT-tekniikkaa ja saada selkeä kuva SPMT-tekniikan suunnittelusta ja käytöstä rautatiesiltojen siirtämisessä. SPMT-tekniikalla tarkoitetaan valmiiksi rakennetun sillan siirtoa pyörillä kulkevilla laveteilla oikealle paikalleen. Nämä lavetit nostavat sillan ilmaan ja hiljaa kuljettavat sen oikealle kohdalle ja laskevat paikoilleen. Työssä pyrittiin kehittämään SPMT-siirtomenetelmän käyttö- ja toteutusmahdollisuuksia ja sillan siirrosta syntyvien kustannusten teoreettista vähentämistä.</p> <p>Opinnäytetyön teko alkoi sivussa rakennettavan sillan suunnittelusta sekä sillan siirtoon vaadittavien suunnittelutietojen tutkimisesta. Sillan siirron suunnittelussa tärkeintä oli selvittää sillan rakenteisiin sekä perustamisolosuhteisiin vaikuttavat tekijät. Työssä tehtiin katsaus Suonenjoen Case-tapaukseen, jossa silta siirrettiin paikoilleen uudella SPMT-tekniikalla. Tapauksessa huomioidaan maaolosuhteet sekä annetaan yleiskuvaus tapahtuneesta. Työssä otetaan myös kantaa SPMT-tekniikan toteutettavuuteen sekä turvallisuuteen.</p> <p>Kustannusten ja tuotannon tehokkuuden vertailu SPMT:n ja tunkkaamisen välillä on hankalaa. Tämä johtuu siitä, että jokainen työkohde on erilainen. Suurimmat erot syntyvät juuri maatoiden osalta sekä kaluston rajoittuneesta saannista Suomessa. Kaikista ongelmista huolimatta urakoitsijalla ja tilaajalla on molemmilla sama tavoite, pyrkiä saamaan silta siirrettyä mahdollisimman nopeasti, edullisesti ja turvallisesti paikoilleen.</p>	
Avainsanat Rautatie, silta, Sillan siirto, SPMT-tekniikka, tunkkaaminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Juha-Pekka Peltonen			
Title of Thesis The SPMT-technique in Moving Bridges			
Date	28 September 2012	Pages/Appendices	37
Supervisor(s) Mr Matti Mikkonen, Lecturer			
Client Organisation/Partners Savon Kuljetus Oy, Mr Antti Pehkonen			
<p>Abstract</p> <p>This project was made for Savon Kuljetus Oy (construction company) to ease their offer calculation in sideways movable railroad bridges. The aim of this study was to examine the new the SPMT-technique and have a clear picture of designing and usage of the SPMT-technique in moving railroad bridges. The SPMT-technique means moving a finished bridge to the right spot with cradles on wheels. These cradles lift up a bridge and slowly move it to the right spot and put it down. The aim in this project was to develop usage and implementation possibilities in the SPMT-technique and to lower the theoretical costs for moving bridge.</p> <p>The project was started by designing the bridge to be built on the side of the track and then the needed design information for moving the bridge was studied. In designing the movable bridge the most important thing was to figure out the factors affecting the bridge structures and foundation conditions. A case study in Suonenjoki where a bridge was moved in to the place with the new SPMT-technique was introduced in the project. In the case attention was paid to the ground conditions and it also gave a general description of procedures. The reliability and the security of the SPMT-technique was evaluated.</p> <p>Comparing costs and the effectivity of production for the SPMT-technique and normal bridge moving techniques is difficult. This occurs because every project is different. It was stated in this project that the biggest differences come from ground work and the limited amount of usable equipment in Finland. As a result of this project it was confirmed, despite of occurring problems, that the contractor and the client both have the same goal, an intention to move the bridge as quickly, cost efficiently and safely as possible to the right spot.</p>			
Keywords Railroad, bridge, bridge moving, SPMT-technique, normal bridge moving			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	SILLAN RAKENTAMINEN SILTAPAIKAN VIEREEN	8
2.1	Siltatyön toteutus	8
2.1.1	Telinetyöt ja muotit	9
2.1.2	Raudoitus	9
2.1.3	Betonointi	10
2.1.4	Kuormitukset.....	11
3	SIVUSIIRRETTÄVÄN SILLAN SUUNNITTELU	12
3.1	Sillan alusrakenne	12
3.1.1	Pohjarakennesuunnittelu.....	12
3.1.2	Perustamisolosuhteet.....	13
3.1.3	Geotekninen suunnittelu	16
3.1.4	Pääty- ja välituet	17
3.1.5	Paalutus.....	17
3.2	Sillan päällysrakenne	19
3.2.1	Laattakehäsilta	21
3.2.2	Teräsbetoninen ulokelaattasilta	22
4	SILLANSIIRTO SPMT-TEKNIKALLA	23
4.1	SPMT- tekniikka rakennuskohteen valinnassa.....	24
4.2	Sillan siirron sovitukset rautatieliikenteeseen	25
4.3	Katkaisun hyöty ja riskit	26
4.4	CASE Suonteen alikulkusilta	27
4.5	Taloudellinen ja tuotannollinen kehitys	28
4.6	Tulevaisuuden näkökulma tiesiltojen siirrossa.....	29
4.7	Aikataulu	30
4.8	Työturvallisuus.....	32
5	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	34
6	LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

Tämä insinöörityö tehdään Savon Kuljetus Oy:lle auttamaan sivusiirrettävien ratasiltojen tarjouslaskennassa, jossa käytetään hyödyksi uutta SPMT-siirtomenetelmää. Toimeksiantajana toimii Savon Kuljetus Oy, jonka toimialoja ovat kuljetukset, kivi- ja maa-ainesten jalostaminen ja myynti, kunnossapitourakointi, infrarakentaminen, polttoainekauppa sekä teollisuus- ja maarakentaminen.

Siltojen siirtämiseen käytettäviä tekniikoita on Suomessa harvassa. Käytetyimmäksi tekniikaksi Suomessa on tullut sillan siirto palkeilla laahaamalla. Toisena tekniikkana on jumbopalkkimenetelmä. Savon Kuljetus Oy on käyttänyt Suomen ensimmäisenä infra-alan yrityksenä hyväksi uutta SPMT-tekniikkaa.

Tätä tekniikkaa käytettiin Suonenjoella, Suonteen sillan siirrossa. Urakkaan sisältyi 1 uuden ylikulkusillan rakentaminen ja 2 junaradan tasoristeysten poistoa, joissa toisessa suoritettiin sillan siirto perinteisellä menetelmällä ja toisessa käytettiin SPMT-tekniikkaa. Urakka toteutettiin kesällä 2011 Suonenjoella ja se loppui 2012 kesällä.

Opinnäytetyössä pyritään kehittämään SPMT-siirtomenetelmän käyttö- ja toteutusmahdollisuuksia sekä tutkimaan tähän sillan siirtotekniikkaan vaikuttavia hintavertailuja ja kustannusvaikutuksia. Työn sisältö rajataan käsittämään SPMT-siirtomenetelmää, koska vaadittavaa tutkimusta ei tarvitse tehdä normaaleille siirtomenetelmille. Tutkimus kohdistuu 2011 kesällä toteutettuun urakkaan, jonka sillansiirrossa käytettiin SPMT-tekniikkaa hyväksi. Tutkimuksessa käytetään myös lähdekirjallisuuden sekä ohjaajien että Savon Kuljetuksen työväen tietoutta hyväksi.

2 SILLAN RAKENTAMINEN SILTAPAIKAN VIEREEN

Rautatiesillan rakentamisen ensimmäinen vaihe on rakentaa silta liikennöidyn radan sivussa. Valmistuttuaan silta siirretään tunkkaamalla tai SPMT-tekniikalla omalle paikalleen. Siltapaikalle täytyy selvittää jo suunnittelun aikana ennen töiden alkua pohjatutkimukset ja tarvittavat selvitykset pohjarakentamiseen liittyen. Täten saadaan selville sillalle käytettävät sillan alus- ja pohjarakenteet ja tiedetään myös, että tarvitseeko siltaa tällöin tukea millään erityisellä tavalla esimerkiksi tarvitseeko tehdä erikseen paalutusta. Tutkimuksissa myös selvitetään siirtoradan alusrakenne. Sivussarakentamisen menetelmään kuuluu kolme vaihetta. (Pitkänen 2011, 25.)

- ennen siirtokatkoa olevat työvaiheet
- siirtokatkon aikaiset työvaiheet
- siirtokatkon jälkeiset työvaiheet

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan perinteistä palkeilla tunkkaamista ja uutta SPMT-tekniikkaa, jossa siirto toteutetaan laveteilla. Näille kummallekin tekniikalle ainakin yksi asia on yhteinen: sillan rakentaminen siltapaikan viereen. Palkeilla tunkkaamisessa sijainti on tärkein tekijä. Silta täytyy tehdä aivan radan viereen horisontaalisesti täysin samalle linjalle. SPMT-tekniikassa tätä siirtoa pystytään soveltamaan paremmin, koska siltaa ei tarvitse tehdä aivan kohteen viereen vaan aluetta voidaan käyttää hyväksi. Tämä onnistuu vain SPMT:n mobilisoinnin ansiosta.

2.1 Siltatyön toteutus

Ennen sillan siirtoa suoritetaan pienillä katkoilla väliaikaisten kiskojen laitto, paalujen poraaminen sekä erilaisten tuki- ja apurakenteiden asentaminen. Kiskot voidaan katkaista ennen varsinaista siirtokatkoa, jolloin asennetaan väliaikaiset kiskoliitokset. Tällä tekniikalla työssä nopeutetaan raiteiden purkamista ja poistoa. Pääsääntöisesti tukipaaluina käytetään lyönti- tai porapaaluja. Riippuen työkohteesta ja maaolosuhteista silta voidaan rakentaa myös maanvaraisesti. Paalujen poraaminen valmiiksi oikeaan korkeuteen ja toleranssiin vähentää näin ollen myös sillan rakentamis- ja asentamisaikaa. Kaikki liikennekatkot ja radan läheisyyteen liittyvät työt pyritään suorittamaan enimmäkseen viikonloppuisin, yöaikaan tai pienillä liikennekatkoilla. (Pitkänen 2011, 25-27.)

2.1.1 Telineetyöt ja muotit

Sillat ovat yleensä reunaohennettuja teräsbetonilaattoja. Siksi reunoille tehdään viisteet. Valumuotit ja niihin liittyvät telinerakenteet tehdään maanvaraisesti. Muottitavaranä käytetään mitallistettua hienosahattua tai raakaponttilautaa. Muottien tekemiseen menee n. 4 viikkoa aikaa. Muottien määräkin vaihtelee tyyppikohtaisesti sekä pituudeltaan että leveydeltään. Telineet suunnitellaan siltojen tukitelineet –ohjeiden mukaisesti. Muotit ja telineet suunnitellaan ja valmistellaan, niin että määrätyt mittatarkkuudet, rakenteen käyttöikä sekä pinnan laatuluokka varmistetaan. Muotit valmistetaan InfraRYL:n 41110 mukaisesti ja noudatetaan siellä esitettyjä paikalla valettujen rakenteiden mittatarkkuusvaatimuksia. Telineitä mitoittaessa otetaan myös huomioon junan aiheuttamat ilmanpainevaikutukset. Valutelineistä on laadittava aina suunnitelma ja hyväksyttävä Liikenneviraston ratavastaavalla ennen rakennustöiden aloittamista. Siirrettävän sillan telineet suunnitellaan tarkasteluajankohtien ja vakavuuden mukaan. Näitä ajankohtia ovat: siltakannen valu, siltakannen jännittäminen, siirtotapalakkien asentaminen ja siltakannen siirto. Telineet ja muotit pitää olla tiiviitä, niin ettei yhtään tavaraa putoa junaradalle. Turvallisuuden kannalta paras olisi tehdä jännitekatko tai kytkeä johdinosuus koko työmaamatkalta jännitteettömäksi. Muuten pitää noudattaa koko ajan TURO-turvallisuusohjeita, sähköturvallisuusmääräyksiä ja ohjeita. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle 1999.)

2.1.2 Raudoitus

Raudoitustarvikkeissa noudatetaan InfraRYL 2006 41112 Raudoitusohjeita ja niihin liittyviä vaatimuksia. Raudoituksen täytyy olla SFS-standardien mukaiset ja ruostumattomat teräkset tyyppi hyväksytyjä. Raudoitusvaiheessa noudatetaan Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa annettuja ohjeita. Raudoitteet suunnitellaan ja valmistellaan julkaisun BY 47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2007 vaatimuksien mukaisesti. Raudoituksen määrä vaihtelee siltojen kohdalla tyyppikohtaisesti sekä sillan leveyden ja pituuden mukaan. Määrät vaihtelevat 50 000 kilosta 100 000 kiloon. Betoniteräksen laatu- ja lujuusluokkana käytetään A500 HW. Raudoituksen suorittaa siihen pätevoityneet henkilöt. Yleisimpänä teräksenä pidetään harjaterästä, jonka koko vaihtelee 12-32 mm:iin riippuen raudoituksen tarkoituksesta. Pääteräkset ovat suurimpia ja ne ottavat suurimman osan vedosta. Sillan keskiosuudella käytetään hakasia ja ne asennetaan poikittaissuuntaisesti yhdessä pitkittäisraudoituksen kanssa. Sillasta tehdään usein esijännitetty. (Honkimaa, Alitupa 2011, 15.) Sillan raudoi-

tussuunnittelussa täytyy ottaa huomioon halkeilurajatila ja murtorajatila. Lisäksi tarkistetaan myös reunapalkin mitoitus eli pitääkö reunapalkki katkaista siirtoratojen kohdalla. Esimerkiksi jos on neljän tukilinjan (kolmiaukkoinen silta) silta, voi siirtoratoja olla kaksi, kolme tai neljä. Suunnittelijalla voi olla oma näkemys siirtoratojen määrästä, mutta kannattaa suosia kahden siirtoradan taktiikkaa, koska aikaa kuluu vähemmän ja lisäteräsmäärä perustuu niihin. Yleensä lisäteräsmäärä on vähäinen. (Tossavainen Matti 2012.)

Betonisillan raudoituksen maadoituksessa noudatetaan Liikenneviraston ohjeita 13/2010 ”Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitus-suunnittelu”. Rautatiesillassa maadoituspisteitä (SAM-piste) tulee olla sillan molemmissa päissä kummallakin puolella siltaa. Niistä silta liitetään sähköradan paluuvirtapiiriin. Maadoituspiste DET 2 voi olla sillan maadoitusteräkseen hitsaamalla yhdistetty kierretanko. Maadoituspisteiden materiaalin tulee olla haponkestävää terästä. Sillan kaikki metallirakenteet sekä betonirauditus yhdistetään 25 mm² Cu-johtimella tai halkaisijaltaan 10 mm:n teräksellä maadoituspisteisiin. Maadoituspiirin osana ei saa olla sellainen rakenne, joka voidaan poistaa sillan normaalin käytön aikana. Betonisen rautatiesillan sisään rakennetaan sähköisesti yhtenäinen maadoitusteräs. Yhtenäinen maadoitusteräs voidaan muodostaa erillisestä jatkuvasta hitsauksesta halkaisijaltaan 10 mm:n maadoitusteräksestä, joka sidotaan betoniteräksiin tai sillan työteräksiin. (Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitus-suunnittelu 2010, 20-21.)

2.1.3 Betonointi

Betonoinnissa pitää noudattaa InfraRYL:n mukaisia laatuvaatimuksia. Sillan betonointi tehdään yhteen putkeen, jotta betonista saadaan yhtenevä rakenne. Betonimassan määrä ja luokka vaihtelee työkohteittain. Nykyaikaisten betoniautojen maksimi valunopeus on n. 60 m³/h. Betonimassa täytyy sijoittaa niin, että se tulee kauttaaltaan tiivistetyksi ja liittyy saumattomasti muoteissa olevaan tuoreeseen betoniin. Pystyrakenteiden betonoinnissa rajoitetaan nousunopeus siten, ettei haitallisia jälkipainauksia synny. Rakenteen poikkileikkausmuutosten kohdalla pidetään tauko tai suoritetaan jälkitiivistys. Rakenteiden jälkihoito täytyy suorittaa betonoinnin päätyttyä säään tai muiden tekijöiden haitallisilta vaikutuksilta. Näitä hoitomuotoja ovat esimerkiksi betonin kastelu niin, että betonin lujoudenkasvu varmistetaan ja halkeilua välletään. Betonin kastelu pitää kuitenkin viimeistään lopettaa, kun ympäristöluokka Y3 on

saavuttanut 60 % ja ympäristöluokat Y1 ja Y2 70 % nimellislujuudestaan. Rakenteet pitää suojata tarvittaessa. 1-luokan betonirakenteessa pitää valmistajalla olla laadunvarmistusjärjestelmä, jolla varmistetaan ja taataan, että betonin mittapoikkeamat ovat 1-luokan mukaiset. Kaikista työvaiheista pidetään kirjaa. Ennen pintarakenteiden eristystä täytyy sillan kuivua yhtämittaisesti 2 viikkoa. Jos tämä ei ole mahdollista, niin sillan kuivuus täytyy todeta kosteusmittauksilla. (Suomen rakentamismääräyskoelma. Betonirakenteet 2001, 51-53.)

2.1.4 Kuormitukset

Rautatien sivulla valmiiksi rakennetun sillan siirrossa pitää ottaa huomioon siirron aiheuttamat rasitukset. Laskettaessa siltakansi paikoilleen tukien varaan, otetaan huomioon siltakannen alapinnan ja tukipisteiden korkovaihtelut. Siltakannen mitoituksessa tuen korkopoikkeaman mitoitusarvoina käytetään:

- *Sillan pituussuunnassa peräkkäisten tukilinjojen korkopoikkeama saa olla +/- 5 mm koko tukilinjalla.*
- *Sillan poikittaissuunnassa +/- 5 mm tukipistettä kohden tukilinjan koostuessa vain kahdesta tukipisteestä.*
- *Tukilinjan koostuessa useammasta kuin kahdesta tukipisteestä mitoitetaan siltakansi +/- 2 mm tukipainumalle. Mikäli näin ei tapahdu, niin siltakansi mitoitetaan ilman ko. tukea.*
- *Tukipisteen koostuessa kahdesta vierekkäisestä kumilevylaakerista ei oleteta olevan eroa tukikorkopoikkeamissa. (RSO 5 1999, 17.)*

Siirrettäessä silta paikoilleen tukien varaan käytetään tukireaktion epäkeskisyyttä hyödyksi. Tämä $e_t = d/2$, missä d = tuen leveys tarkasteltavassa suunnassa. Epäkeskisyyttä e_t käytetään kuormille, jotka vaikuttavat ennen siltakannen liittämistä perustuksiin (juotosvalu, hitsaus). Kiinnittäessä siltakansi paikoilleen otetaan huomioon kiinnittämisajankohdan sekä kiinnittämisen aikaisen rasitustilan vaikutus alusrakenteiden, liitoksen sekä kansirakenteen kuormituksiin. Laskelmissa yleensä siltakansi siirretään 28 vuorokauden kuluttua valusta. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

3 SIVUSIIRRETTÄVÄN SILLAN SUUNNITTELU

Suurin osa silloista suunnitellaan ja toteutetaan tie-, katu- ja ratahankkeisiin liittyen. Siltoja rakennetaan myös yksittäisinä hankkeina. Tällaisia ratkaisuja ovat esimerkiksi olemassa olevien siltojen leventäminen, painorajoitettujen siltojen korvaaminen uusilla, kevyen liikenteen siltojen rakentaminen, rautateiden tasoristeysten poistoa tai lossien korvaamista silloilla. Olipa kyse suunnittelusta tai rakentamisesta, niin aina täytyy ottaa selville kohteen/kohteiden maa- ja kallioperäolosuhteet. Nämä vaikuttavat siltapaikan ja siltatyyppin valintaan, perustamistapaan ja rakennusmenetelmiin. Ennen suunnittelua täytyy lähtötietoina käyttää vähintään:

- *nykyistä ja tulevaa raidegeometriaa sekä mahdollisia lisäraiteita*
- *alittavan väylän geometriaa ja aukkovaatimuksia*
- *sillan taustarakenteita*
- *alustavaa perustamistapalausuntoa*
- *sähköistyspylväiden, opastimien ym. sijaintia ja perustamistapaa*
- *olemassa olevia kaapeleita, putkia tai ilmajohtoja*

(RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle 1999, 4-5.)

3.1 Sillan alusrakenne

Alusrakenteen tehtävänä on vastaanottaa päällysrakenteelta syntyvien kuormien rasitus ja johtaa ne tukevampaan ja kantavampaan maaperään. Alusrakenteeseen kuuluvia osia ovat esimerkiksi sillalle tehdyt paalutukset, maatuet sekä väliuuet. Sillan alusrakenteeseen liittyvä suunnittelu aloitetaan pohjatutkimusselvityksellä. Siltapaikalla tehtävässä tutkimuksessa saadaan selville se, että tarvitseeko siltaa tukea millään tavalla tai pitääkö pohjamaat vaihtaa parempilaatuisiksi vai riittääkö pelkkä nykyinen pohjamaa kannattamaan uutta siltaa.

3.1.1 Pohjarakennesuunnittelu

Siltojen perustusten ja pohjarakenteiden käyttöäksi määritellään 100 vuotta. Siltojen pohjarakenteet pitää siis suunnitella niin, että varmuus murtumista vastaan on riittävän suuri, muodonmuutokset eivät saa syntyä liian suuriksi, routa- ja eroosiosuojaus

ovat riittäviä ja ympäristölle ei saa kohdistua ylimääräistä haittaa. Pohjatutkimuksessa tehdään paino- ja heijarikairausten lisäksi myös puristinkairauksia, tärykairauksia sekä siipikairauksia maakerrosten laadun ja vahvuuden selvittämiseksi. Kalliokerrosten tutkimiseksi käytetään koekuoppia tai porakonekairauksia. Näytteiden otossa pyritään myös ottamaan huomioon kaikki pohjavesihavainnot. Mahdollinen pohjaveden aleneminen pitää ottaa huomioon jo suunnittelussa. Suunnittelussa pitää myös huomioida pohjaveden vaikutus muihin rakenteisiin sekä ympäristöön. Pohjarakennesuunnittelussa pitää ottaa myös huomioon kyseisen sillan vaikutusalueen pinnanmuodot, kalliopinnan sijainti, maakerrosten ja kallion ominaisuudet, pohjavesisuhteet sekä läheisten rakennusten ja rakenteiden perustukset. Alueen routivuuden ja eroosion esiintyminen pitää tutkia tarkkaan. Pohjarakennemateriaaleina käytetään luonnonmaapohjaa, täyttömaapohjaa, vaihdettua maapohjaa (massanvaihto) ja vahvistettua maapohjaa (pohjanvahvistus). Ennen alueen pohjarakennussuunnittelua tehdään tarvittavat pohjatutkimukset, jotta saadaan selville pystyykö nykyisiä luonnonmaapohjia hyödyntämään vai pitääkö pohjamaille tehdä massanvaihtoja. Taulukossa 1 (s.13) näkyy suunnittelussa käytettävät tutkimusmenetelmät ja niiden lyhenteet. (Sillan geotekninen suunnittelu 2012.)

*Taulukko 1. Pohjatutkimusmenetelmät ja lyhenteet.
(Sillan geotekninen suunnittelu 2012.)*

Tutkimusmenetelmä	Lyhenne
Painokairaus	PA
Siipikairaus	SI
Heijarikairaus	HE
Huokospainekairaus (CPTU)	CU
Heijari-puristinkairaus	HP
Porakonekairaus	PO
Pohjaveden pinnankorkeus	VP
Orsiveden mittausputki	VO
Huokosvedenpaineen mittaus	HV
Koekuoppa	KO
Näytteenotto - häiritty	NO
Näytteenotto - häiriintymätön	NE
Laboratoriotutkimukset	LB
Rakeisuusikäykä	RK

3.1.2 Perustamisolosuhteet

Ennen rakentamista pitää pohjatutkimusten yhteydessä selvittää rakennuspohjan materiaalit eli minkälainen on maapohja ja tuleeko kalliopohjaa missään vaiheessa esille. Maapohjaksi katsotaan luonnonmaapohja, täyttömaapohja, vaihdettu maapohja (massanvaihto) ja vahvistettu maapohja (pohjanvahvistus). Maapohjalle rakennet-

taessa on selvitettävä pohjatutkimusmenetelmällä tai perustus- pohjanvahvistusmenetelmälle soveltuvilla tutkimusmenetelmillä maapohjan geotekniset maakerrokset sekä niiden geotekniset mitoitusarvot ennen suunnittelua ja rakentamista. Tiivistämättä tehtyjä massanvaihtoja tai muutakaan tiivistämätöntä maata ei saa käyttää rakennuksien tai rakenteiden kantavana pohjana. Kalliopohjan laatu on määriteltävä rakoilun, kivilaadun sekä heikkousvyöhykkeiden mukaisesti. Näiden perusteella pitää saada selville, että tarvitseeko kalliota lujittaa millään tavalla. Sillan suunnittelussa pyritään saamaan olosuhteista riippumatta rakenteellisesti sekä asetukset täyttävästi toimiva rakennuskokonaisuus. Perustuksia suunniteltaessa pyritään välttämään rakenteiden liian suuri painuminen, siirtyminen tai painumaerot, jotta perustuksiin ei synny rakenteellisia vahinkoja. Suunnittelussa pitää ottaa huomioon ympäristön ominaisuudet, jotka vaikuttavat sillan perustusrakenteisiin. Pohjarakennussuunnittelussa pitää ottaa huomioon seuraavat asiat:

1. pohjasuhteet
2. siltapaikan olemassa olevat rakenteet
3. routivuus
4. veden ja jään vaikutus sekä
5. pohjaveden vaikutus.

Sillan jokainen tuki perustetaan joko kalliolle tai kokonaan maanvaraisesti. Maanvaraisesti perustettaessa täytyy pohjamaan muodostua sellaisista maa- ja kivilajeista, jotka pystyvät ottamaan niihin kohdistuvat kuormat vastaan. Tästä syystä sillan pohjarakenteista pitää ottaa häiriintymättömiä maanäytteitä, jotta saadaan selville pohjarakenteiden ominaisuudet. Jos maanäyte on hienojakoinen ja routiva, niin perustukset pyritään viemään joko routimattomaan maakerrokseen tai vaihtamaan perustuksien alla olevat maat karkeajakoisempiin routimattomiin maihin tai perustukset johdetaan kalliolle asti. Rakennuksen alueellinen merkitys otetaan huomioon jo esisuunnittelussa. Alueella tehdään riittävä määrä pohjatutkimuksia, joista saadaan selville itse perustamistapa, siihen liittyvä suunnittelu ja rakentaminen sekä näistä hyödynnetty taloudellinen tuotanto. Silta voidaan perustaa kahdella eri tavalla, joko peruslaattalla tai kallioon yltävillä paalutuksilla. Peruslaatat jakautuvat maanvaraiseen sekä kallionvaraiseen laattaan että yhtenäisiin laattaperustuksiin. Maanvaraiset peruslaatat suunnitellaan niin, että ne täyttävät kaikki tekniset vaatimukset ja perustusratkaisut tulevat olemaan ympäristöllisesti ja laadullisesti halpoja. Maanvarainen peruslaatta perustetaan luonnontilaiseen kallionpintaan, niin että kallion päällä on vähintään 0,5 metrin tai sivumitaltaan 2,5 metriä pienimmillä perustuksilla 0,2*(perustuksen pie-

nempi sivumitta) paksuinen murskekerros. Täytön laajuus tutkitaan kantavuus-, vakavuus- ja painumalaskelmien perusteella. Maanvaraiselle peruslaatalle tulee tehdä painumalaskelma, jos pysyvä tai pystysuora liikennekuorma ylittää anturalle muodostuvan kuormituksen raja-arvot homogeenisissa pohjaolosuhteissa ja tasalaatuisella kitkamaalla. Taulukossa 2 (s. 16) esiintyy käyttörajatilan raja-arvot. Painumalaskenta suoritetaan aina seuraavissa tapauksissa jokaiselle sillan tuelle. (Sillan geotekninen suunnittelu 2012, 21-24.)

- vähintään yksi sillan tuki perustetaan hienorakeisen maan varaan
- pohjamaan painumaominaisuudet tai kerrospaksuudet vaihtelevat
- sillassa on korkeita pilareita (≥ 15 m).

Maanvaraiselle peruslaatalle tulee tehdä myös kantokykylaskelma. Laskelmassa tulee saada selville riittävä varmuus maapohjan murtumista vastaan. Laatalle aiheutaman kuormayhdistelmän keskimääräinen pohjapaine ei saa ylittää maapohjan kantokykyä. Kalliovarainen peruslaatta voidaan joko rakentaa täysin kallionvaraisesti tai sitten lisätyllä murskearinalla kallion päällä. Murskearinalla on hyvä vaikutus tärinän vähentämisen takia niille alttiissa kohteissa ja sitä pyritään suosittelemaan käyttämään. Kalliovaraiselle peruslaatalle tulee tehdä tutkimukset, joista on selvittävä kivilaatu ja rakoilu sekä kallion vakavuus sillan kohdalla että riittävän laajalta alueelta. Jos kallio ei ole tarpeeksi stabiili, niin kallio joudutaan louhimaan tai lujittamaan. Jos vastaavia tutkimuksia ei pystytä suorittamaan suunnittelun aikana, niin tulevia töitä varten tulee tehdä alueella katselmus edellä mainittuja kalliotutkimuksia varten. Suoraan kallionvaraan perustaessa tulee perustuksella olla riittävä varmuus murtumista, kaatumista ja liukumista vastaan. Perustuksia tehdessä tulee rakentamisen aikana noudattaa Liikenneviraston antamia ohjeita sekä niihin osoitettuja vaatimuksia. Yhtenäiset laattaperustukset tehdään ja mitoitetaan taipuvina rakenteina. Yhtenäistä laattaperustusta käytetään yleensä kehäsilloissa ja kaukalarakenteisissa. Laattaperustuksessa otetaan huomioon pohjapaineen jakautumiseen vaikuttavat tekijät. (Sillan geotekninen suunnittelu 2012, 21-28.)

- kuormitus ja sen vaihtelut
- maaperän muodonmuutosominaisuudet
- peruslaatan ja sen yläpuolisen rakenteen/rakenteiden jäykkyys ja viruma

Taulukko 2. Käyttörajan ominaisyhdistelmää käyttäen lasketun pystysuuntaisen jännityksen raja-arvo painumalaskennan tarpeellisuuden arviointia varten. (Sillan geotekninen suunnittelu 2012, 24)

Maalaji		Painumalaskennan tarpeellisuus
Hiekka	löyhä...keskitiivis	Painuma tarkistetaan aina laskelmilla
	tiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_s > 100$ kPa
Sora	löyhä...keskitiivis	Painuma tarkistetaan aina laskelmilla
	tiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_s > 200$ kPa
Moreeni	hyvin löyhä ...löyhä	Painuma tarkistetaan aina laskelmilla
	keskitiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_s > 300$ kPa
	tiivis	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_s > 600$ kPa
Perustuksen alustäyttö	tiiveysvaatimus InfraRYL 42013.3.1 mukaan	Painuma tarkistetaan laskelmilla, jos $\sigma_s > 500$ kPa

3.1.3 Geotekninen suunnittelu

Pohjarakenteiden suunnittelussa lasketaan geotekninen kantavuus sillalle sekä sillasta syntyvien kuormien johdosta painumat ja siirtymät. Geotekninen kantavuus saadaan määritettyä kantokyky- ja painumalaskelmilla. Geoteknisen kantavuuden sekä painumien raja-arvot määrittelee ja laskee siltasuunnittelija. Yleisenä raja-arvona pidetään 10 mm:n painumaeroa päällysrakenteen tukien välillä ja maanvaraisesti perustettaessa 20 mm:ä. Pohjarakenteiden ja perustuksiin vaikuttavat kuormat pitää määrittää, jotta geotekninen ja rakenteellinen mitoitus on mahdollista. Pohjarakenteet voidaan mitoittaa joko kokeellisesti tai laskennallisesti. Laskennallisesti pohjarakenteiden kantokyvyn mitoituksessa käytetään joko kokonais- tai osavarmuuslukumenetelmää. Pohjarakenteiden, maapohjan sekä perustusten vakavuus tulee laskea vakavuuslaskelmilla, jotta tiedetään, että rakennusalueen vakavuus on tarpeeksi riittävä. SPMT-tekniikan käytölle vaaditaan riittävä tila rakennettavalle sillalle ja siirtoalustan pitää pysyä tasaisena sekä tiiviinä ennen ja jälkeen siirtoa. Siirtoalustan tasaisuus sekä kiinteys on nähtävillä kuvassa 1. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Suonteen sillan siirrossa käytettyjä suunnitteluarvoja. Kohteessa siirtoradan geoteknisenä kantavuutena käytettiin 20 t/m² arvoa ja >0,6 m paksuista murskealustaa. USA:ssa on tehty SPMT-tekniikalle englanninkieliset ohjeet joissa esitetään vaatimuksia tälle tekniikalle. Ohjeessa myös esitetään kuvassa maapaineen vaikutusta maaolosuhteisiin.

Näille suhteille on piirretty käyriä, joissa osoitetaan, että miten paljon akselit voivat ottaa kuormaa vastaan. Näiden akselien koon perusteella voidaan laskea perustuksiin paksuudet sekä todeta, että maaolosuhteet ovat tarpeeksi hyvät SPMT-tekniikalle. (Sillan geotekninen suunnittelu 2012.)



Kuva 1. Sillan siirtoradan valmistelua. (Suonteen sillan siirto. Pöyry Oy 2011)

3.1.4 Pääty- ja välituet

Sillan pääty- ja välituet rakennetaan rakennussuunnitelmien mukaisesti. Suunnittelussa sekä rakentamisessa täytyy ottaa huomioon InfraRYL:n vaatimusten mukaiset pääty- ja välituilla käytetyt materiaalit, alustat sekä muotit. Rakentamisen aikaisten sekä rakentamisen jälkeiset InfraRYL:n vaatimukset pitää todistaa myös rakentamisen sijainnin, mittatarkkuuden, betonipeitteen paksuuden ja pintojen suhteen. Rakentamismenetelmästä huolimatta liikennöidylle raiteelle rakennettaessa täytyy käyttää työnaikaisia tukiseiniä. Nämä tukiseinät voi jättää myös paikoilleen sillansiirron valmistuttua. Yleensä tukiseinäinä käytetään teräsponttiseiniä tai settiseiniä. Tuennoista on laadittava niihin kuuluvat suunnitelmat ja hyväksyttävä ne eli nykyään Liikenneviraston ratavastaavalla. (InfraRYL. Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. 2006.)

3.1.5 Paalutus

Perustettaessa jokin rakenne tai rakennus paaluperustuksena, niin pitää tietää varmuudella, että pohjarakenne ei kanna ympäristöllisistä syistä. Paaluperustuksessa perustusten kuormitusten aiheuttamat painumat, siirtymät tai kiertymät, maapohjan

murtumiset tai riittämätön vakavuus pitää olla syynä rakennettaessa paaluperustuksena rakennusta tai rakennelmaa. Paaluperustus tulee ylittää kantavaan rakenteeseen eli yleensä kalliorakenteisiin tai karkearakeisiin maalajeihin. Näin ollen paalujen pituudet vaihtelevat rakennuskohteittain. Paalu on kantava rakenne. Tästä syystä paalutus pitää rakentaa sellaisista materiaaleista, mitkä ylittävät kantavan materiaalin vaatimukset. Paalutus yleensä sisältää raudoitusmateriaalia myös lujittaakseen betonin ominaisuuksia. Paalujen mitoituksessa noudatetaan seuraavia paalutusohjeita:

- Lyöntipaalutusohje
- Suurpaalutusohje
- Porapaalutusohje
- Pienpaalutusohje

Rautatiesillan rakentamisessa käytettävän paalutuksen yleisin tyyppi on teräsputki-paalut, jotka lyödään tai porataan lyhyiden liikekatkojen aikana ja valmistellaan siirtoa varten. Jos kallio on alle 10 m:n päässä, niin porapaalutusta käytetään myös suunnittelijan harkinnan mukaan. Porapaalutuksen käyttö rautatiesillan rakentamisessa on hyvä silloin, kun halutaan välttää ylimääräistä tärinää rautatiealueelle, eivätkä maan sisällä olevat suuret kivet eivät ole tiellä. Paalujen liittyminen kansirakenteeseen suunnitellaan jokaiselle kohteelle erikseen ja joissa tutkitaan niiden suhdetta maaperäolosuhteisiin, rakenteen kokonaisvakavuuteen sekä siirtokatkon pituuteen. Kansirakenteen ja paalujen liittäminen toteutetaan yleensä jälkivaluliitoksena, jossa voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi sementtipohjaista juotoslaastia. Poikkeustapauksissa voidaan käyttää hitsausliitosta hyväksi. Mikäli taasen ei ole mahdollista käyttää jäykkää liitosta, niin voidaan käyttää myös laakerointia. Paalutustöitä tehtäessä raiteen Kv:n tasolta käytetään paalujen sijainti-, suunta- ja kaltevuuspoikkeamia normaaliin siltarakentamiseen poiketen. Poikkeamien vaikutus otetaan huomioon rakennelaskelmissa. Poikkeamista on koottu taulukko 3 (s.19). Teräsputkipaalut betonoidaan aina. Tehtäessä täyttövalu vaiheittain, esitetään suunnitelmassa valupintojen korko. (Sillan geotekninen suunnittelu 2012.)

Taulukko 3. Paalujen sallitut suunta-, sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat.
(RSO 5 1999, 20)

Poikkeaman kohde		Mitoitusarvo
Teräspalkkipaalut		
Paaluryhmän painopiste		+/-100 mm
Kaltevuuspoikkeama, yksittäisen poikkeama pystysuorasta tai suunnasta	paalun kaltevasta	+/-5 % (+/-50 mm/m)
Kaltevuuspoikkeamien summa		+/-2 % (+/-20 mm/m)
Laskettaessa siltakansi paalujen varaan		
Yksittäisen paalun poikkeama tukilinjan korosta (tukilinjan paalujen korkojen keskiarvo)		+/-2 mm
Tukilinjan poikkeama teoreettisesta korosta		+/-5 mm
Porapaalut		
Kaltevuuspoikkeamien summa		+/-1 % (+/-10 mm/m)
Paaluryhmän painopiste		+/-25 mm

3.2 Sillan päällysrakenne

Sillan päällysrakenteisiin kuuluvat kannatinrakenne, kansirakenne pintarakenteineen, varusteet ja laitteet, kuten laakerit, liikuntasaumalaitteet, kuivatusrakenteet, kaiteet ja kolhaisu suoja- ja tyyppiin vaikuttavat tekijät ovat aina erilaiset jokaisessa työkohteessa. Siltakohtaisesti laaditaan jokaiselle kohteelle erikseen yleispiirustus, kehän mittapiirustus, peruslaatan, kehän ja siipimuurin raudoituspiirustukset sekä siirtymälaatan ja kaiteen ym. tyyppi- ja erikoispiirustukset. Siltapaikka määräytyy yleensä seuraavilla tavoilla (Siltojen pohjatutkimukset. 1999, 11.)

- *sidottujen tie-, rata- ja katulinjauksien mukaan*
- *vesistöjen ja muiden esteiden takia*
- *ympäristön sopeutumisen mukaan*
- *perustamisolosuhteiden sekä niistä aiheutuneiden kustannuksien mukaan*
- *nykyisen sillan käyttö varasiltana*

Yleisimmät siltatyypit esiintyvät niiden omilla rakenteellisilla tai teknisillä lajinnimityksillään. Pääkannattimen staattinen toimintatapa voi olla: kehäsilta, laattasilta, palkkisilta, kaukalopalkkisilta, kotelopalkkisilta, ristikkosilta, kaarisilta tai holvisilta. Pääkannatin voi olla jatkuva, ulokkeellinen, liittovaikutteinen tai elementtirakenteinen. Rautatiesillan rakentamisessa käytetyimmät siltatyypit ovat laattasilta ja kehäsilta. Opinnäytetyössä pyritään keskittymään ainoastaan näihin kahteen siltatyyppiin. Näitä siltatyyppi-

pejä valittaessa sillapaikka ei tule olemaan ainoa rajoittava tekijä suunnittelun aikana. Siltatyypin pyritään valitsemaan, niin että käytön sekä ympäristön vaatimukset tulevat täytymään mahdollisimman edullisesti. Tekijöitä jotka vaikuttavat vaatimuksiin ovat (Siltojen pohjatutkimukset. 1999.)

- liikenneväylä sillalla
 - o kaistojen lukumäärä ja mitat (myös liikennetilan vapaa korkeus)
 - o kaarevuus ja kallistukset
 - o tasausviivan tai korkeusviivan muoto ja korkeusasema

 - tilavaraukset sillan alla
 - o tien, radan tai kevyen liikenteen väylän vapaa tila
 - o näkemäetäisyydet
 - o vesiliikenteen tilantarve
 - o jalankulkijoiden tilantarve vesistö sillan alla
 - o uoman virtausominaisuudet (padotus ja virtausnopeus)
 - o ojat ja muut kuivatusjärjestelmät
 - o putket, johdot ym. laitteet

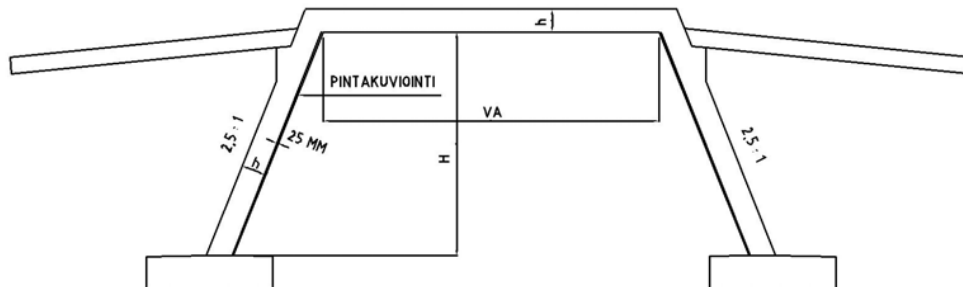
 - ympäristön asettamat vaatimukset
 - o maisema
 - o rakennukset ja laitteet
 - o penkereet ja muut maarakenteet
 - o korostamisen tai sopeuttamisen tarve

 - perustamisolosuhteet
 - o sillan perustaminen
 - o penkereiden ja muiden maarakenteiden perustaminen
 - o työnaikainen ja pysyvä kuivatus
 - o telineiden, varasiltojen ja kiertoteiden perustamismahdollisuudet
 - o kaivannot

 - rakentaminen
 - o kustannukset
 - o vaiheittain rakentaminen
 - o kuljetuskaluston, nosturien, aputukien ja telineiden.
- (Siltojen pohjatutkimukset. 1999, 13-14.)

3.2.1 Laattakehäsilta

Laattakehäsilta on yleisesti käytetty alikulkukäytävänä ja hyvin useasti otetaan huomioon ratasiltojen rakentamisessa. Laattakehäsilta on nopea rakentaa sekä siirtää paikoilleen, koska maatyöt ovat pienimuotoisia verrattuna muihin siltatyyppeihin. Näiden ominaisuuksien avulla laattakehäsilta on hyvin suosittu siltatyyppi sekä rautatiesilta rakentamisessa että sillan siirroissa. Kuvassa 2 (s.21) esiintyy laattakehäsilan perinteinen tyyppikuva. VA eli vapaa-aukko vaihtelee 4 metristä 6 metriin ja jalan korkeus H vaihtelee 3.5 metristä 6 metriin. Rakennepaksuus h on joko 370 mm tai 420 mm suunniteltaessa vapaa-aukon leveyttä. Yleensä laattakehäsilta on siirretty tunkkaamalla kuvan 3 (s.21) mukaisesti, mutta jos sillalle suoritettaisiin SPMT-tekniikalla toteutettu siirto, niin siirto todennäköisesti sujuisi paljon nopeammin ja ylimääräisiä kustannuksia ei syntyisi lisää. Kohteeseen tarvitsisi tuoda ainoastaan yksi SPMT-yksikkö siirtoa varten. Liikennevirasto on laatinut laattakehäsilasta yleisohjeen ja vaatimukset suunnittelua varten. Tyyppi- ja rakennuspiirustukset ja rautatiesillan laatuvaatimukset sillasta löytyy Liikenneviraston omilta nettisivuilta. (Teräsbetoninen Laattakehäsilta (Blk II) 2011.)



Kuva 2 Laattakehäsilan tyyppikuva.

(Teräsbetoninen Laattakehäsilta (Blk II) 2011. Liikennevirasto.)



Kuva 3 Laattakehäsilan siirto tunkkaamalla.

(Suonenjoen sillan siirto. Savon Kuljetus Oy 2011)

3.2.2 Teräsbetoninen ulokelaattasilta

Teräsbetoninen ulokelaattasilta on yleisesti käytetty ajoneuvoliikenteen risteys- ja vesistösilta sekä alikulkukäytävänä, kun sillan jännemitta on 10 - 18 m ja sillan pituus 15 - 23 m. Ulokelaattasilta on suunniteltu Lk 1 mukaiselle liikennekuormalle ja Ek 1 erikoiskuormalle. Murtorajatilatarkastelun lisäksi sillan raudoitukseen vaikuttaa halkeilurajatila. Jos ulokelaattasilan teko toteutetaan valmiiksi ja siirretään paikalleen, niin tällöin pitää ottaa huomioon halkeilu- ja painumarajatilat huomioon. Tukilinjojen ja siirtoradojen lisääntyessä kasvaa myös riski, että sillalle syntyy rasituksia näille siirtoradoille. Tästä syystä suunnittelijan pitää ottaa laskea lisäteräsmäärät raudoitukselle. Koska jokainen työkohte on erilainen, niin suunnitelmat pitää tehdä ja mitoittaa jokaiselle kohteelle erikseen, jos tyyppiinrakennuksissa olevat mitat eivät sovi käytettäväksi. Kohteesta johtuen laaditaan uudestaan sillan mita- ja raudituspiirustukset, pilarit ja perustukset sekä kohteen yleispiirustukset ja työtapiirustukset. Teräsbetonisesta ulokelaattasilasta on tehty omat suunnitteluohjeet ja tyyppikuvat. Tyyppikuvat ovat saatavilla ja katsottavissa Liikenneviraston omilla nettisivuilla. (Teräsbetoninen Ulokelaattasilta (Bul). 2004.)



Kuva 4 Teräsbetoninen ulokelaattasilta.

(Teräsbetoninen Ulokelaattasilta (Bul) 2004. Liikennevirasto)

4 SILLANSIIRTO SPMT-TEKNIIKALLA

SPMT-tekniikassa, Suomessa käytetään nimitystä lavetteknikka, tarkoituksena on liikuttaa siltaa pyörillä liikkuvilla laveteilla, jotka kykenevät nostamaan ja siirtämään tuhansia tonneja painavia siltoja senttien tarkkuudella. SPMT:ssä yhtenä suurena hyötynä on myös se, että se voi liikkua tukipisteestä katsoen 360 astetta. Yksiköt on yhdistetty kaapelilla ja niitä ohjaa ainoastaan yksi jalkaisin liikkuva ajaja. Ohjaimessa on vain neljä komentoa: ohjaus, nosto, ajo sekä jarru. Tietokoneistettu elektroninen ohjauskyky antaa mahdollisuuden liikkua horisontaalisesti: suoraan eteenpäin ja taaksepäin, poikittain ja missä kulmassa tahansa. SPMT-tekniikka mahdollistaa erilaisia ajo- ja kääntötapoja: mm. perinteinen vastaohjaus, kytki edellä, sivu edellä, T-ohjaus ja karuselliajo. Yksittäisellä SPMT- yksiköllä on joko 6 tai 4 akselilinjaa, jotka sisältävät useita rengaspareja 1.5 metrin välein. Kuvassa 5 (s.23) on 3 kpl 3 metriä leveitä SPMT-yksiköitä. Rakennuskohteen ulkopuolella rakennettu silta johtaa nopeaan ja laadulliseen asennukseen sekä näin ollen säästää liikenteen kulkua jopa minuuteista tunteihin. Tähän verrattuna tavanomainen paikalla päällä rakentaminen voi kestää jopa kuukausia. Valmiiksi rakennetun sillan siirto vähentää merkittävästi paikan päällä rakennettavan sillan rakennusaikaa, koska SPMT-tekniikassa peräkkäiset rakennusprosessit voidaan jakaa vain yhteen toimenpiteeseen, valmiin sillan siirtoon rakennuspaikalta viimeiseen sijaintiinsa. Sillalle pyritään luomaan tarvittavat alkutyöt sellaiseen malliin, niin että sillanrakentamisesta koituu mahdollisimman vähän haittaa rautatieliikenteelle ja että sillan siirto onnistuu nopeasti ja tehokkaasti. Tämä teknologia pitäisi olla harkinnassa kaikkiin sillankorvausurakoihin missä suurimpana prioriteettina on ajan käytön vähentäminen paikan päällä rakentamisessa. (Manual on Use of Self-Propelled Modular Transporters to Move Bridges 2007.)



Kuva 5. 3kpl 3 metriä leveät SPMT-yksiköt. (Suonteen sillan siirto 2012. Savon Kuljetus Oy.)



Kuva 6. SPMT-tekniikka mahdollistaa avoimemman liikumisen kohteella. (Suonteen sillan siirto 2012. Savon Kuljetus Oy.)

4.1 SPMT- tekniikka rakennuskohteen valinnassa

SPMT:n käytöllä sillan poistossa tai käyttöönotossa on monella tapaa hyödyllinen. Kaksi tärkeintä kriteeriä SPMT:n valinnassa ovat

- tarve pikaiselle rakentamiselle saadakseen silta tai moottoritien alikulku takaisin käyttöön. Tästä syntyy tavoite mahdollisimman lyhyeen sulkemisaikaan jolla rajoitetaan liikennehäiriöiden määrää.
- vaatii hyvän sijainnin saatavuuden sillan rakentamisesta varten. SPMT:n käyttö vaatii rakennusalueen sekä toteuttamiskelpoisen kulkureitin rakennuskohteelta asennuspaikalle

SPMT:n käyttö vaatii huomattavia kustannuksia jo siihen, että ensiksikin kalusto saadaan rakennuskohteelle paikoilleen ja toiseksi valmistaa ne sillan siirtoa varten. Saadaksesi tarkan arvion nettokustannusten lisääntymisestä tai vähentymisestä, pitäisi urakassa selvittää SPMT:n käyttöön kohdistuvat kustannukset sekä arvioida ja verrata niitä kustannuksiin, jotka syntyisivät paikalla päällä rakentamisessa. Tilaajan pitäisi harkita myös keskustelua urakoitsijoiden tai suunnittelijoiden kanssa SPMT:n käytöstä ja siihen liittyvien kustannusten merkityksestä urakassa. Suomessa SPMT- tekniikka on hyvin uusi infra-alalla, varsinkin sillan siirtoihin liittyen. Tehtaat ja suuryritykset

sekä satamatoiminta vaativat yleensä suuria rahtisiirtoja ja SPMT- tekniikka on jo näissä kohteissa mahdollistettu. Ulkomailla SPMT:n käyttö on otettu jo käyttöön muuallakin kuin rautatiesiltojen siirroissa sen nopeuden ja tehokkuuden ansiosta.

Näitä muita kohteita ovat

- Silta tai moottoritien alikulkutiellä on runsaasti liikennettä
- Silta tai moottoritien alikulkutie on hätätietä tai evakuointia varten tarkoitettu
- Silta menee joko rautatien tai vesistön yli
- Kouluihin tai sairaaloihin pääsy luonnistuu sillan tai moottoritien alikulkutien kautta
- Yritysten ja yksityisten yrittäjien sekä työntekijöiden työnteko häiriintyy rakentamisen johdosta
- Uhanalaisten lajien vaarantaminen rakentamisen johdosta
- Sää, joka rajoittaa rakentamisaikaa, esimerkiksi talviaikaan.

(Manual on Use of Self-Propelled Modular Transporters to Move Bridges 2007.)

4.2 Sillan siirron sovitus rautatieliikenteeseen

Rautatieliikenne eroaa tieliikenteestä huomattavasti sillä tärkeimmät tarkastelukohdet kohdistuvat aikataulutukseen sekä rautatieliikenteen sitovuus kiskoihin. Nämä tekijät rajoittavat erilaisten työnaikaisten liikenteen käyttöä. Liikennehaitan minimointi on aiheuttanut eniten päänvaivaa rakennushankkeilla ja on vieläkin eniten rajoittava tekijä nykyajalla. Nykyään uudet sillan sivussarakentamismenetelmät ovat nousseet suurimpaan arvoon. Näistä eniten käytettyjä tekniikoita ovat sillan tunkkaus sekä jumbopalkki menetelmä ja uusimpana tullut SPMT- tekniikka (lavettitekniikka). Oleellisinta näissä menetelmissä on liikennehaitan pituuden minimointi. Työn alla oleva rataosa on aikaisemmin kyetty käyttämään hyväksi lisäraiteen rakentamista, aikataulujen muutoksia tai vaihtoehtoisen kulkumenon käyttöä. Rautateiden rakentamiskohdeilla ei tyypillisesti enää rakenneta väliaikaisia väistöraiteita vaan yritetään käyttää hyödyksi joko toisia raiteita useampiraiteisilla osuuksilla tai siirtää valmiiksi rakennettu silta paikoilleen. Jos junaliikennettä joudutaan rajoittamaan, niin junien aikataulutusta uusitaan tai joudutaan käyttämään linja-auto matkustamista hyödyksi. Rautateillä työt pitää sovittaa rautatieliikenteen aikataulun ehtojen mukaisesti. Junien aikataulujen, rakennustöiden yhteensovittamisesta ja junien kulun yleisestä sujuvuudesta vastaa Liikenneviraston liikennekeskus. Hankalimmat suunnittelukohteet sijoittuvat enimmäkseen Etelä-Suomeen. Jos rautatieliikenteen hallinta epäonnistuu, niin se heijastuu heti kustannusten nousuna niin henkilöliikenteessä että tavaraliikenteessä. Junan

korvaaminen muilla liikemuodoilla vaikuttaa myös menetettyjen asiakkaiden hankintaan ja asiakastyytyvyyteen. (Pitkänen 2011, 17-19.)

4.3 Katkaisun hyöty ja riskit

Liikennekatkon perustana on rakentamisen aikaisten asiakaslähtöinen tiedustelu. Ennen tärkeimpänä kriteerinä oli investointien minimointi, mutta nykyään kriteerit ovat vaihtuneet asiakaslähtöiseen näkökulmaan. Asiakastyytyvyyteen kohdistuvissa tiedusteluissa on tullut selville, että sillanrakentamisen aikana asiakkaat väistävät totutulta reitiltä itse rakennuspaikkaa. Tähän eniten vaikuttavia tekijöitä ovat turvallisuudenhaku sekä liikennehaittojen minimointi eli ajankäyttö ajaessa tai kulkiessa junalla. Rakennustyöt pyritään suunnittelemaan, niin että junaliikenteelle syntyy mahdollisimman vähän haittaa. Tästä johdosta työvaiheet pyritään suunnittelemaan liikennöityjen junayhteyksien kohdalle ainoastaan liikennekatkojen aikaan. Liikennekatkot pyritään yleensä sijoittamaan yöajoille, viikonlopuille tai juhlapyhille jolloin junaliikenne on vähimmillään. Näin ollen myös liikenne- ja työturvallisuus paranee. Liikennekatkon pituus on yleensä suunnilleen 6-30 tuntia kohteesta riippuen. Liikennekatkon pituus on siis riippuvainen ja sidonnainen junaliikenteen aikataulusta riippuen. (Pitkänen 2011, 91.)

Tilaaajan pitää ottaa huomioon jo suunnittelussa sillan siirron suuruus ja näiden perusteella määrittää ajankohta sekä pituus liikennekatkolle. Näillä ehdoilla urakoitsija sitoutuu toteuttamaan vaadittavan sillan siirron. Näin ollen urakoitsija ottaa tietoisesti riskin siinä, että siirto suoritetaan aikataulun mukaisesti. Jos liikennekatkot pyritään suunnittelemaan juhlapyhiin esimerkiksi juhannukseen, niin tätä aikaa pidettäisiin mitoittavana tekijänä. Rakennuskohteelle asetetaan siis tiukat vaatimukset jos käytössä on yksi yhteinen aika. Riskien lisääntyminen työsuorituksissa kasvavat. Suurimmat riskit syntyvät eniten aikaa vaativissa työsuorituksissa eli kaivu- ja täyttösuorituksissa. Nämä voivat johtaa erinäisiin ongelmiin ja aikataulujen uudelleensovittamiseen. Tämänkaltaisessa tilanteessa Tilaaaja voisi soveltaa liikennehaittojen minimoimiseksi bonus-sanktio-järjestelmän periaatetta, jossa liikennehaitta määritettäisiin markkinoihin perustuen ja otettaisiin huomioon jo tarjouskilpailun aikana. Näin urakoitsijat olisivat tietoisia asiakirjojen pitävyydestä ja hankaluudesta tarjouskilpailujen aikana. (Pitkänen 2011, 91.)

4.4 CASE Suonteen alikulkusilta

Sillanrakennustöissä noudatetaan asiakirjoja, jotka on teetetty Suonenjoella sijaitsevan Suonteen työmaakohdetta varten. Yleisissä laatuvaatimuksissa noudatetaan InfraRYL osaa 3 (Sillat ja rakennustekniset osat) sekä osaa 1 (Väylät ja alueet). Lisäksi noudatetaan "Rautatiesiltojen teknisiä ohjeita" (RSTO), "Siltojen korjausohjeita" (SILKO), "Ratatekniset määräykset ja ohjeet" (RAMO), sähköratamääräyksiä, Kunnallisteknisten töiden työselityksiä KT-97, "Rautateiden maanrakennustöiden yleinen työselitys" (RMYTL 2-6, VR 1998-2001), "Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset", (RT 14-10380) sekä muita normeja ja määräyksiä, mitkä kuuluvat kohteen suunnitelma-asiakirjoihin. Edellä mainitut normit ja ohjeet määritellään tarkemmin kohteiden rakennussuunnitelmaselostuksessa. Kuvassa 7 (s.27) on Suonenjoella 2011 poistuneen Suonteen tasoristeyksen korvaavan sillan siirron valmistelua.



Kuva 7. Suonteen rautatietasoristeyksen korvaus uudella jatkuvalla teräsbetonisella ulokelaattasilalla. Sillan siirtoa valmistellaan. (Suonteen sillan siirto. Savon Kuljetus Oy 2011.)

Silta sijaitsee Pieksämäki – Kontiomäki rataosalla, rataosalla 397+700. Siltapaikalla on yksi sähköistetty raide. Siltapaikan eteläpuolella on nykyinen tasoristeys. Rakennettava silta on jatkuva teräsbetoninen ulokelaattasilta, jonka jännemitat ovat (2.5 m) + 11.8 m + 16.5 m + 11.8 + (2.5 m). Sillan hyötyleveys on 7,59 m ja sillan kokonaispituus on 53m. Silta perustetaan porapaalujen varaan, jotka ulottuvat kallioon asti. Tutkimusten perusteella silta tehdään paaluperustuksena vähintään 2 m ehjään kallioon maan löytyvyyden vuoksi. Rakentaminen suoritettiin työtapapiirustuksen mukaan,

joka muuttui ainoastaan maatöiden ja siirtotekniikan osalta. Silta rakennetaan työvaiheittain. Siltakansi valettiin radan sivussa ja siirrettiin paikalleen SPMT- tekniikalla, lyhyellä jännite- ja liikennekatkolla. Valualusta ja siirtorata perustettiin maanvaraisesti joten ylimääräistä paalutusta ei tarvinnut tehdä. Siltakansi liitettiin kanteen saakka ulottuviin suurporapaaluihin ns. holkkiliitoksella.

Jos liikekatkon aikainen sillan siirto onnistuu hyvin ja nopeasti, niin aikaa jää vielä paalujen yläpäiden juotosvaluihin. Tällöin ei tarvitse enää erillistä liikennekatkoa ottaa. Maanäytteet tutkitaan laboratorioissa ja näistä saadaan selville näytteiden vesipitoisuudet sekä rakeisuudet. Tutkimuksissa selviää myös, että maanpinnan päällimmäinen osa on hiekan ja siltin muodostamaa kuivakuorikerrosta. Tämän jälkeen maa koostuu kerroksittain muodostuvista silttisestä hiekkamoreenista ja savisesta siltistä. Mahdollisille häiriintyneille silttikerroksille voidaan tarvittaessa suorittaa massanvaihto. Sillan siirtoradat perustetaan hyvin tiivistetyn >0.6 m paksun murskearinan varaan sekä lisätään N3 suodatinkangas murskearinan pohjalle. Geoteknisenä kantavuutena voidaan käyttää 200 kn/m². Sillan siirrossa työvaiheiden suoritus oli nopeampaa kuin suunniteltiin, joka johti monen ylimääräisen tunnin ja kustannusten häviämiseen. Itse sillan siirto SPMT-tekniikalla ei tuonut suurempaa ajallista etua verrattuna tunkkaamiseen.

4.5 Taloudellinen ja tuotannollinen kehitys

Alustavat kustannusten säästöt, jotka syntyvät SPMT-tekniikan nopeasta sillan siirrosta sisältävät vähennettyjä kustannuksia lyhyempien liikenteenohjauksien käytöstä, lyhyempiä työtunteja mahdollisten tiesulkujen aikoina, vähemmän päivä- ja yövuoroisten käyttöä, jos on tiukka aikataulu ja budjetti. Muita säästöjä syntyy myös siitä, kun ei tarvitse rakentaa, korjata, ylläpitää kiertotietä tai väliaikaista rakennelmaa, joita yleensä tarvitaan pitemmän ajan vaativissa rakennuskohteissa. Urakoitsijat myös huomaavat säästöjen lisääntymistä alustavien kustannusten esimerkiksi kiinteiden kulujen, työvoiman sekä kaluston käytöstä syntyvien maksujen vähentymistä. Nämä johtavat vähentyneisiin vakuutusmaksuihin ja kaluston vuokrausaikaan. Sillan siirto vaikuttaa myös urakan ajan kulkuun. Mitä nopeammin urakka valmistuu, niin sitä enemmän urakoita voi ottaa vastaan vaikka yrityksen omat resurssit eivät suurenisi. Tämä johtaa siihen, että työmiehet jotka käyttävät työaikansa sillan muuttien ja viimeistelyjen valmistukseen, niin eivät ole enää kovinkaan riippuvaisia kenenkään muiden töistä esimerkiksi kaivinkoneiden suoriutumisesta perustuksien tekojen ja

täyttöjen aikaan. Jos siirrettävän sillan rakentaminen on mahdollista aloittaa hyvissä ajoin ennen suunniteltua sillan siirtoa, niin rakentamisen laatu sekä itse sillan rakenne paranevat. Hyvin rakennetun sillan ylläpitäminen ja korjaukset johtavat ylimääräisten kustannuksien karsimiseen rakentamisen jälkeisissä vaiheissa kun silta otetaan käyttöön.

Siltojen siirrossa on hankalaa verrata kahta eri tekniikkaa toisiinsa, koska kumpikin tekniikka on riippuvainen työkohteen töiden suuruudesta. Suurimmat erot tulevat perustamisolosuhteista, jotka vaihtelevat kohteittain aivan koko ajan. Ei ole olemassa yhtä samanlaista kohdetta, jolloin vertailu olisi helppoa. Esimerkiksi kallio voi olla eri syvyyksissä jolloin paalut pitenevät tai siltaa ei voi kohteella perustaa maanvaraisesti. Nämä asiat täytyisi pystyä jo määrittämään itse suunnitteluvaiheessa, jos haluaa sillan siirron onnistuvan nopeasti, jouhevasti ja taloudellisesti. Tarjousvaiheessa urakoitsija ei pysty määrittämään paljonko katko aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia valtiolle ja itselle. Urakoitsija näin ollen sitoutuu keskittymään sillan siirtoon kyseisenä katkon aikana käyttäen menetelmää, joka on mahdollista sillä hetkellä. Tämä johtuu ainoastaan vähäisten yritysten sekä kaluston määrästä koko Suomen alueella ja todennäköisesti voi lisätä kustannuksia kaluston vaihdon takia. (Manual on Use of Self-Propelled Modular Transporters to Move Bridges 2007.)

4.6 Tulevaisuuden näkymä tiesiltojen siirrossa

Rautateihin verrattuna tiesiltarakentamisessa ei tarvitsisi ottaa huomioon sähköistystä ja turvalaitteita. Jännitekatkoa ei tarvitsisi suorittaa ja ajolankojen sijainti ei häittäisi työmaan tilan ja kaluston käyttöä. Kun nämä asiat eivät ole tiellä, niin kalustoa esimerkiksi kaivinkoneita voidaan lisätä. Tämä nopeuttaisi heti esimerkiksi maankaivua mikä vie eniten aikaa siirron aikana. Paalutuksen poraaminen tai iskeminen onnistuu rautateillä paljon helpommin kuin maanteillä. Rautateillä paalujen poraaminen onnistuu helposti yö- tai viikonloppu-aikaan, mutta maanteillä pitäisi ottaa haltuun yksi kaisla, jolla saataisiin paalut maahan. Rautatiesillan siirtokatkon aikana suoritetaan jännitekatko ennen kuin työt voidaan aloittaa. Tiesiltarakentamisessa tämä vaatisi liikenteenohjauslaitteiden asentamista. Seuraava työvaihe rautatiesiltojen rakentamisessa olisi raiteiden purkaminen, mutta tiesiltahankkeissa tämä korvattaisiin asfaltin poistolla ja lopuksi tiesiltojen rakentamisessa tulisi suorittaa päällystys. Maatyöt sekä sillan siirtäminen ovat liikennemuodosta samat, joten suurimmat erot syntyvät asfaltin poistosta sekä uuden asfaltin päällystämistä. Pitkänen (2011, 40-50) esittää tiesilta-

hankkeille vaikuttavia kustannuksia ja pyrkii selvittämään miten eri tekijät vaikuttavat kustannusten nousuun sekä arviointiin. Tieliikenteestä aiheutuu erilaisia ajokustannuksia sekä tienpidon kustannuksia. Pitkänen (2011) esittää nämä ajokustannukset työssään neljälle eri kategorialle. Näitä ovat ajoneuvokustannukset, aikakustannukset, onnettomuuskustannukset sekä ympäristökustannukset. Liikennevirasto esittää jokaiselle näistä omat yksikköarvot, joita voisi tiesiltahankkeissa käyttää hyväksi. Suunnitteluvaiheessa sillan siirtoon käytetyn ajan kustannukset voitaisiin laskea näiden yksikköarvojen perusteella ja näin ollen selvittää, että mikä siirto olisi halvin ja nopein tapa toteuttaa sillan paikoilleen saanti. (Pitkänen 2011, 40-50.)

4.7 Aikataulu

Sillan siirron vaativat työvaiheet jakautuvat paalutukseen, jännite- ja liikennekatkoihin. Paalutuksessa porapaalut asennetaan ATU:n ulkopuolella. Tällöin junaliikenne voi kulkea normaalisti. Paalutustöiden aikana on ajo- ja paluujohdimien oltava jännitteetömiä. Paalut katkaistaan lopulliselta tasoltaan ja asennetaan pistetuentaakerit sekä laakereiden alustavalut. Siltakansi valetaan sivussa ja siirretään paikoilleen lyhyen jännite- ja liikennekatkon aikana. Katkossa tulee tehdä seuraavat työt:

- Poistetaan kiskot
- Tehdään SPMT-tekniikkaa varten edellyttämät kaivutyöt:
 - o kaivetaan siltapaikka auki ja todetaan, että alue on tarpeeksi kuivunut ja valmis asennettavaksi.
 - o tehdään siirtoalusta valmiiksi.
- Siirretään kansi paikoilleen ja lasketaan laakereille.
- Kierretään kiinnitysholkit paikoilleen ja tuetaan paaluun asennusruuveilla.
- Tehdään taustatyöt ja asennetaan siirtymälaatat.
- Asennetaan kiskot.

Kun siirto on suoritettu ja maatyöt käynnistyvät, niin samalla

- rakennetaan paalujen ympärille betonimanttelit
- asennetaan teräsholkit paalun yläpäähän
- tehdään paalujen yläpäiden juotosvalut.

Suunnittelijan pitää laatia kaikki työvaiheet ja työaikataulun, jonka mukaisesti työ tulee tehdä. Kun liikennekatkon aika annetaan, niin suunnittelijan pitäisi sitoa työaikataulu tämän katkon mukaisesti. Työvaiheiden ohjeelliset kestot esitetään alla olevassa taulukossa 4 (s.33). Erityinen huomio täytyy kiinnittää yhtäaikaaisesti työskentelevien työkoneiden määrään, niin etteivät ne ole toistensa tiellä. Jälkivalujen sitoutumiselle on varattava riittävä aika ennen betonin sitoutumista häiritsevien työvaiheiden aloittamista.

Taulukko 4. Sillan siirron työvaiheet ja työvaiheisiin kuluva aika. (RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999.)

Siirron työvaiheet	Työvaiheeseen kuluva aika
Aloitustyöt	
Jännitekatko ja raiteen purku	
jännitekatko	15-30 min
raiteen poisto elementteinä	1 h / raide
raide poistetaan kiskot ja pölkyt erikseen	2 h / raide
Kaivu	
Kaivinkoneen normaali kaivu ja kuormaus	150 m ³ kr / h
Perustusten valmistelu	
Paalujen katkaisu	
Teräsputkipaalun katkaisu polttoleikkaamalla ja leikkauspinnan hionta	30 min / paalu
Betonoitavat rakenteet	
Laakeripalkkien kuorielementtien asennus ja tukeminen	1 h 30 min / kpl
Hitsattavat rakenteet (Hitsausliitosten teko)	
Pienasauma a=5 mm	4,0 jm / h
Läpihitsaus t=10 mm, juurituki 6 palkoa	0,75 jm / h
Läpihitsaus t=15 mm, juurituki 14 palkoa	0,25 jm / h
Siirtoratojen asennus ja tuenta	
Murskepeti maanvaraiselle siirtoradalle	12 min / siirtorata jm
Siirtoradan paalujen katkaisu	18 min / siirtorata jm
Putkipaaluihin tukeutuvien kannattimien asennus	1 h / paalu
Elementtilaattojen ja siirtopalkkien asennus	1 h / siirtorata
Sillan siirto ja asennus	
Sillan siirto (siirtomatka n.10m)	1 h 30 min
Lasku tuilleen ja tukireaktioiden säätö	6 min / tuki, laakeri
Jarrutapin asennus	30 min / tuki
Kannen ja putkipaalun liitos	
Jälkivaluliitos	48 min / paalu
Hitsausliitos	1-4 h / paalu
Maarakennustyöt	
Routasuojaustyöt	
Massanvaihdon täyttö ja tiivistys	50 m ³ rtr/h / pääty
kevytsorabetonivalu aputöineen	10 m ³ / h
Lämmöneristyslevyn asennus tasauskerroksineen	80 m ² / h

Siirtymälaattojen asennus	
Elementtien asennus (b=1 m, m=5000 kg)	24 min / kpl
Saumaus ja vesieristys	1 h / pääty
Täyttö- ja tiivistystyöt	
Penkereen täyttö ja tiivistys	50 m ³ rt/h / pääty
Raiteen rakentaminen	
Kannen sepelöinti	
Kannen sepelöinti pölkkyjen alapintaan	50 jm / raide / h
Loppusepelöinti	50 jm / raide / h
Raiteiden asennus	
Ratapölkkyt ja kiskot elementteinä	50 jm / raide / h
Ratapölkkyt ja kiskot asennetaan erikseen	25 jm / raide / h
Raiteen tukeminen	50 jm / raide / h
Tukiseinärakenteet (Teräspontti)	
Teräspontin lyönti (L n.6m)	12 min / tukiseinä
Teräspontin lyönti (L n.8m)	17 min / tukiseinä
Teräspontin lyönti (L n.10m)	24 min / tukiseinä
Ponttien veto kokonaisuutena pois (L n.6m)	15 min / tukiseinä
Ponttien katkaisu polttoleikkaamalla	24 min / tukiseinä

4.8 Työturvallisuus

Rautatierakentamisessa suurimmat ja merkittävimmät työturvallisuusriskit syntyvät sähköistyksen takia sekä ohi kulkevasta junaliikenteestä. Sähköistyksessä pitää ottaa huomioon ajolankojen korkeus jo silmämääräisesti ja ottaa sopiva turvaväli niihin nähden. Myös töissä, joissa joudutaan käyttämään jännitekatkoa, niin pitää olla varovainen ja tietoinen milloin jännitekatko suoritetaan. Jännitekatkosta pitää olla tehtynä työsuunnitelma ja katkon työsuorituksista sekä aikataulusta pitää ilmoittaa työntekijöille. Rautatiealueella työskentelevillä on pakko olla olemassa ratatyöturvallisuuspätevyys eli Turva-kurssin suorittaminen vaaditaan jokaiselta ratatyön läheisyydessä olevalta työntekijältä. Työntekijöiltä voidaan myös vaatia laiturityöpätevyyttä tai turvamiespätevyyttä. Turvallisuusvastaavilta voidaan vaatia myös erikoispätevyyksiä, esimerkiksi sähkötöiden johtajalta S1- pätevyyttä. Ratatöistä vastaava laatii turvallisuussuunnitelman työkohdetta varten ja perehdyttää jokaisen työntekijän työkohteeseen. Suunnitelmilla osoitetaan liikennöinnin turvallisuus työn aikana, työturvallisuus sekä muut työn riskit ja niiden huomioon ottaminen. Suurinta vaaraa tuottavista töistä ratatyöalueella voidaan mainita työskentely työkoneiden läheisyydessä ja alla, työskentely liikenteen alaisella raiteella, sähköjohtojen ja kaapeleiden läheisyydessä toimiminen, liikennöidyn sähköradan läheisyydessä työskentely, korkeajännitetyöt (jännitekatkot sekä sähköratamuutostyöt), radan ylitykset sekä louhintatyöt. Työkohteesta vastaava pitää myös yllä viikottaista MVR- mittausta, jolla osoitetaan, että työkohteel-

la on kaikki turvallisuuteen liittyvät asiat kunnossa eikä yhtään läheltä piti –tilannetta ole syntynyt. Jos MVR-mittauksilla havaitaan ongelmakohtia tai vaaratilanteita, niin ne pyritään poistamaan/korjaamaan välittömästi. (Pitkänen 2011, 13-15.)

Sähköradan sähkölaitteiston rakentamisessa, korjaamisessa ja muuttamisessa noudatetaan Ratahallintokeskuksen julkaisuja B 22, Sähkörataohjeita mukaisia sähköturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia sekä voimassa olevaa sähköturvallisuuslakia ja sähköturvallisuusasetusta, valtioneuvoston ja kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksiä, Rautatieviraston määräyksiä, Turvatekniikan keskuksen (TUKES) ja Liikenneviraston ohjeita sekä sähköturvallisuutta koskevia SFS-standardeja. Tässä sähkörataohjeessa käsitellään sähköradan läheisyyteen liittyviä turvallisuustöitä sekä se antaa ohjeita työnjohtajille ja työpäälliköille ratatekniikkaa ja ratateknisiä töitä koskien. Sähköradalla käytettävä jännite on 25 kV suuruinen, joka on hengenvaarallinen. Radan läheisyydessä työskenteleminen vaatii joko pätevöityneen työntekijän tai perehdytetyn henkilön. Ohjeissa on määritelty sekä työntekijän että työkoneen pienimmät työskentelyetäisyydet jännitetyllä alueella. Näiden ohjeiden määrityksiä on työnjohtajan valvottava ja harkittava tilanteiden mukaisesti tarvitseeko työaluetta rajata millään tavalla. Radalla työskenneltäessä on noudatettava radanpidon turvallisuusohjeita (TURO). Kaikilla työntekijöillä tulee olla sähköistetyllä radalla sähköalan töihin osallistuvien pätevyysvaatimukset kunnossa. Työmaan käynnistyessä pitää työalueen väli maadoittaa kokonaan. Maksimietäisyys maadoitusten välillä on 600 m. (Sähkörataohjeet 2009.)

5 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Insinööriyön tavoitteena oli helpottaa sivusiirrettävien ratasiltojen tarjouslaskentaa. Tavoitteena oli luoda selkeä kuva SPMT-tekniikan suunnittelusta ja käytöstä rautatie-siltojen siirtämisessä. SPMT-tekniikan tarkoituksena on siirtää valmiiksi rakennettu silta oikealle paikalleen käyttämällä pyörillä liikkuvia lavetteja. Nykyaikana kilpailu on tiukkaa yritysten välillä ja jokainen pyrkii voittamaan uuden urakan itselleen kiristäen tarjouksensa todella alhaiseksi. Urakan voittaakseen tulee yrityksen tai urakoitsijan olla innovatiivinen ja edelläkävijä, niin ettei tappioita syntyisi ja katetta syntyisi mahdollisimman paljon urakasta. Pitää siis luoda jotain uutta. SPMT-tekniikka kuuluu yhteen niistä. Tätä uutta suurten laitteiden/rakenteiden siirtoon soveltuvaa tekniikkaa ei ole ennen 2011 kesää käytetty siltojen siirroissa, mutta tehdastyössä ja suuremmissa energiantuotantoyhtiöissä lavette-tekniikka on jo tullut tutuksi. Ennen vanhaan rautatiesillan rakentaminen suoritettiin säästöjä ajatellen rakennustehokkaasti, mutta nykyään ajatuksena on asiakastyytyväisyyden parantaminen. Asiakastyytyväisyyttä saatiin parannettua nopeuttamalla sillan siirtoa ja näin ollen vähentää katkojen pituuksia. Eli ideana oli saada junayhteydet takaisin asiakkaiden käyttöön vähentäen kustannusmenoja. Tätä mukaa sillan siirto katsottiin hyödylliseksi ja vakinaistui sen tehokkaan käyttöönoton vuoksi.

Ensimmäinen sillan siirto SPMT-tekniikalla suoritettiin 2011 kesällä Suonenjoen Suonteella. Sillalla korvattiin aikaisemmin liikenteen käytössä ollut tasoristeys. Kohteella käytettiin SPMT-tekniikkaa, koska kaluston saanti sillan siirtoa varten oli hyvin rajoitettua. Suomessa sillan siirron osaavia yrityksiä ei ole kovin monta ja siksi siirto toteutettiin SPMT-tekniikalla. Työvaiheita seurattaessa suurimmat riskit syntyvät eniten aikaa vaativissa työsuorituksissa eli kaivu- ja täyttösuorituksissa. Täyttösuorituksissa varsinkin siirtoradan alustan täytyy olla erittäin tiivis ja tasainen jotta vältyttäisiin sillan rakenteiden muutoksiin vaikuttavilta painumilta ja halkeiluilta. Myös rakennus-alustan täytyy olla SPMT-tekniikalle tiivis ja tasainen. Näin ollen suunnittelijan täytyy todeta ja määrittää sekä siirtoalustan ja sillan uudet rakenteet jo ennen urakan alkua. Koska kaivu- ja täyttötyöt kuluttavat eniten aikaa työsuorituksissa, niin täytyy urakoitsijan olla valmistautunut sillan siirtoon ylimääräisillä kaivinkoneilla sekä nopean toteutuksen että mahdollisten riskien suhteen. Näihin mahdollisiin riskeihin kuuluu myös kaluston rajallinen saanti. Koska SPMT-tekniikkaa ei ole vakinaistunut sillan siirroissa, niin kalustoa ei ole käytössä tällä hetkellä kuin yhdellä yrityksellä Suomessa. Tämä vähentää myös urakoitsijan mielenkiintoa käyttää SPMT-tekniikkaa sillan siirroissa.

Sillan siirrossa käytettäviä tekniikoita on vaikea verrata keskenään varsinkin taloudelliselta kannalta. Tämä johtuu ainoastaan siitä, että jokainen kohde on aina tapauskohtainen. Esimerkiksi kallio ei ole aina samassa syvyydessä, perustamisolosuhteet ovat erilaiset, sillan rakennuspaikka on kauempana kuin toinen. Kustannustehokkaasti kohteita ei voi siis verrata keskenään. Ajan käytön suunnittelu ja toteutus ovat siis tärkeimmät sillan siirtoa suunniteltaessa. Koska kustannuksia pyritään minimoimaan, niin aikakatko suunnitellaan joko juhlapyhille, viikonlopuille ja öille. Tämä siksi, että viikonloppuna junaliikenne vähenee viikkoon verrattuna ja juhlapyhinä junaliikenne on vähimmillään. Koska asiakastytyväisyys ja junaliikenne halutaan saada sujuvaksi, niin tulevaisuudessa mitoittavana tekijänä tulee olemaan työn suorituksen nopeus. Tämän takia uudet innovaatiot tulevat koko ajan enemmän esille ja siksi SPMT-tekniikka edustaa sillan siirron nykyaikaisinta välineistöä. USA:ssa sekä Hollannissa SPMT:ää (lavettitekniikka) käytetään paljon sen nopean ja tehokkaan käytön vuoksi. Näin ollen kaluston ja kilpailevien yritysten lisääntyessä Suomessa, SPMT-tekniikka voi nousta suurempaan suosioon sillan siirroissa.

6 LÄHTEET

RakMK B4. Betonirakenteet 2001. 2000. Helsinki: Rakennustieto Oy ja Rakennustietosäätiö RTS.

Honkimaa, M., Alitupa, R. 2011. *Sivusiirrettävä ratasilta ja sen vaatimat resurssit*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, TeKu. Opinnäytetyö

Infraryl 2006. *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Manual on Use of Self-Propelled Modular Transporters to Move Bridges. 2007. USA: Federal Highway Administration.

Manual for the moving of Utah bridges using self propelled modular transporters (SPMT:s). 2008. USA: Utah department of transportation.

Pitkänen, M. 2011. *Liikennehaitan minimointi tiesiltahankkeissa sillansiirtomenetelmällä*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 8 Sillat. 2002. Helsinki: Ratahallintokeskus.

Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 13/2010. Helsinki: Liikennevirasto

RSO 5 Sillan rakentaminen liikennöidylle raiteelle. 1999. Helsinki: Ratahallintokeskus.

Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet. 2002. Helsinki: Liikennevirasto.

Siltojen pohjatutkimukset. 1999. Helsinki: Tie- ja liikennetekniikka.

Sillan geotekninen suunnittelu. Sillat ja muut taitorakenteet. Liikenneviraston ohjeita 11/2012. Helsinki: Liikennevirasto.

Sähkörataohjeet. Ratahallintokeskuksen julkaisuja B 22. 2009. Helsinki.

Teräsbetoninen Laattakehäsilta (Blk II). Liikenneviraston ohjeita 9/2011. Helsinki: Liikennevirasto.

Teräsbetoninen Ulokelaattasilta (Bul). Suunnitteluvaiheen ohjaus. 2004. Helsinki: Liikennevirasto.

Tossavainen, M. 24.9.2012. Pöyry Oy. Siltojen Siirtotekniikat. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]