

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Alexi Järvinen

Rakentamisen mittaukset Crusellin sillalla

Insinööritö 4.5.2010

Ohjaaja: mittaustyönjohtaja Jarmo Ojanen
Ohjaava opettaja: yliopettaja Vesa Rope

Tekijä Otsikko	Aleksi Järvinen Rakentamisen mittaukset Crusellin sillalla
Sivumäärä Aika	45 sivua 4.5.2010
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	mittaustyönjohtaja Jarmo Ojanen yliopettaja Vesa Rope
<p>Tässä insinööriyössä perehdytään Crusellin siltaan liittyviin suunnitelmiin ja mittauksiin sekä rakentamiseen ja valvontaan. Samalla käsitellään Jätkäsaaren tulevaisuutta, johon kuuluu asuinkortteleiden ja toimitilojen mittavaa rakentamista.</p> <p>Insinööriyössä käsitellään myös rakennusurakan valvontaa ja urakan kulkua. Suuren osan rakentamisen valvonnasta suorittavat Helsingin kaupungin eli tilaajan edustajat. Työssä perehdytään tilaajan ja urakoitsijan väliseen suhteeseen, jonka toimiminen on hyvän rakentamisen perusta. Samalla käsiteltäväksi tulevat rakentamista koskevat laatuvaatimukset ja tavat, joilla ne saavutetaan.</p> <p>Työssä käsitellään myös uuden BIM-mallin käyttöä työmaalla. BIM eli Building Information Modeling tarkoittaa tietomallintamista. Tietomalli tarkoittaa koko rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuutta digitaalisessa muodossa. BIM-mallin käytössä on hyviäkin puolia, mutta ohjelman raskas käyttöliittymä ja aineiston yhteentörmäysongelmat ovat sen heikkouksia. Tulevaisuudessa siitä tulee kuitenkin ohjelman kehittyessä olemaan suurta hyötyä maanrakennus-, silta- ja talotyömailla.</p> <p>Työssä selvitettiin siltatyömaalla tehtäviä mittauksia ja niihin liittyviä periaatteita. Siltatyömaan mittauksista suurin osa oli merkintä-, kartoitus-, asennus- ja seurantamittauksia. Esimerkiksi seurantamittausten tärkeydestä kertoi se, että niiden ansiosta huomattiin nosturikiskojen vajoaminen, joka olisi saattanut uhata yleistä turvallisuutta. Mittauksia Crusellin sillalla tehtiin myös uudella Trimblen VX takymetrillä. VX:n tuomat hyödyt olivat sen laserkeilauksessa ja kyvyssä yhdistää laserkeilauksen pistepilviin digitaalisia kuvia.</p>	
Hakusanat	Crusellin silta, sillan mittaus, Trimble VX, BIM-malli, Jätkäsaari

Author Title	Aleksi Järvinen Construction surveying at Crusell bridge
Number of Pages Date	45 4 May 2010
Degree Programme	Land Surveying
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Jarmo Ojanen Surveying Supervisor Vesa Rope Principal Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to examine the plans, surveying, construction and supervision of the Crusell bridge. Furthermore, the thesis took a look at the future of Jätkäsaari, which includes the construction of large residential blocks of flats and business premises.</p> <p>The thesis also discussed the flow and the supervision of the project. Much of the construction supervision is done by the city of Helsinki. The study examined the various aspects of the relationship between the customer and the contractor. A good relationship between the customer and the contractor is a good basis for construction work. As the study was conducted, the quality standards of the construction and the means to achieve them were also encountered.</p> <p>The thesis also discussed the use of the new BIM model on a construction site. There were some good sides in the use of the model but the program interface is too heavy to be practical. There were also material collisions in the model. However, the program will greatly benefit civil engineering, bridge and building construction sites in the future.</p> <p>The bridge construction site surveying and the principles related to it are also discussed. The majority of the construction site surveying tasks are related to mapping, installation and follow-up measurements. For example, the importance of follow-up measurements was proven when it was discovered that one of the crane rails had subsided enough to cause a safety risk. The Crusell bridge surveying was done with a new total station. The benefits of the new total station are in its ability to integrate laser scanning and laser scanning point clouds to digital images.</p>	
Keywords	Crusell bridge, bridge measurements, Trimble VX, BIM model, Jätkäsaari

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	6
2 Crusellin sillan tarveselvitys.....	7
2.1 Yleiskatsaus Jätkäsaareen.....	7
2.2 Jätkäsaaren historia	8
3 Rakentava organisaatio	9
3.1 Skanska Infra Oy.....	9
3.1.1 Skanska Infran palvelut	9
3.1.2 Henkilöstö	10
3.1.3 Kalusto	10
3.2 Valvonta.....	11
3.2.1 Helsingin kaupungin suorittama valvonta	11
3.2.2 Skanska Infran oma valvonta	12
4 Crusellin sillan suunnittelu	13
4.1 Sillan yleiskuvaus.....	13
4.2 Suunnitelmat	15
4.2.1 Käännetyt vaihe aikataulut.....	17
4.2.2 PERI Suomi Ltd Oy:n telinesuunnitelmat	18
4.2.3 Tak-Plan Ky:n työsilta- ja puurakennesuunnitelmat	18
4.3 BIM-Malli.....	21
5 Mittaustekniikka	24
5.1 Mittausperusteet	24
5.2 Sillan tasaus ja kannen esikohotus	26
5.3 Pääpisteet	27
5.4 Laatuvaatimukset	28
5.5 Mittauskalusto.....	29
5.5.1 Trimble S6.....	29
5.5.2 Trimble VX	30
5.5.3 Tasolaserit	32
5.6 Ohjelmistot	32

5.7 Mittaustavat	33
5.7.1 Merkintä.....	33
5.7.2 Kartoitus.....	34
5.7.3 Seuranta	34
5.7.4 Asennusmittaus	36
6 Yhteenveto.....	37
Lähteet.....	38
Liite 1: Skanskan MVR-mittari	41
Liite 2: WSP Crusellin silta, esimerkkejä sillan laatuvaatimuksista	42
Liite 3: Kaivojen asennusohje	45

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää varsin ainutlaatuisen Crusellin sillan rakentamiseen liittyviä suunnitelmia, valvontaa ja mittauksia. Näitä asioita käsitellään Skanska Infra Oy:n työtehtävistä saatujen kokemusten kautta. Tarkoituksena on perehtyä käytettyihin mittaustapoihin ja laatuvaatimuksiin. Insinööriyössä käydään läpi uuden BIM-mallinnuksen tuomia hyötyjä ja ongelmakohtia. Lisäksi selvitetään, mikä on Crusellin sillan todellinen tarve ja minkälaiseen ympäristöön se rakennetaan. Samalla selvitetään Jätkäsaaren historiaa ja tulevaisuutta.

Työssä käsitellään myös Crusellin sillan pääurakoitsijaa Skanska Infra Oy:tä yrityksenä. Sillanrakentamisessa käytettävään mittaustekniikkaan ja mittaustapoihin on myös perehdytty. Insinööriyössä käsitellään Trimblen uutta takymetriä nimeltään VX. Samalla selvitetään, mitä hyötyjä tästä uudesta takymetristä on ja mitkä ovat sille sopivimpia käyttökohteita.

2 Crusellin sillan tarveselvitys

Jätkäsaari vapautui rakentamiselle, kun siellä ollut tavarasatama muutti Vuosaareen vuonna 2008. Tätä ennen Jätkäsaareen oli laadittu osayleiskaava, joka hyväksyttiin vuonna 2006. Kaavassa suunniteltiin Jätkäsaaren jatkavan Helsingin kantakaupunkia lounaaseen. Alueelle onkin suunniteltu paljon asuinalueita ja työpaikkoja. Tällä hetkellä Jätkäsaarella on valmiina Saukonpaaden, Jätkäsaarenkallion ja Hietasaaren asemakaavat, joita on alettu jo toteuttaa. Asemakaavoissa määritellyn rakentamisen valmistuttua 2020-luvulla Jätkäsaarella on noin 17 000 asukasta, ja siellä tulee olemaan noin 6 000 työpaikkaa. (1.)

Crusellin silta rakennetaan Helsingin Ruoholahden ylitse yhdistäen Kellosaarenrannan ja Jätkäsaaren. Sillan rakentaminen aloitettiin vuonna 2008 syksyllä, ja sen pitäisi valmistua vuoden 2010 loppupuolella.

Sillan tarve syntyy siitä, että kulkuyhteydet Jätkäsaareen ovat olemassa nykyään vain Mechelininkadun kautta. Varsinkin ruuhka-aikoina liikenne vaatii toista reittiä sujuakseen ruuhkautumatta. Ruuhkaa aiheuttaa myös autoliikenne Jätkäsaarella sijaitsevaan matkustajasatamaan. Valmistuessaan Jätkäsaaresta pääsee Crusellin sillan kautta esimerkiksi Länsiväylälle ja näin pois päin Helsingin keskustasta.

2.1 Yleiskatsaus Jätkäsaareen

Tällä hetkellä Jätkäsaarella rakennetaan, kun alueen asemakaavoja aletaan toteuttaa. Suurista merikonttipinoista muistetulla alueella on enää maanrakennuskalustoa. Jätkäsaari on Helsingille hyvä alue laajentua kaikin puolin, sillä alue on laaja ja lähellä keskustaa. Jätkäsaaren sadan hehtaarin alueelle tullaan rakentamaan useita hotelleja ja toimitiloja. Matkustajasataman jäätyä ennalleen alue tulee tarjoamaan edellytyksiä myös yksityisyrityksille. (2.)

2.2 Jätkäsaaren historia

Alkujaan Jätkäsaari oli luonnontilainen ”oikea” saari. Vielä 1900-luvun alkuaikoina Jätkäsaari koostui neljästä eri saaresta: Busholmenista eli Jätkäsaaresta, Sandholmenista eli Hietasaaresta, Utternista eli Saukosta ja pienestä Saukonkarista (kuva 1). Alkujaan Jätkäsaari tunnettiin helsinkiläisten keskuudessa paremman väen kesähuviloiden tyyssijana. Saarella asui kuitenkin myös ammattikalastajia. (3.)



Kuva 1. Neljä saarta ja nykyajan Jätkäsaari taustalla (4).

Vuonna 1911 Helsingin kaupunki teki tavarasataman rakentamispäätöksen, ja tästä alkoi Jätkäsaaren muuttuminen. Huviloita purettiin, ja Utternin uimala sai väistyä vuonna 1919. Huvilaelämän lisäksi Jätkäsaarella oli pienimuotoista teollisuutta, mm. punaisen graniitin louhintaa, kynttilöitä ja rasvatuotteita valmistanut tehdas sekä terva- ja asfalttitehdas. Punaista graniittia käytettiin Helsingissä Johanneksen kirkon pohjan tekemiseen, ja Pitkäsilta on myös tehty samaisesta graniitista. (3.)

Varsinaisen sataman rakentaminen alkoi vuonna 1913. Kun merta täytettiin, alue laajeni jopa kolminkertaiseksi alkuperäisestä. Merenpohjaa jouduttiin myös ruoppaamaan, jotta satama-altaasta saatiin tarpeeksi syvä laivoja varten. Kun vielä Hietalahteen vuonna 1890 rakennettu satamarata jatkettiin Jätkäsaareen asti, luotiin puitteet nykyaikaiselle satamatoiminnalle. Suuret täytöt aiheuttivat myös sen, että neljää eri saarta ei enää ollut, ja Jätkäsaari kuului nyt mantereeseen. (3.)

3 Rakentava organisaatio

Crusellin siltaa rakentavaan organisaatioon kuuluu tilaaja Helsingin kaupunki, suunnittelija WSP Suomi Oy ja pääurakoitsija Skanska Infra Oy. Edellä mainittujen lisäksi rakentamiseen ja suunnitteluun on osallistunut myös aliurakoitsijoita kuten PERI Suomi Ltd Oy ja Tak-Plan Ky. Pääurakoitsijaksi Skanska Infran valitsi Helsingin kaupungin rakennusvirasto eli HKR-rakennuttaja.

3.1 Skanska Infra Oy

Skanska Infra Oy toimii Skanska Oy:n alaisuudessa ja on osa suurempaa Skanska-konsernia. Skanska Infra vastaa maa- ja ympäristörakentamisesta Skanska Asfaltin kanssa. Infran osuus Skanska Oy:n 1037 miljoonan euron liikevaihdosta vuonna 2008 oli 25 %. Skanska Infran suuria viimeaikaisia työmaita on ollut muun muassa valtatie projektit E18 Lohja–Lohjanharju ja E18 Lohja–Muurla sekä Kakolan jätevedenpuhdistamo. (5.)

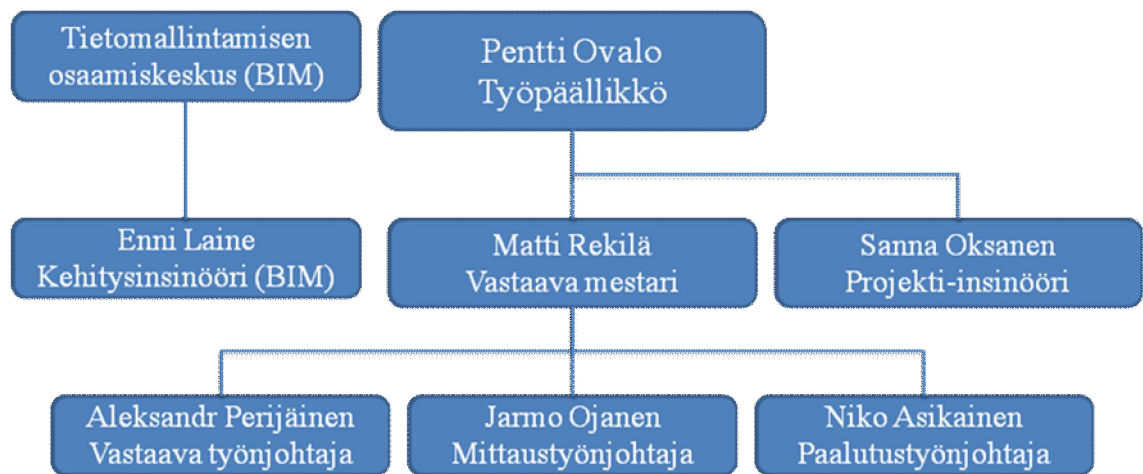
3.1.1 Skanska Infran palvelut

Skanska Infra on tehnyt siltarakentamista, pohjarakentamista, vesihuolto- ja teollisuusrakentamista, kalliorakentamista ja väylärakentamista. Crusellin siltaan onkin tarvittu monia edellä mainituista rakentamisen osaamisalueista. (5.)

Skanska Infra toimii myös elinkaaripalveluiden saralla, josta esimerkkinä Muurla–Lohja-moottoritie ja Järvenpää–Lahti-moottoritie. Elinkaarimalli tarkoittaa yksityisen ja julkisen sektorin yhteistyötä rakennushankkeissa. Elinkaarimallissa Skanska suunnittelee, rakentaa, ylläpitää ja huoltaa yksityisesti rahoitettuja infrastruktuuriprojekteja julkishallinnon asiakkaille. Käytännön tasolla elinkaarimalli saattaa nopeuttaa hankkeiden toteuttamista ja kannustaa aloittamaan kokonaan uusia. Elinkaarimalli voi tulla kyseeseen silloin, kun infrastruktuurin tarve on suurempi kuin senhetkisen julkisen sektorin budjetti. (6.)

3.1.2 Henkilöstö

Crusellin siltatyömaan henkilöstö on kuusi toimihenkilöä (kuva 2) ja noin 13 työntekijää. Työpäällikkönä työmaalla toimii Pentti Ovalo ja vastaavana mestarina Matti Rekilä. Lisäksi työmaalla on ollut Skanska Oy:n yhteispohjoismaisesta Tietomallintamisen osaamiskeskuksesta kehitysinsinööri Enni Laine BIM-mallin käyttöön liittyvissä asioissa.



Kuva 2. Työmaan toimihenkilöt

3.1.3 Kalusto

Crusellin siltatyömaa on siitä erikoinen työmaa, että paikalla olevaan kalustoon kuuluu torninosturi. Nosturin käyttö on ollut jokapäiväistä ja monet työvaiheet ovat sekä helpottuneet että nopeutuneet. Esimerkiksi jännityskaapeleiden ankkuriputkia ei olisi saatu asennettua ilman torninosturia, sillä autonosturin ulottuvuus ei olisi riittänyt. Kalustoon kuuluu myös traktori, erilaisia hitsauslaitteita ja mittauslaitteet. Työmaalla on myös aliurakoitsijalla kaksi kaivinkonetta ja pyöräkuormaa.

3.2 Valvonta

Työmaalla suoritetaan rakennusvalvontaa sekä tilaajan että urakoitsijan puolesta. Käytännön valvontaa tekevät tilaajan edustajat sekä Laatukonsultit Oy. Laatukonsultit antavat asiantuntijalausuntoja teknisistä rakenteista, rakentamisesta ja työmenetelmistä. Suuri osa valvontaa ovat viikoittaiset suunnittelukokoukset ja kahden viikon välein pidettävät työmaakokoukset. Viikoittaisiin suunnittelukokouksiin osallistuvat työmaan toimihenkilöt. Työmaakokouksiin osallistuvat työmaan toimihenkilöt, suunnittelijat ja Helsingin kaupungin edustajat. Näissä kokouksissa käsitellään kaikki työmaata koskevat asiat, aina rakentamistekniikoista aikatauluihin. Valvontaan kuuluu myös työmaapäiväkirjan ylläpitäminen. Työmaapäiväkirjaan kirjataan päivittäin numeroiduille sivuille, mitä työmaalla on tehty minäkin päivänä ja mitä siellä on tapahtunut. Kirjaukset koskevat muun muassa säätilaa, työsuoritusten kulkua, kokouksia ja mahdollisia henkilö- tai työvahinkoja. Päiväkirja esitetään työmaan valvojalle aina hänen käydessään, ja valvoja kuittaa allekirjoituksellaan saaneensa sen tiedoksi. (7, s. 2.)

3.2.1 Helsingin kaupungin suorittama valvonta

Helsingin kaupungin edustajat projektinjohtaja Tuomas Heinonen ja työmaavalvoja Timo Säynätjoki suorittavat valvontaa käymällä viikoittain työmaalla ja tarkastamalla työn jälkeä. Tilaajan edustajina kaupungin valvojien mielipiteitä tulee kuunnella. Jos he löytävät jotain huomautettavaa, tämä johtaa usein korjaustoimenpiteisiin.

Valvonnassa on mukana myös Laatukonsultit Oy, joka suorittaa teknistä valvontaa. Tämä tarkoittaa sitä, että valvonta koskee vain rakentamisen teknistä puolta. Laatukonsultit osallistuvat kokouksiin, kiertävät valvomassa työvaiheita ja raportoivat näistä kaupungille. Koska Laatukonsulteilla on sopimussuhde vain tilaajan kanssa, Laatukonsultit eivät voi itse esittää vaateita pääurakoitsijalle.

Myös rakennuskohteen suunnittelijat suorittavat laatimiensa suunnitelmien toteuttamisen yleisvalvontaa. Tämän lisäksi suunnittelijat antavat suunnitelmia

täydentäviä ja täsmentäviä ohjeita. Heillä ei kuitenkaan ole oikeutta määrätä tai sopia muutoksista urakkaan. (8, s. 13.)

3.2.2 Skanska Infran oma valvonta

Työmaalla valvontaa suorittaa myös urakoitsija itse. Työnjohto valvoo työvaiheita, työn laatua ja työn sujuvuutta kokonaisuudessaan. Vaikka tilaaja on valvonnassa mukana, se ei vähennä urakoitsijan vastuuta. Erona kaupungin valvojiin ja Laatukonsultteihin Skanska valvoo myös työturvallisuutta, mikä on yksi koko Skanska-konsernin tunnusmerkeistä ja tavoitteista.

Skanska Infran työmailla on käytössä turvallisuuteen liittyvät MVR-mittaukset. MVR-mittaus on havainnointiin perustuva menetelmä maa- ja vesirakennustyömaan turvallisuustason mittaamiseksi. Työnjohto suorittaa työmaalla MVR-mittauksia viikoittain, joissa koko työmaa kierretään ja arvioidaan mm. työskentelyä, kalustoa, suojauksia sekä yleistä järjestystä. Arviointi tapahtuu kirjaamalla oikeita ja vääriä työtapoja liitteessä 1 esitetyn lomakkeen mukaisesti. Tämän lisäksi työntekijöillä on aina mukanaan turvallisuushavaintolomakkeita. Crusellin siltatyömaalla työturvallisuus on ollut hyvätasoista lähes koko ajan. Työmaalla on sattunut vain kaksi tapaturmaa ja nekin aliurakoitsijoille aivan rakennustöiden alkuvaiheessa.

4 Crusellin sillan suunnittelu

Vuosien 2001–2002 vaihteessa Helsingin kaupunki järjesti suunnittelijoille siltakilpailun. Kilpailun tavoitteena oli löytää korkealaatuinen ja tasokas ratkaisu, joka sopisi parhaiten haastavaan Ruoholahden maisemaan. Kilpailun voitti WSP Suomi Oy yksipylonisella vinoköysisillallaan. Näin WSP sai vastuun Crusellin sillan pääsuunnittelusta. Muutamat aliurakoitsijat ovat myös tehneet suunnitelmia mm. työsiltaa ja kannen tukirakenteita koskien. (9.)

Crusellin siltatyömaa on myös ensimmäinen suuri infratyömaa Suomessa, missä käytetään tietomallinnusta (Building Information Modeling – BIM). Tietomallintamisen käyttö lähti liikkeelle siitä, että Helsingin kaupunki oli vaatinut suunnittelijalta koko rakennussuunnittelun 3D-mallintamista. Malli on tuonut mukanaan hyviä asioita, mutta myös kehittämistä tarvitsevia puolia on tullut ilmi. (10, s. 16.)

4.1 Sillan yleiskuvaus

Crusellin silta on kaksiaukkoinen epäsymmetrinen vinoköysisilta, jonka jännemitat ovat 92,0 + 51,5 m ja hyötyleveys on 24,8 m. Sillan kokonaispituus on 143,5 m. Sillan kadun pystygeometria on kupera 1 300 m:n säteellä. Kadun linjaus on suora. Sillan pääjänteellä on 20 m leveä veneväylä, jonka korkeuden pitää olla keskiveden pinnasta 5,25 m 10 m:n matkalla. Maatukien luona rantamuurit leikkaavat vinosti siltalinjan. (11, s. 3.)

Siltaan rakennettava köysisysteemi on epäsymmetrinen harppu, jossa takajänteen köysikulma on jyrkempi kuin etuköysien kulma (kuva 3). Sillan pylonin tornit ovat kallistettu 11 astetta pystysuorasta Jätkäsaarta päin.



Kuva 3. Crusellin sillan havainnekuva (12).

Molemmin puolin siltaa olevat maatuet on perustettu porapaaluille kallion varaan. Saukonpaadenrannan eli Jätkäsaaren puoleinen maatuki suunniteltiin siten, että sen omapaino toimisi vastapainona takaköysille. Rakentamisen puolesta välissä kuitenkin huomattiin, että sillan kestävyys ei olisi riittänyt jännitysvaiheessa ja silta olisi saattanut murtua. Silloin suunnitelmiin jouduttiin tekemään muutoksia ja kannen rauditus kaksinkertaistettiin välituen ja Saukonpaadenrannan maatuen välisellä alueella. Tämän lisäksi suunnitelmia muutettiin niin, että joka toinen poikkipalkkien väli samalla alueella betonoidaan massan kasvattamiseksi.

Päällysrakenne

Sillan molemmin puolin kulkevat kevyen liikenteen väylät ja ajoradat. Keskellä on alue molempiin suuntiin tapahtuvalle raitiovaunuliikenteelle. Jännitysköydet sijaitsevat kevyen liikenteen ja ajoratojen välissä kaiteiden erottamina. Kannen alapuolella ja osittain kannen sisällä on varaukset kunnallistekniikalle, sähkö- ja puhelinjohtoille sekä kaukolämmölle. Sillan päällysrakenne on arinarakenne, joka koostuu kahdesta

pääpalkista, poikkipalkeista ja kansilaatasta. Tämä rakenne on kiinnitetty Saukonpaadenrannan maatukeen. Kellosaarenrannan puoleisella maatuella on sillan liikuntasaumalaite ja laakerit. (11, s. 4.)

Pituussuuntaan sillan päällysrakenne on kahden pääpalkin ja kansilaatan muodostama teräsbetonikannattaja. Poikittaissuunnassa sillan rakenne toimii liittorakenteena, jossa kansilaatta on teräsbetonia ja poikkipalkit terästä. Poikkipalkit ovat koko kannen levyisiä. (11, s. 4.)

Välituki

Välituki sijaitsee 92 m:n päässä Kellosaarenrannan maatuesta numero 1. Alkuperäisten suunnitelmien mukaan välituki olisi perustettu kahdenkymmenen halkaisijaltaan 1,18 m:n kaivinpaalun varaan. Kaivinpaalutuksessa tapahtui kuitenkin työvirhe. Kun työputkea lähdettiin nostamaan 25 m:n syvyydestä, betoni ei ollut vielä sitoutunut tarpeeksi kestääkseen maan ja veden sen ympärille luoman paineen. Tuloksena oli kaivinpaalun varren kurouma. Näin kävi kaiken kaikkiaan yhdeksälle kaivinpaalulle kahdestakymmenestä. Tämän jälkeen heikkoja paaluja injektoitiin ruiskubetonilla, mutta tilaaja ei hyväksynyt perustusten kestävyyttä. Tällöin välituen perustusten kestävyuden varmistamiseksi maahan porattiin 18 halkaisijaltaan 0,61 m:n kokoista porapaalua. Perustusten kestävyydestä on hyvä olla varma, sillä sillan pylonit on raudoitettu paalujen varassa olevaan peruslaattaan. (13, s. 21.)

Pylonit ovat kannen yläpinnasta ylöspäin teräskoteloita ja alaspäin teräsbetonia. Teräspylonit kiinnitetään alusrakenteeseen ankkuripulteilla ja teräsbetonivalulla päällysrakenteeseen. Pyloniin kohdistuvat vaakakuormat johdetaan pylonin perustukselle ja pääkannattajan kautta Saukonpaadenrannan maatuelle. (11, s. 4.)

4.2 Suunnitelmat

Suunnitelmat ovat kaiken rakentamisen lähtökohta. Urakoitsijan tulee tutustua kaikkiin urakkaan liittyviin suunnitelmiin niin paljon kuin se rakentamisen kannalta on

välttämätöntä. Kun suunnitelmista löytyy ristiriitaisuuksia, on niistä ilmoitettava rakennuttajalle. Tällä tavalla, kun ristiriitaisuudet selvitetään, pystytään estämään niistä aiheutuvat välilliset haitat ja ylimääräiset kustannukset. Urakoitsija on myös velvollinen pyytämään lisäselvityksiä suunnitelmiin tai piirustuksiin, joista ei käy selville jokin tietty rakennusohje, rakennustapa tai mitta. (7, s. 1.)

Suunnittelutyön haasteena Crusellin sillassa on ollut sen erikoisuus. Köysijärjestelmät, kapeat teräspylonit sekä rakenneosien yksityiskohtaisuus ovat tehneet siitä tavallista siltaa haastavamman. Suunnittelutieto (suunnitelmat ja piirustukset) tulevat työmaalle normaalin paperiversion lisäksi viikoittain päivittyvänä BIM-mallina. Vaikka tieto suunnitelmien mahdollisesta muuttumisesta ja lisääntymisestä tulee malliin nopeasti, ovat piirustukset se laillinen dokumentointi, jonka mukaan rakennetaan. (10, s. 6.) WSP:n tekemiä suunnitelmia ovat mm.

- yleispiirustus
- kannen mittapiirustukset
- kannen raudoituspiirustukset
- jännepiirustukset
- poikkipalkkien teräsrakennepiirustukset
- pylonin piirustukset
- maatukien T1 ja T3 mittapiirustukset
- maatukien T1 ja T3 raudoituspiirustukset
- maatukien T1 ja T3 paalutuspiirustukset
- välituen T2 mittapiirustukset
- välituen T2 raudoituspiirustukset
- välituen T2 paalutuspiirustus.

Suunnitelmien muuttaminen

Joskus suunnitelmat eivät ole toteuttamiskelpoisia käytännössä, jolloin kyseeseen tulee suunnitelmien muuttaminen. Urakoitsija ei kuitenkaan ole oikeutettu poikkeamaan piirustuksista vain työnvalvojan tai suunnittelijan luvalla. Luvan suunnitelmien muuttamiseen tai kokonaan uuteen lisätyöhön voi antaa vain erikseen nimetty

rakennuttajan edustaja. Näistä muutoksista ja lisätöistä on keskusteltava työmaakokouksissa, joissa muuttamisesta mahdollisesti aiheutuvat kustannukset käsitellään urakkasopimuksessa määrättyllä tavalla. (7, s. 2.)

Jos taas rakennuttaja toimittaa muutoksia suunnitelmiin, on urakoitsijan yleisten sopimusehtojen (YSE 1998) määräyksiä noudattaen tehtävä kirjallinen tarjous rakennuttajalle ennen työn aloittamista. Ennen kuin rakennuttaja on työn kirjallisesti hyväksynyt, ei urakoitsija saa aloittaa työtä. (7, s. 2.)

4.2.1 Käännetty vaiheikataulut

Crusellin sillalla on työmaan omassa suunnittelutyössä käytetty käännettyjä vaiheikatauluja. Käännetty vaiheikataulusuunnittelu voi tulla kyseeseen, kun tehtävänä on jokin suuruusluokaltaan suuritöinen tai myöhästymisestä rahallisilla sakoilla rangaistava työ. Käänteisestä vaiheikataulusta on hyötyä varsinkin silloin, kun työssä on useita eri työvaiheita ja tekijöitä sekä työhön varattu aika on rajattu. Crusellin siltatyömaalla tällainen työ oli läheisen voimalaitoksen jäähdytysputkien siirto. Käännetty vaiheikataulut ovat osoittaneet työn tehon parantuneen, ja tärkeisiin aikamääreisiin on päästy jopa etuajassa.

Käännettyjen vaiheikataulujen teko alkaa aloituskokouksella, joihin osallistuvat kaikki kyseessä olevaan työhön liittyvät henkilöt. Käännettyjä vaiheikatauluja tehdään havainnollisesti post-it lapuilla seinälle, josta aikataulu valmistuttuaan piirretään puhtaaksi suunnitteluohjelmaan. Käännetty vaiheikataulut tehdään nimensä mukaisesti kyseessä olevan työn loppuosan töistä alkuosan töihin.

Aloituskokouksen alussa käsitellään työturvallisuuteen ja työn sisältöön liittyvät asiat. Alkupuheiden jälkeen suunnittelu tehdään siten, että viimeisen työvaiheen tekijä aloittaa aikataulun tekemisen laittamalla seinälle post-it lappuja saman verran, kuinka monta työvuoroa tarvitsee. Kun edellä mainitulla tavalla tekevät kaikki muutkin työhön osallistuvat, syntyy käänteinen vaiheikataulu. Aikataulusta nähdään työvuorojen määrä sekä se, onko mahdollista tehdä joitain työvaiheita päällekkäin. Aikataulun

tekemisjärjestys on käänteinen niin sanottuun normaaliin eli kronologiseen aikatauluun verrattuna. (14.)

4.2.2 PERI Suomi Ltd Oy:n telinesuunnitelmat

Sillan kannen muotin tuenta on toteutettu PERI:n UP Rosetta -telineellä. Syy PERI:n telineiden käyttöön on niiden monikäyttöisyys, turvallisuus ja kustannustehokkuus. Telineet pystytään myös hyvin säätämään kannen muotin vaihtelevaan korkeuteen sopiviksi. Telineet koostuvat metallisista alusosista ja niiden päällä olevista puisista GT 24 ja VT 20 puupalkeista (kuva 4).



Kuva 4. PERI:n telineet kannen alta ja sivusta katsottuna.

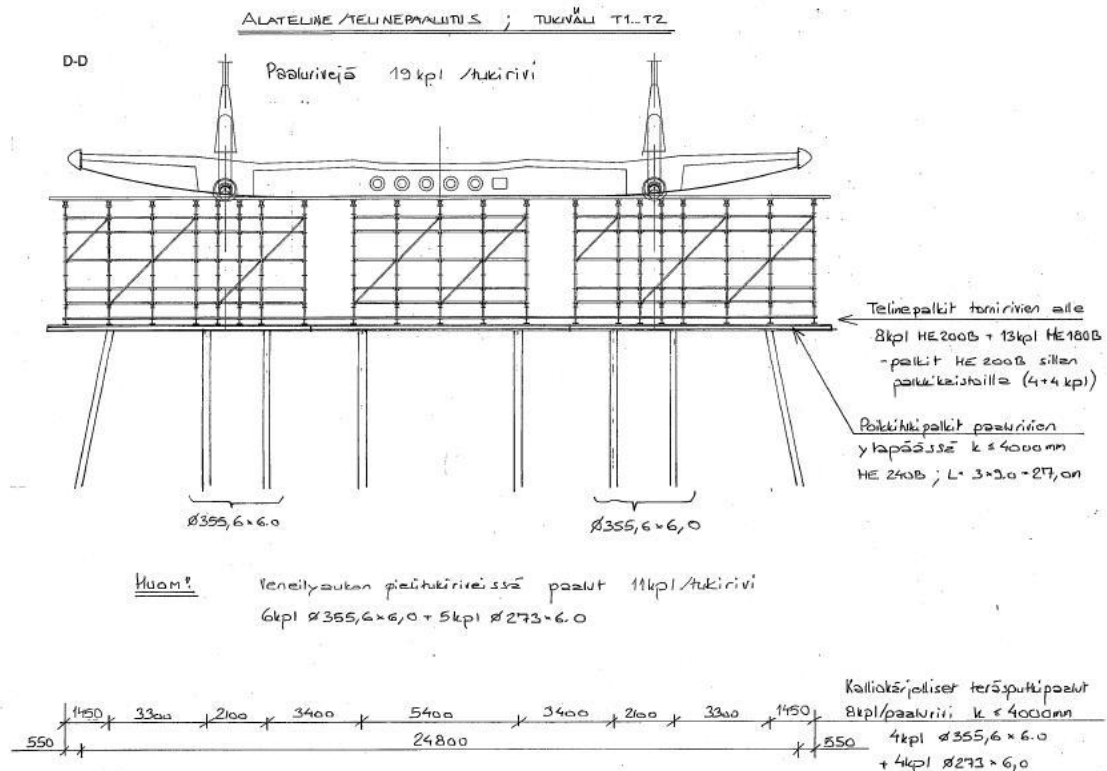
Varsinaiset telinesuunnitelmat on tehnyt PERI. Telineet ovat poikittaisriveissä sillan pituussuuntaa vasten. Poikittaissuunnassa telinetornit ovat 0,5–1,5 m välein. Pituussuunnassa pystytornit ovat puolentoista metrin välein.

4.2.3 Tak-Plan Ky:n työsilta- ja puurakennesuunnitelmat

Työsilta on väliaikainen rakenne, jonka päälle varsinainen silta rakennetaan. Kun sillan kansi on valettu ja muutaman viikon päästä kovettunut, aloitetaan työsilan purkaminen. Työsilan alaosa on kaksi eri suunnitelmaa. Toinen on välille maatuki 1 (T1) – välituki (T2) ja toinen välille välituki (T2) – maatuki 3 (T3). Piirustuksista selviävät alatelineen putkipaalujen sijainnit sekä alatelineen poikkipalkkien ja pituussuuntaisten

palkkien sijainnit. Piirustukset työsiltaa ja puurakenteita koskien on tehnyt Tak-Plan Ky:n Tapio Käkönen.

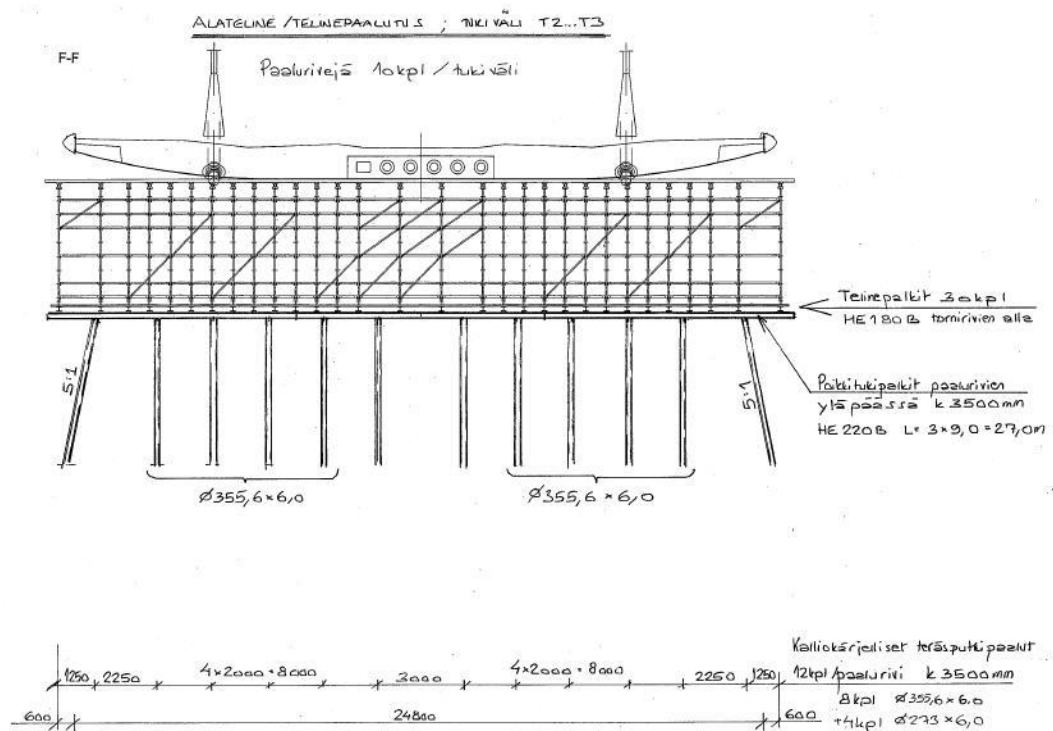
Tukivälillä T1–T2 on 19 paaluriviä, joissa kussakin on yhteensä kahdeksan putkipaaluja: kuusi suoraa ja kaksi vinoa (kuva 5). Jokaisella paalurivillä neljä paaluista on halkaisijaltaan 355,6 mm ja neljä on 273 mm. Pituudeltaan putkipaalut ovat 20–25 m. Poikittain putkipaalurivin päällä on I-palkkeja, jotka muodostavat 25,9 m pitkän I-palkin levyisen tason. Nämä poikittaispalkkirivit ovat neljän metrin välein sillan pituussuunnassa. Näiden tasojen ylitse tukivälillä T1–T2 kulkee sillan pituussuuntaan 21 vierekkäistä I-palkkia.



Kuva 5. Työsilta tukivälillä T1–T2 (15).

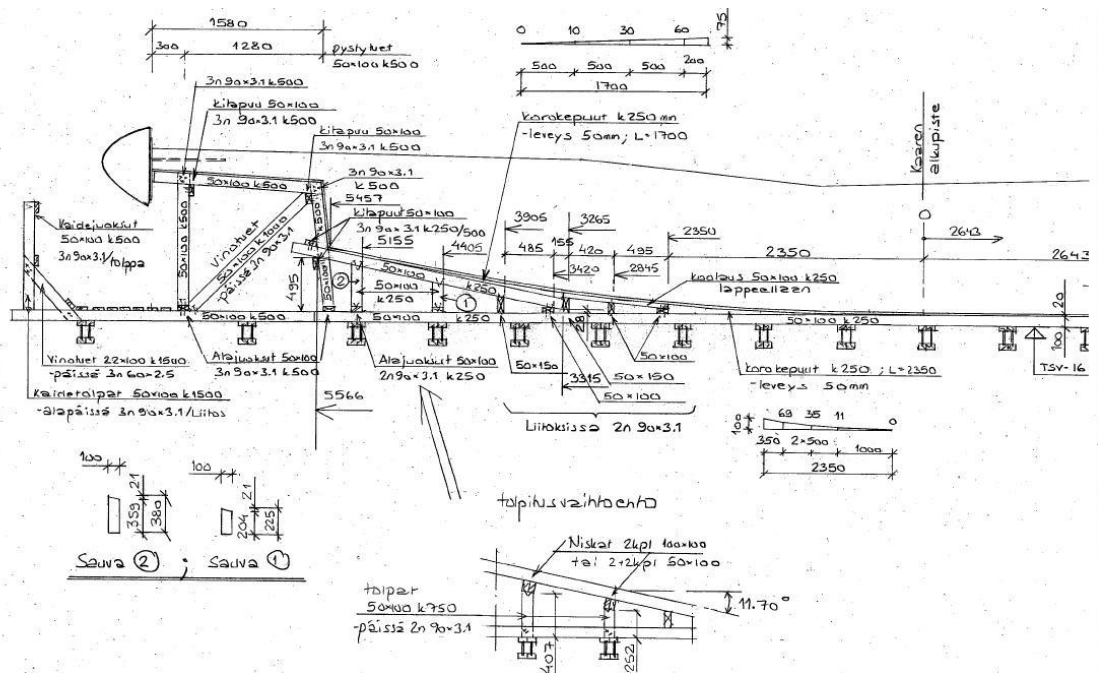
Tukivälillä T2–T3 on 10 paaluriviä, joissa kussakin on 12 putkipaaluja, kymmenen suoraa ja kaksi vinoa (kuva 6). Paalurivillä kahdeksan paaluista on halkaisijaltaan 355,6 mm ja neljä on 273 mm. Paalut on katkaistu samaan tasoon kun tukivälillä T1–T2 eli +1.33 m. Pituudeltaan putkipaalut ovat 19–25 m. Paalurivit ovat 3,5 m:n välein

toisistaan. Jokaisen paalurivin päällä on poikittain 26 m pitkä taso yhteen hitsatuista I-palkeista. Pituussuuntaan I-palkkeja on 30 kappaletta.



Kuva 6. Työsilta tukivälillä T2–T3 (16).

Muotituspiirustuksista käy ilmi mm. kannen muotin poikittais-, pituus- ja pystysuuntainen laudoitus (kuva 7). Piirustuksiin on merkitty myös laudoituksen kiinnitykseen käytettävien naulojen lukumäärät. Esimerkiksi merkintä 3n90x3,1 k 250 tarkoittaa, että lauta pitää naulata kolmella 90 millimetriä pitkällä halkaisijaltaan 3,1 millimetrin naulalla 250 millimetrin välein.

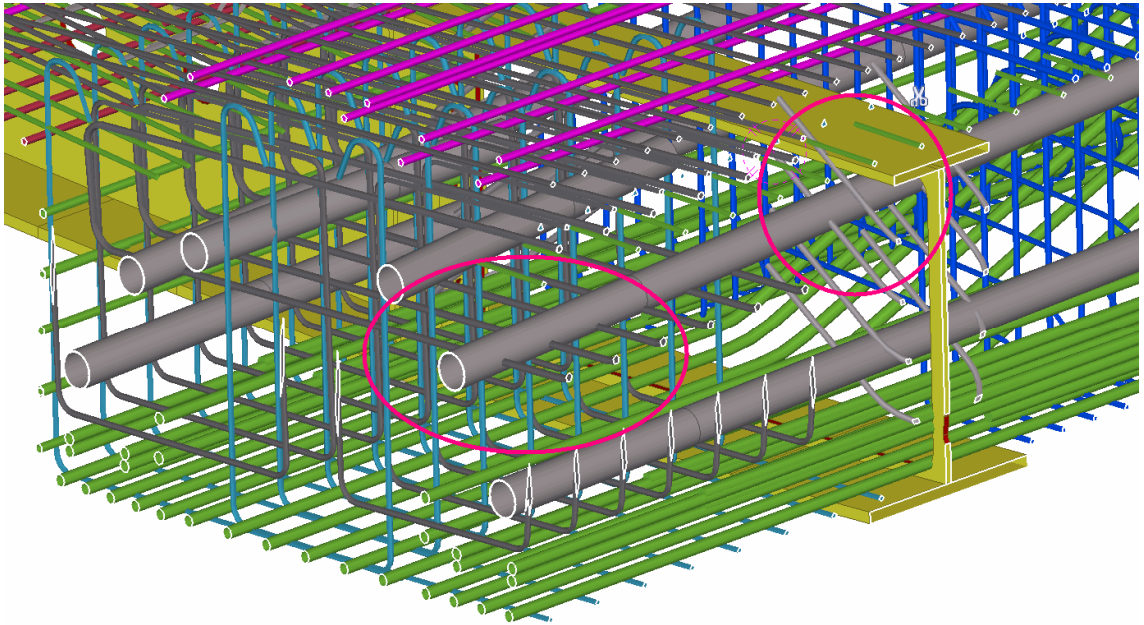


Kuva 7. Esimerkki kannen muotituspiirustuksesta (17).

4.3 BIM-Malli

Crusellin siltatyömaa on Suomessa ensimmäinen suuri työmaa, jossa on käytössä tietomallinnus (BIM – Building Information Modeling). Tietomalli tarkoittaa koko rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuutta digitaalisessa muodossa. Tietomalli käsittää koko rakennuskohteen 3D-mallina, jossa kaikki yksityiskohdat ovat erikseen käsiteltävinä objekteina. Mallista voi myös tehdä suoraan rakennepiirustuksia. BIM-mallia on kutsuttu myös 4D-mallina. Nimi tulee siitä, että tavallisen 3D-mallin lisäksi BIM-malliin on mahdollista lisätä niin sanotusti neljännelle akselille aika.

Nykyisen mallin perustana on ollut suunnittelijan tekemä alkuperäinen malli, jota on päivitetty sitä mukaa kuin työvaiheet ovat edenneet. Suunnittelutiedon päivitys tapahtuu siten, että kaikilla osallisilla on käytössään sama malli. Kun suunnittelija lisää tai muuttaa tietoja, muutokset päivitetään Internetin kautta muille osapuolille. Päivityksiä on tehty esimerkiksi silloin, kun huomattiin rautojen törmäminen joihinkin muihin rakenteisiin (kuva 8). Tämä tilanne saatiin korjattua, kun kuva lähetettiin suunnittelijalle ja saatiin ohjeet raudoitteen siirrosta. (10, s. 13.)



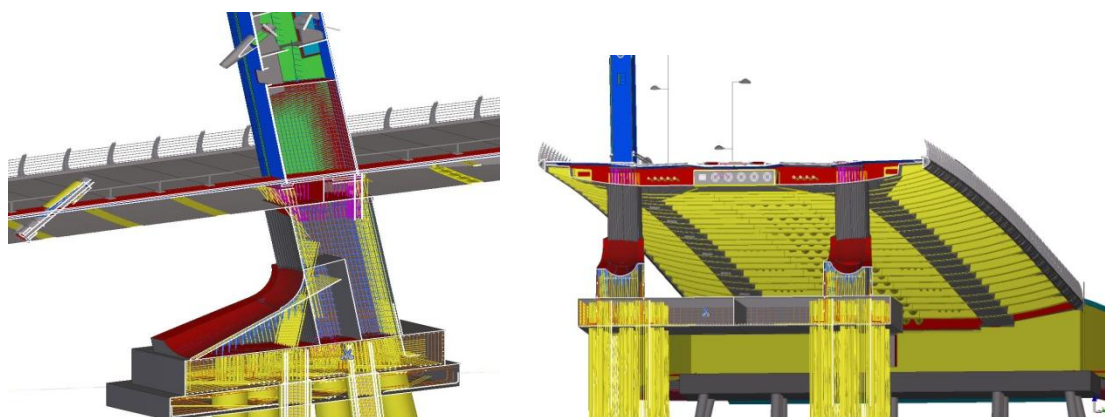
Kuva 8. Jännitysputkien ja raudoituksen yhteentörmäys kannen sisällä (10, s. 13).

Crusellin siltaa koskeva malli on käsiteltävissä Tekla Structures -ohjelmalla. Crusellin sillan tietomalli on kokonaan mittatarkka. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki mallin mitat ovat todellisia mittoja. Mallin silta on kokonaisuudessaan Helsingin koordinaattijärjestelmässä (HKJ) ja korkeusjärjestelmässä N43. Mallissa mittaaminen on toteutettu muille ohjelmistoille tutuilla tavoilla esimerkiksi tartuntojen avulla. Tartunnalla voi tarttua muun muassa leikkauspisteisiin, ympyröiden keskipisteisiin ja kohtisuoriin kulmiin. Mallista saa myös minkä tahansa halutun kohdan x - ja y -koordinaatit sekä korkeuden h . Mittaaminen toimii siis lähes samoin kuin CAD-ympäristössä. Tekla Structuresilla pystyy suorittamaan myös määrätiedon laskelmia, esimerkiksi betonikuutioista ja teräsmääristä jossakin tietyssä rakenteessa.

Mallissa on koko silta kaikkine elementteineen, ja sillä pystytään käsittelemään jopa yksittäisiä rautoja. Tästä syystä työmaan tietokoneita jouduttiin uusimaan, koska mallin katselemiseen tarvitaan tehokkaampia tietokoneita kuin normaalien CAD-kuvien.

Hyödyt ja ongelmat

BIM-mallin ehdottomasti suurin hyöty on sen visuaalisuus (kuva 9). Mahdollisten virheiden huomaaminen on helppoa ja mikä parasta, se tapahtuu etukäteen. Visuaalisuudesta on ollut suuri apu esimerkiksi raudoittajille, jotka näkevät monimutkaiset raudoitus suunnitelmat eri kuvakulmista. Mallia on käytetty myös maatuen T3 köysiankkurien asennuksen suunnittelussa. Raudoittajat ja timpurit katsoivat mallista, miten köysiankkurin alapää saadaan sijoitettua raudoitteiden joukkoon. Vastaan on tullut myös tilanteita, joissa paperipiirustuksista ei aina löydy kaikkia tarvittavia mittoja. Tällöin nämä puuttuvat mitat on voitu mitata mallista. (10, s. 17.)



Kuva 9. Crusellin sillan välituen ja kannen leikkaukset BIM-mallista (10, s. 12).

Mallista pystyy myös tulostamaan raportteja koskien jotain tiettyä rakennetta. Tästä on ollut etua varsinkin raudoitustilauksia tehdessä. Raudat tekevälle tehtaalle on pystytty ilmoittamaan tarkasti, minkälaisissa nipuissa rautojen olisi hyvä tulla työmaalle. Mallia pystytään hyödyntämään myös laserkeilauksen kanssa. Laserkeilauksen pistepilven pystyy liittämään malliin ja vertailemaan näin visuaalisesti sekä eromittoina suunnitelman ja toteutuman eroja. Suuria haittoja ei BIM-mallin käytössä ole. Heikkoutena voi kuitenkin pitää sitä, että ohjelmisto on erittäin raskas, kun tarkastelee kohdetta kaikki elementit näkyvissä. Heikkoutena voi myös pitää sitä, että Crusellin siltaa koskeva malli on lopullisissa koordinaateissa. Mallista ei siis ole toista versiota ajalta ennen valua esikohotuksien kanssa. Tämä asia täytyy ottaa huomioon mitattaessa koordinaatteja sekä korkeutta mallista. (10, s. 21.)

5 Mittaustekniikka

Kaikkeen rakentamiseen kuuluu olennaisesti myös mittaus. Mittauksia suuruusluokaltaan pieniin rakennustöihin tekevät kaikki työmaan työntekijät. Kirvesmiehillä ja raudoittajilla mittaustyökaluna on tavallinen rullamitta. Siltatyömaalla on kuitenkin paljon myös sellaisia rakennustoimia, joita ei rullamitalla saa mitattua. Tällöin mittaukset tekee niihin perehtynyt henkilö asiaankuuluvalla kalustolla.

Mittaukset, toleranssit ja tarkkuusvaatimukset ovat YSE 1998:n ja SYL 1:n alaisia. Mittauksia koskevat ohjeet on annettu WSP:n siltakohtaisessa työselityksessä. Sillan suunnittelun yhteydessä on laadittu rakentamista varten mittausaineisto, jossa on eri rakenteiden ja pisteiden koordinaatit ja koodit.

5.1 Mittausperusteet

Urakoitsija tekee työn toteuttamiseen vaadittavat mittaus suunnitelmat. Näissä suunnitelmissa esitetään muun muassa

- mittauksista vastaava henkilö
- mittauskalusto ja sen kalibrointi
- mittauksen lähtö- ja apupisteet
- mittauksen tarkkuuden arviointi
- mittauksen kohde
- mittauksen dokumentointi.

Mittauksista vastaavan henkilön täytyy olla rakennusmestari, mittausteknikko tai vastaavan pätevyyden omaava henkilö. (18, s. 28.)

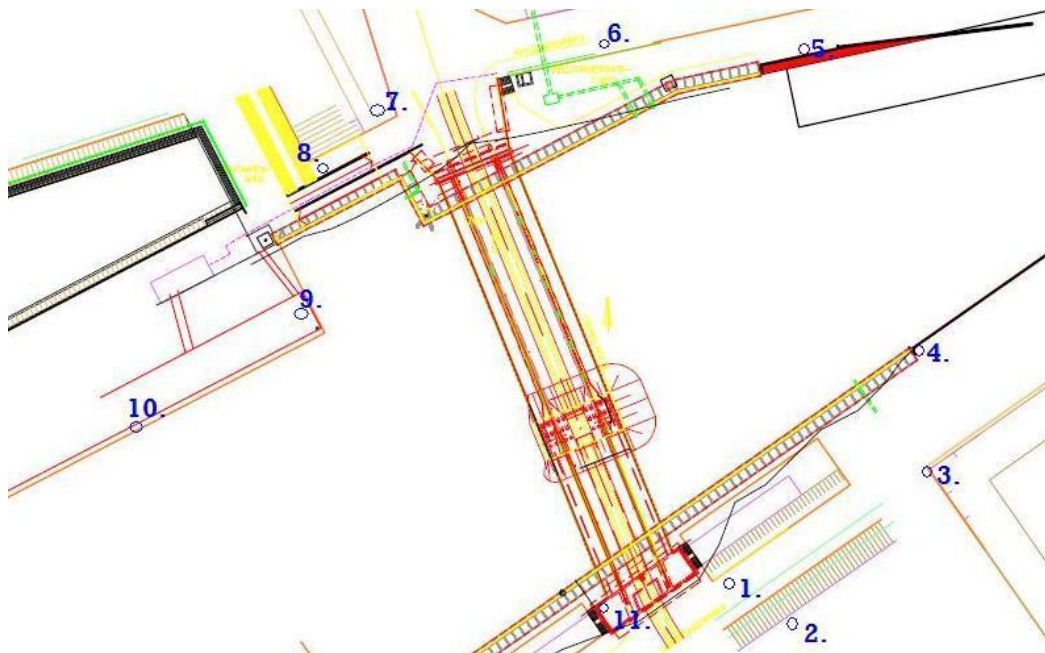
Crusellin silta ja sitä koskevat suunnitteluaineistot ovat Helsingin koordinaattijärjestelmässä HKJ ja korkeusjärjestelmässä N43. Työmaalla ei näin ollen ole ollut tarvetta käyttää Helmert-muunnosta, koska koko sillan suunnitelmat ovat jo valmiiksi mittauskoordinaatistossa.

Työmaan runkopisteistö perustuu urakoitsijan rakentamaan pisteistöön.

Runkopisteistöön kuuluu 11 pistettä, jotka tehtiin heti työmaan alettua syksyllä 2008.

Pisteet, jotka ovat kiinteissä rakenteissa olevia prismatarroja, sijaitsevat sillan ympärillä kattavasti (kuva 10). Kaikilla pisteillä on x - ja y -koordinaatit ja korkeus h . Koska mitataan vesistöä ylittävää siltaa, on molemmin puolin siltaa oltava korkeudeltaan tunnettuja pisteitä. Pisteiden sijainneilla on tärkeä rooli takymetrin orientoinnissa. Crusellin siltatyömaalla on ollut tapana suorittaa orientoinnit vapaina asemapisteinä mitattuna vähintään kolmesta pisteestä. Tällöin on hyvä, että pisteitä on joka puolella siltaa, koska pisteiden edessä voi olla esteitä. Tärkeätä on myös saada aina vähintään kaksi sillan suuntaista ja yksi siltaa hieman pidempi liitoshavainto mukaan orientointiin. Vapaan asemapisteen orientointien orientointivirheet ovat olleet x - ja y -koordinaateissa 3 mm tai alle ja korkeudessa h 2 mm tai alle.

Jos vapaan asemapisteen orientointivirheeksi tulee x - ja y -koordinaattien suhteen yli 5 mm, se hylätään ja orientointi suoritetaan uudelleen. Mikäli vieläkin ei orientointivirheitä saada tarpeeksi pieniksi, vaihdetaan takymetrin paikkaa ja/tai odotetaan olosuhteiden muuttumista (sumu, lämpöväreily tai sade).



Kuva 10. Pisteistö sillan ympärillä.

Pisteistön suhteellista tarkkuutta on määritelty niin, että tasossa tarkkuuden tulee olla parempi kuin 1:50 000 ja korkeussuunnassa parempi kuin 1:100 000. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tasosijainnin suurin sallittu epävarmuus on 4 mm ja korkeuden 2 mm. (18, s. 28.)

5.2 Sillan tasaus ja kannen esikohotus

Crusellin sillan mittalinjan tasaus on määritetty neljän metrin välein sillan pituussuunnassa olevina pisteinä. Tasausviivan eli TSV:n pisteistä muodostuvaa mittalinjaa kutsutaan toiselta nimeltään myös paalutukseksi. Siten paaluväli Crusellin sillalla on neljä metriä. Kadun linjaus on sillalla suora, joten erillistä vaakageometria-aineistoa ei ole. Pystygeometrian osalta takymetriin ei ole voinut ohjelmoida sillan tasausviivaa, koska kyseessä on jännitettävä köysisilta ja joka paalulla on oma esikohotus valua edeltävälle ajalle. Tämän johdosta sillan kansi ei ole säännöllinen kupera muoto vielä valuvaiheessa. Suurimmillaan esikohotus on ollut sillan pidemmällä jännteellä eli pääaukossa + 50 mm tasausviivasta ja pienimmillään sillan lyhyemmällä jännteellä eli reuna-aukossa – 40 mm tasauksesta. Kannen liikkuminen korkeussuunnassa ennen valua, valun jälkeen ja jännityksen jälkeen käy ilmi kuvasta 11.

MITTALINJAN (ML) TASAUS JA KANNEN ESIKOHOTUS

PL [mm]	TSV [mm]	ESIKOHOTUS VALUVAIHEESSA [mm]	KANNEN ASEMA AJAN HETKELLÄ t=0 [mm]	KANNEN ASEMA AJAN HETKELLÄ t=6kk [mm]	KANNEN ASEMA AJAN HETKELLÄ t=∞ [mm]
260	+5.350	+0	+2	+1	+0
264	+5.510	+1	+50	+24	+2
268	+5.670	+4	+91	+41	+2
272	+5.830	+9	+127	+53	-0
276	+5.990	+15	+162	+66	-2
280	+6.150	+21	+184	+71	-5
284	+6.310	+28	+200	+72	-8
288	+6.466	+34	+216	+73	-11
292	+6.609	+40	+217	+68	-16
296	+6.739	+45	+215	+61	-21
300	+6.858	+48	+212	+54	-25
304	+6.964	+50	+198	+46	-28
308	+7.058	+50	+183	+37	-30
312	+7.139	+49	+167	+29	-32
316	+7.208	+47	+146	+24	-30
320	+7.265	+45	+126	+18	-27
324	+7.310	+42	+104	+14	-24
328	+7.342	+38	+82	+10	-20
332	+7.362	+33	+60	+6	-16
336	+7.370	+28	+44	+3	-14
340	+7.365	+22	+31	-0	-14
344	+7.348	+15	+19	-4	-14
348	+7.319	+8	+6	-7	-13
352	+7.277	-0	-6	-10	-13
356	+7.223	-9	-1	-1	-3
360	+7.157	-17	+3	+7	+7
364	+7.078	-24	+8	+15	+17
368	+6.987	-31	+13	+23	+27
372	+6.884	-36	+18	+29	+35
376	+6.769	-39	+20	+32	+39
380	+6.641	-40	+21	+32	+40
384	+6.501	-37	+20	+29	+37
388	+6.348	-28	+17	+23	+29
392	+6.189	-18	+13	+17	+20
396	+6.030	-9	+9	+11	+12
400	+5.870	-2	+5	+6	+5
404	+5.714	0	+2	+2	+1
408	+5.563				
412	+5.420				
416	+5.282				

KOHOTUS:

+ ON TSV:STÄ YLÖSPÄIN

- ON TSV:STÄ ALASPÄIN

Kuva 11. Kannen mittapiirustus 2, mittalinjan taseus ja kannen esikohotus (19).

Käytännön mittaamisessa tärkeintä on ollut pitää huoli siitä, että käsiteltäessä TSV:aan sidottuja korkeuksia vertailulinja pitää muodostaa niiden kahden paaluluvun välille, jossa mittauskohde sijaitsee.

5.3 Pääpisteet

Pääpisteet ovat olennainen osa sillan mitoitus. Pääpisteet sijaitsevat maa- ja välitukien sisällä muodostaen tuen suuntaisen linjan. Jokaisessa tuessa on kolme pääpistettä, yksi sillan keskilinjalla ja kaksi laidoilla. Näitä kolmen pääpisteen muodostamia linjoja tukien sisällä sanotaan tukilinjoiiksi. Näistä linjoista tukilinja 3 oli tärkeä osa Saukonpaadenrannan puoleisen maatuen rakentamisessa, koska maatuki on vinossa sillan keskilinjaan nähden. Tällöin normaalilla rullamitalla oli vaikea mitata

yksinkertaisiakaan mittoja, koska oikea suunta oli paikoin vaikea hahmottaa. Tähän ratkaisuna maatukeen mitattiin takymetrillä tukilinjan suuntaisia linjoja.

Pääpisteiden numerointi alkaa Kellosaaren puoleiselta maatueltä, jossa pääpisteet 1, 2 ja 3 muodostavat tukilinjan T1. Välituen pisteet 4, 5, 6 muodostavat tukilinjan T2 ja Saukonpaadenrannan maatuen pisteet 7, 8 ja 9 muodostavat tukilinjan T3.

Kannen pintarakenteista suuri osa on mitoitettu joko tukilinjalta T1 tai tukilinjalta T2. Esimerkiksi kannen mittapiirustuksessa 2 poikkipalkit, valopylväät, kaiteiden pulttiryhvät, tippuputket ja pintavesiputket ovat mitoitettu tukilinjalta T1. Mitat on ilmoitettu millimetreinä. Käytännön mittauksessa mitattiin vertailulinjalla, jonka muodostivat tukilinja T1 ja vaaka-etäisyys sillan keskilinjasta.

5.4 Laatuvaatimukset

Crusellin silta on Sillanrakentamisen yleisten laatuvaatimusten alainen (SYL). Yleisesti laatuvaatimuksella tarkoitetaan jotain ohjearvoa tai raja-arvojen välissä olevaa aluetta. Laatuvaatimukset voivat olla myös sanallisia laadun määrittelyitä. Valmiin rakenteen pitää olla suunnitelmien mukaisissa mitoissa. Sillan jokaisen osan on täytettävä niitä koskevat laatuvaatimukset erikseen. (Liite 2.) SYL:ssa määritetään vaatimukset muun muassa sillan alikulkukorkeudelle, jännemitoille, rakenneosien kaltevuuksille, reunapalkeille ja hyödylliselle leveydelle. Esimerkiksi sillan hyödyllisen leveyden suurin sallittu poikkeama eli toleranssi on + 60 millimetristä – 30 millimetriin. (18, s. 16.)

Poikkeukset

Crusellin sillan rakentamisessa SYL:sta kuitenkin poiketaan siten, että pylonin yläpään lopullinen poikkeama vaakatasossa saa olla ± 50 millimetriä. Myös päällysrakenteen muotopoikkeamaa teoreettisesta sallitaan pääaukossa + 80 millimetristä – 60 millimetriin ja reuna-aukossa + 60 millimetristä – 50 millimetriin. (11, s. 6.)

5.5 Mittauskalusto

Työmaan mittauskalustoon kuuluu rullamittoja, pitkiä mittanauhoja, tasolasereita, putkilaser ja takymetri. Lasereita ja takymetria varten työmaalla on myös kolmijalkoja. Tasolaserit ovat malliltaan TopCon RL-H3C. Työmaalla on ollut käytössä kaksi takymetria. Ensin oli käytössä Trimblen S6, jonka myöhemmin korvasi Trimblen VX. Vaativimpiin ja monipuolisimpiin mittauksiin on käytetty takymetria ja tasolasereita on käytetty lähinnä putkipaalujen katkaisukorkojen merkinnässä ja torninosturiradan korjauksen yhteydessä. Optisia mittauslaitteita eli takymetrejä koskevat SYL:n mukaiset tarkkuusvaatimukset, joten laitteiden jokavuotisessa maahantuojan suorittamassa huollossa ne tarkastetaan ja kalibroidaan. Nämä todistukset ovat työmaalla kaikkien nähtävissä. Maahantuojan tarkastus sisältää seuraavat kohteet:

- nollapistevirhe
- mittakaava eli taajuusvirhe
- kollimaatiovirhe
- indeksivirhe
- tappikaltevuusvirhe
- optinen luoti ja tasaimet. (20.)

5.5.1 Trimble S6

Trimblen S6 on nykyaikainen täyselektroninen takymetri, jolla voi mitata robottina tai prismattomasti laserin avulla. Trimblen S6 oli pitkään käytössä työmaalla ennen kuin se korvattiin uudella VX-mallilla. Trimblen S6 sopii vaivattoman ja monikäyttöisen käyttöliittymänsä takia siltatyömaalle hyvin. Merkintää helpottamaan S6:ssa on mahdollista käyttää näkyvää laseria (kuva 12). Mittauksia pystyy Trimblen S6:lla tekemään myös yksin robottiominaisuudella.



Kuva 12. Siipimuurin betonin yläpinnan merkintä laserilla (nuolen osoittama punainen täplä).

5.5.2 Trimble VX

Trimblen VX on S6:n tapaan täyselektroninen takymetri, jolla voi myös mitata robottina tai prismattomasti. Vuoden 2009 loppupuolella työmaan Trimblen S6-takymetri vaihtui Trimblen VX-takymetriin. Vaihto sujui ongelmitta, sillä VX:n käyttöliittymä on sama kuin S6:ssa. S6:n ja VX:n suurimmat erot ovat optiikassa ja ominaisuuksissa. VX on optiikaltaan ja kulmamittaustarkkuudeltaan tarkempi kuin S6. VX:n kulmatarkkuus on 1'' (0.3 mgon), kun työmaan S6:n kulmatarkkuus oli 3'' (1.5 mgon). (21, s. 2; 22, s. 2.)

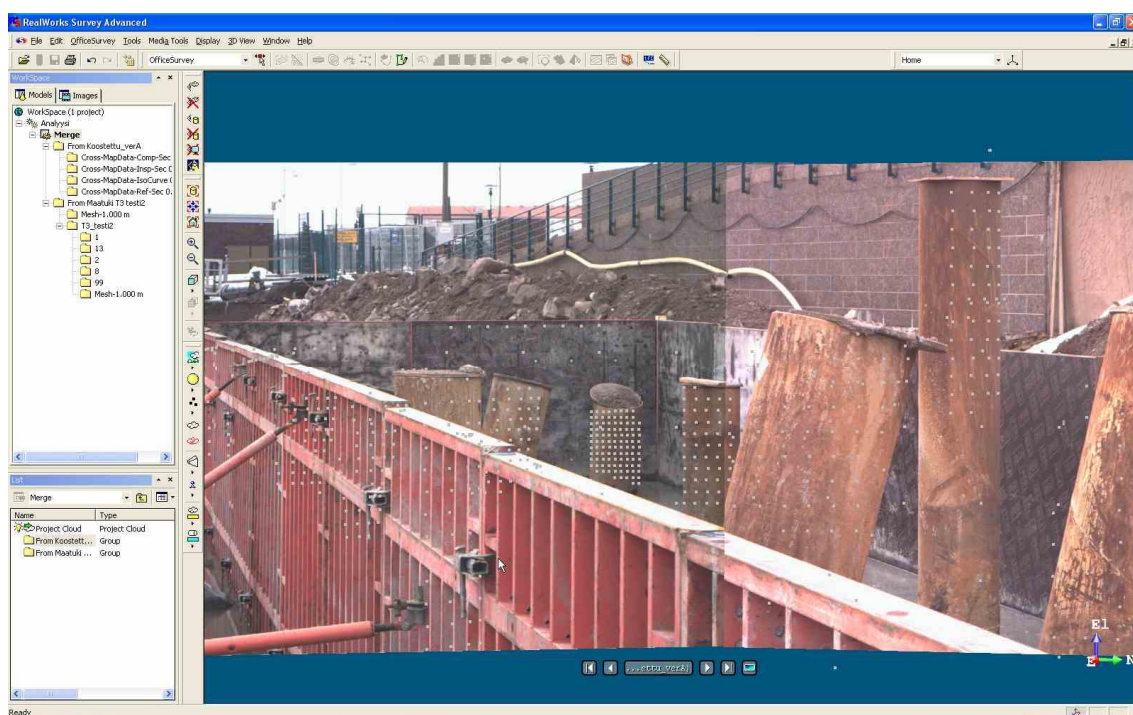
Täysin uutta VX:ssä on se, että se pystyy yhdistämään laserkeilauksen, digitaalisen kuvan ja takymetrimittauksen. VX:llä pystyy laserkeilaamaan pistepilviä, jonka pisteille VX mittaa koordinaatit ja korkeuden. Näitä pistepilviä on sitten mahdollista liittää suoraan BIM-malliin, jolloin voidaan verrata suuriakin kohteita teoreettisen ja toteutuman välillä. Tämä on ollut hyödyksi varsinkin kartoitusten otossa.

Käyttömahdollisuuksia lisää myös mahdollisuus ottaa koordinaatistossa olevia

digitaalisia kuvia, joissa näkyy halutut pisteet tai pistepilvet. On esimerkiksi mahdollista suorittaa merkintää tai kartoitusta pelkästään osoittamalla maastotietokoneen näytöltä haluttua rakenteen kohtaa tai pistettä. Oleellista edellä mainittujen asioiden toimimiselle on orientointi, sillä näin säästytään kuvien ja pistepilvien kierroilta jälkikäteen.

Laserkeilaaminen VX:llä

Laserkeilaaminen VX:llä on helppoa hyvän käyttöliittymänsä takia. Sen jälkeen kun takymetri on pystytetty ja tasattu, voi laserkeilauksen aloittaa. Jos halutaan, että keilattu aineisto on koordinaatistossa, takymetri tarvitsee orientoinnin. Tässä vaiheessa maastotietokoneen näyttö alkaa näyttää takymetrin sisäisen digikameran kuvaa. Kosketusnäytön kuvasta pystyy tällöin osoittamaan joko halutut kohteet tai muodostamaan isomman ruudukon jota keilata (kuva 13).



Kuva 13. Eri ruutukoolla otettuja pistepilviä porapaaluista ja maatuen muotista Trimblen VX:llä otettuna (10, s. 22).

Laserkeilaus VX:llä ei ole yhtä nopeaa kuin uusimmilla laserkeilaimilla. VX:n mittausnopeus on suurimmillaan 15 pistettä sekunnissa kun uusimmissa laserkeilaimissa se on vähintään 50 000 pistettä sekunnissa. Keilaukseen voi myös määrittää ruudukoon

eli pistetiheyden tarvitsemakseen. Keilauksen voi suorittaa myös haluttuna muotona kuten ympyränä, neliönä tai kolmiona. Crusellin siltatyömaalla VX:llä on keilattu mm. maatuen muotin seinä, joka on sitten liitetty BIM-malliin ja näin tarkastettu muotin seinän sijainti. (21, s. 2.)

Hyödyt

Suurimmat hyödyt VX:n käytössä on erilaisten kartoitusten otossa. Myös rakenteiden seuranta on helppoa ja havainnollista, varsinkin jos on ottanut kuvan mitattavasta kohteesta. Käyttökelpoisimmat kohteet VX:n ominaisuuksille ovat tietyö- ja tunnelityömaat, joissa eniten tarvitaan kartoituksia ja lasketaan pinta-aloja. Varsinkin työmailla, joilla suoritetaan louhintaa, on VX:n orientoidulle keilausaineistolle käyttöä. Voikin sanoa, että sillanrakentamisessa VX:n kaikki ominaisuudet eivät pääse parhaimmalla mahdollisella tavalla käyttöön.

5.5.3 Tasolaserit

Työmaalla on käytössä takymetrin lisäksi kaksi kappaletta Topconin RL-H3C tasolasereita. Topconin tasolaserit ovat erittäin helppokäyttöisiä. Niissä on automaattinen itsetasaus eli tasolaser tasaa itsensä aina, kun se on päällä. Myös havainnollisuus on RL-H3C -mallissa hyvä, koska säde on kohteeseen osuessaan näkyvä punainen viiva. Tasolasereita on käytetty työmaalla putkipaalujen katkaisukorkojen merkinnässä ja torninosturin kiskoelementtien saamiseksi samaan tasoon.

5.6 Ohjelmistot

Työmaalla on mittausohjelmistoina käytössä 3D-Win, Autocad ja BIM-mallin käsittelemiseen tarkoitettu Tekla Structures. Mittausohjelmista 3D-Winillä ja Autocadilla käsitellään suurin osa kartoituksista ja mittausaineistoista, ennen kuin niitä lähetetään eteenpäin. Lisäksi VX:n mukana hankittiin Real Works -ohjelmisto pistepilvien käsittelyyn.

Takymetriin syötettävät tiedostot tehdään useimmiten 3D-Winillä. Esimerkiksi 3D-Winin suorakulmaisella laskennalla on ollut kätevää ja aikaa säästävää tehdä omat tiedostot pulttiryhmistä, valopylväistä, tippuputkista ja pintavesiputkista, koska kaikki edellä mainitut on mitoitettu tukilinjalta T1. Toiminnoilla on ensin valittu alkupisteeksi Kellosaarenrannan maatuessa sillan keskilinjalla ja tukilinjalla T1 oleva pääpiste 2. Loppupisteeksi on valittu pääpiste 8 Saukonpaadenrannan maatuesta, joka on myös sillan keskilinjalla. Tämän jälkeen on laitettu b-mitaksi vaakaetäisyys sillan keskilinjasta tippaputkien 6,25 m ja a-mitaksi ensimmäiselle tippaputkelle 0 m. Näin saatu piste on tukilinjalla T1 6,25 m sillan keskilinjasta. Tässä vaiheessa ohjelmaan vain kasvatetaan a-mitan lukua niillä etäisyyksillä, joilla tippaputket ovat toisistaan. Samalla tavalla saadaan tippaputket myös sillan toiselle puolelle, kun vain vaihdetaan b-mitta negatiiviseksi arvoksi eli -6,25 m. Rakenteiden etäisyydet toisistaan ja keskilinjasta käyvät ilmi kannen mittapiirustuksista.

5.7 Mittaustavat

Crusellin siltatyömaalla on käytetty jossain vaiheessa melkein jokaista mittaustapaa eli merkintää, kartoitusta, seuranta ja asennusmittauksia. Mittauksien teossa on täytynyt pitää huolta tarkkuudesta, ja vapaan asemapisteen orientoinnit on suoritettu vähintään kolmen runkopisteen kautta. Melkein kaikkia mittauksia voidaan suorittaa joko robottimittauksena tai prismattomana mittauksena. Mittauksia tehtäessä täytyy aina pitää huoli siitä, että käyttää oikeata prismavakiota ja korkeutta.

5.7.1 Merkintä

Merkintä on yleisin suoritettava mittaustoimenpide Crusellin siltatyömaalla. Suurin osa merkintämittauksista on ollut sillan kannella, johon on merkitty muun muassa tippaputkien, valopylväiden ja kaiteiden pulttiryhmien paikat. Trimblen S6:lla ja VX:llä merkintä sujuu vaivattomasti orientoinnin jälkeen, kun avaa maastotietokoneen kartan ja valitsee kosketusnäytöstä merkittävän kohteen. Tässä vaiheessa maastotietokone ohjaa mittaajaa puheella sekä näyttää suunnan että etäisyyden mihin mennä. Tämä vaatii kuitenkin sen, että aineisto on tehty etukäteen ja tallennettu maastotietokoneelle.

Merkintämittauksella on myös kaivot mitattu paikoilleen. Kaivojen asennusohjeet ovat tulleet suunnittelijoilta selkeinä ohjeina (liite 3). Asennusohjeesta käy ilmi kaivon nimi, numero, koordinaatit (x ja y), korkeus h sekä tulo- ja lähtöputkien suunnat.

5.7.2 Kartoitus

Kartoitus on tavallisempi termi SYL:n vaatimustenmukaisuusmittauksille.

Kartoituksessa mittauksia tehdään valmiista rakenteista laatusuunnitelmien mukaisesti.

Mittaustulokset toimitetaan tilaajan edustajien nähtäville niiden valmistuttua.

Mittaustuloksia on lähetetty myös suunnittelijoille. Mittaustulokset lähetetään tilaajan edustajille ja suunnittelijoille useimmiten sähköisenä ja työmaakokouksia varten tehdään paperitulosteet.

Kartoituksia on tehty muun muassa peruslaatoista, siipimuureista ja kannen korkeusasemasta. Ennen sillan kannen valua, kannen raudoituksen joukkoon asennetut lämpö-, paine- ja liikunta-anturit on myös kartoitettu. Kartoitus tulee helpottamaan antureiden vaihtamisoperaatiota, koska niiden tarkat sijainnit ovat tiedossa.

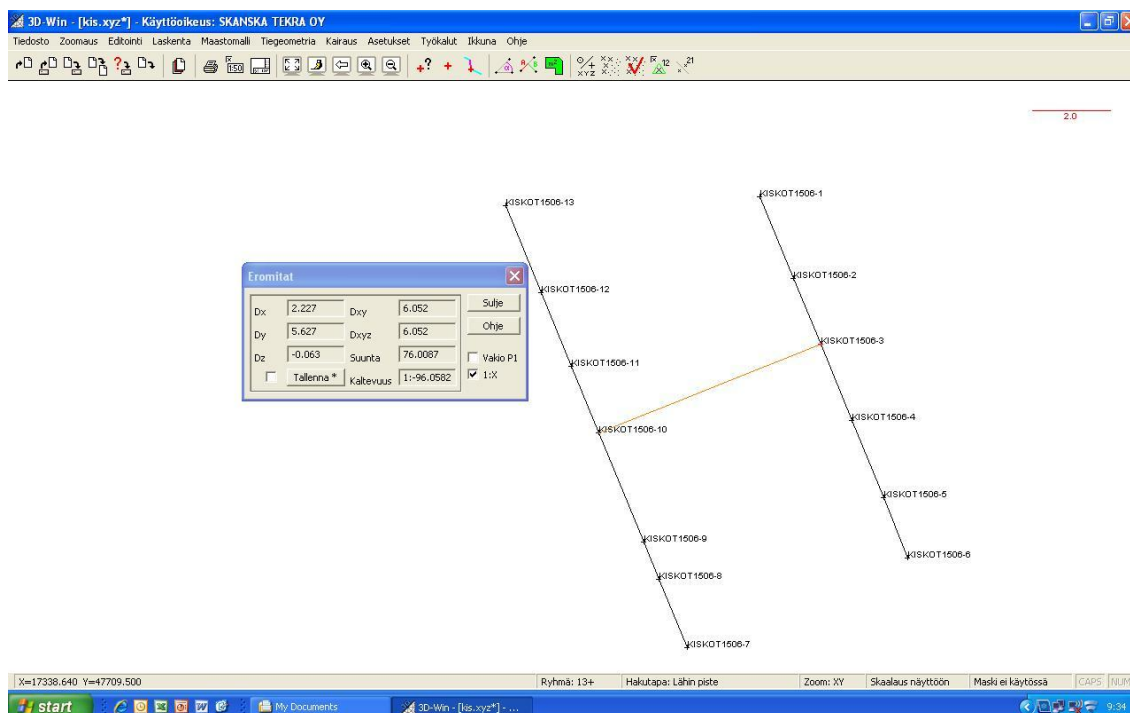
Itse kartoitusohjelma Trimblen S6:ssa ja VX:ssä on varsin yksinkertainen. Ensin takymetri orientoidaan, jonka jälkeen avataan kartoitusohjelma. Tässä vaiheessa ohjelmaan voi antaa pisteelle halutun nimen, numeron ja koodin. Jos kartoittaa prismattomalla mittauksella, kannattaa optiikka tarkentaa kohteeseen mahdollisten virheiden minimoimiseksi. Sitten painetaan vain Tallenna-painiketta ja pisteen x - ja y -koordinaatit sekä korkeus h tallentuvat maastotietokoneelle.

5.7.3 Seuranta

Seuranta on tavanomaisempi termi SYL:n muodonmuutos- ja siirtymämittauksille.

Työmaalla on suoritettu seurantaan liittyen rakenteiden painumiseen. Seuranta tehdään muun muassa sillan korkeusasemasta valuvaiheessa sekä torninosturin kiskojen painumasta. Kesällä 2009, kun työsillan putkipaaluja lyötiin maahan torninosturin radan

vierellä, huomattiin rutiiniseurannassa, että toinen kisko oli painunut toiseen nähden jopa 63 mm (kuva 14). Tässä vaiheessa torninosturi laitettiin käyttökieltoon kiskojen maa-alustan korjauksen ajaksi. Jos painumista ei olisi huomattu, olisi vaaratilanne voinut syntyä. Kiskojen korkeuseron ollessa yli 50 mm maksimikuormien nosto ääriasennosta olisi saattanut aiheuttaa epävakautta torninosturin alustaan.



Kuva 14. Torninosturin kiskojen korkeusero $dh -0.063$ metriä.

Seurantaan tullaan tekemään myös sillan köysien jännittämisen aikana ja sillan kokonaan valmistuttua. Köysien jännittämisen aikaan asennetaan mittamerkit köysien ankkurien kohdalle sillan molemmille puolille kansilaatan pintaan. Myös pyloniin kiinnitetään mittamerkkejä. Mittauksia tehdään ennen köysien jännitystä ja jännittämisen aikana. Jännittämisen aikana ohjataan itse jännittämistapahtumaa reaaliaikaisesti, kunnes kaikki köydet on jännitetty niin, että sillan kansi on ennalta suunnitelluissa arvoissa (kuva 11). Mittamerkkien on oltava siten sijoitettu, että mittauksia voidaan tehdä sillan valmiista rakenteesta. (11, s. 7.)

5.7.4 Asennusmittaus

Yksi mielenkiintoisimmista mittauksista työmaalla on ollut sillan köysien ankkuriputkien eli niin sanottujen tykinputkien asennusmittaukset (kuva 15). Mittauksia valmisteltiin niin, että maastotietokoneelle tehtiin tiedosto, jossa oli tykinputkien ala- ja yläpään keskipisteet. Ensin tykinputkien alapää mitattiin merkinnällä kannen pohjaan, johon timpurit tekivät kolon putkille.



Kuva 15. Tykinputkien asennus.

Tykinputkien asennuksen alkaessa muodostettiin vertailulinja alapään pisteestä yläpään pisteeseen. Tässä vaiheessa kohdistettiin takymetri osoittamaan prismattomalla mittauksella tykinputken suulla olevaan levyyn ja etsittiin kohta, missä maastotietokone näyttää, että vaakaetäisyys linjaan on nolla, linjan paaluluku on nolla ja korkeus on nolla. Näin saadaan tykinputken yläpää kohdalleen. Asennustyö oli kokonaisuudessaan melko työläs, koska putket painoivat 1 000–1 500 kg ja nosturi kannatti niitä koko asennuksen ajan.

6 Yhteenveto

Tämän insinööritoiminnan tarkoituksena oli perehtyä Crusellin siltatyömaahan liittyviin asioihin kuten suunnitelmiin, rakentamiseen, valvontaan ja mittauksiin. Työssä perehdyttiin myös sillan laatua kuvaaviin määräyksiin, toleransseihin ja sillan rakenteeseen. BIM-mallin käyttöä tutkittiin ja todettiin, että siitä tulee vielä olemaan hyötyä, kunhan ohjelman käyttöliittymää saadaan kevyemmäksi ja suunnitteluaineiston yhteentörmäykset pois.

Crusellin sillalla käytettyä mittaustekniikkaa ja mittausperiaatteita esitettiin esimerkein ja kerrottiin miten säädettyihin tarkkuuksiin päästään. Insinööritoiminnassa käsiteltiin myös Trimblen uuden takymetrin VX:n ominaisuuksia, käyttöä ja käyttömahdollisuuksia. Käytöstä selvisi, että VX on parhaimmillaan infratyömailla, joilla on paljon erilaisten tarkkeiden ottoa.

Tätä insinööritoimintaa kirjoitettaessa Crusellin sillan kansi on saatu valettua (kuva 16). Silta ei ole vielä kokonaan valmis, joten sillan kannen käyttäytyminen jännitysvaiheessa jää vain teoriapohjalle. Jännitysvaiheessa sillan kanteen kohdistuu suurimmat voimat, joten sen käyttäytyminen saattaa olla odottamatonta.



Kuva 16. Crusellin silta 12.4.2010

Lähteet

- 1 Länsisataman suunnitelmat. (WWW-dokumentti.) Helsingin kaupunki.
<http://www.hel.fi/wps/portal/Kaupunkisuunnitteluvirasto/Artikkeli?WC_M_GLOBAL_CONTEXT=/ksv/fi/Ajankohtaiset+suunnitelmat/Projektialueet/Lansisatama>. Luettu 11.1.2010.
- 2 Helsingin kaupunki. Jätkäsaari. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.uuttahelsinkia.fi/jatkasaari>>. Luettu 11.1.2010.
- 3 Helsingin kaupunki. Jätkäsaaren historia. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.uuttahelsinkia.fi/jatkasaari/perustiedot/historia>>. Luettu 11.1.2010.
- 4 Kruhse, Pauli. Helsingin historiallinen kartta. (WWW-dokumentti.)
<<http://jaukia.kapsi.fi/historicalhelsinki/>>. Luettu 12.1.2010.
- 5 Skanskan perustiedot. (WWW-dokumentti.) Skanska Oy
<www.skanska.fi>. Luettu 14.1.2010.
- 6 Skanskan elinkaarimalli. (WWW-dokumentti.) Skanska Oy.
<<http://www.skanska.fi/fi/Tuotteet-ja-palvelut/Elinkaarihankkeet/Miten-elinkaarimalli-toimii/>>. Luettu 20.1.2010.
- 7 Crusellin silta, Urakkarajaliite kokonaisurakka. Helsingin Kaupunki.
Helsinki, 2008.
- 8 Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998. Helsinki: Rakennustieto Oy, 1998.

- 9 Crusellin silta. (WWW-dokumentti.) WSP Suomi Oy.
<<http://www.wspgroup.com/fi/Tervetuloa-WSP-Finlandin-sivuille/Sektorit/Projektit/Liikenne-ja-infrastruktuuuri/Crusellin-silta-Helsinki-/>>. Luettu. 22.1.2010
- 10 Laine, Enni. Skanska Infra, Crusellin silta. PowerPoint-esitys. Helsinki, 2009.
- 11 WSP Suomi Oy. Crusellin silta, siltakohtainen työselitys. Helsinki, 2008.
- 12 Crusellin sillan yleiskuva, WSP Suomi Oy. (WWW-dokumentti.) Tekla Oy. <http://www.tekla.com/fi/model-comp/PublishingImages/Crusellin_silta_1.jpg>. Luettu 2.2.2010.
- 13 Asikainen, Niko; Tarkkio, Tarmo. Skanska Infra, Crusellin silta. PowerPoint-esitys. Helsinki, 2009.
- 14 Rekilä, Matti. Skanska Infra, Crusellin silta. Suullinen tiedonanto. Helsinki, 2010.
- 15 Käkönen, Tapio. Tak-Plan Ky, Crusellin silta, Alatelineen paalutus tukiväli T1–T2. Nastola, 2008.
- 16 Käkönen, Tapio. Tak-Plan Ky, Crusellin silta, Alatelineen paalutus tukiväli T2–T3. Nastola, 2008.
- 17 Käkönen, Tapio. Tak-Plan Ky. Crusellin silta, Siltakannen muotituspiirustus. Nastola, 2009.
- 18 Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Yleinen osa – SYL 1: toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki: Tiehallinto, 2005.

- 19 WSP Suomi Oy. Crusellin silta, Kannen mittapiirustus 2. Helsinki, 2010.
- 20 Geomtrim Oy. Tarkastustodistus, Trimble VX. Vantaa, 2009.
- 21 Trimble VX Total Station Datasheet. (WWW-dokumentti.) Trimble.
<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-348124/022543-261F_TrimbleVX_DS_0110_lr.pdf>. Luettu 23.03.2010.
22. Trimble S6 Total Station Datasheet. (WWW-dokumentti.) Trimble.
<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-208580/022543-098J_TrimbleS6_DS_0110_sec.pdf>. Luettu 23.03.2010.

Liite 1: Skanskan MVR-mittari

SKANSKA

Käsittäm PPL

MVR-mittari
Skanska Infra Oy

Y311-L17

29.12.2006

Projekti / urakka / työnumero Crusellin silta 7216.2438		Pvm 19.2.2010			
Mittausaj					
Muistithan tarkistaa viimeviikon korjattavaa kuittauksia ennen mittauksen aloittamista!					
Mittauskohde	OIKEIN havainnot	Oikein yhteensä	VÄÄRIN havainnot	Väärin yhteensä	Osaideksi
TYÖSKENTELY JA KONEENKÄYTTÖ - suojainien käyttö - riskienotto	15	17		1	
KALUSTO - työkonet ja nostokalu - pienkalusto - sähkötyö - välikalusto	11	26		1	
SUOJAUKSET JA VAROALUEET - puomiseinät - sortumavaara - koneiden varoalueet	11	15		1	
AJO- JA KULKUVÄYLÄT - ulkopuolinen liikenne ja jalankulku - työmaat - kulkutiet	11	7		2	
JÄRJESTYS JA VARASTOINTI - yleisjärjestys - jätteenhoito - varastointien aineiden varastointi	11	11		1	
YHTEENSÄ		Oikein, kpl 76		Väärin, kpl 4	
MVR - TASO =	OIKEIN (KPL)		X 100		
	OIKEIN + VÄÄRIN (KPL)		X 100		
	76		80		95,0 %
Korjattavaa	Vastuhenkilö		Korjattu pvm		
Polttoaineita on varastoitettu astioissa suojan maahan.	Perijäinen				
Hakij-tilauksessa ei tarkastusta ollut.	Perijäinen				
Kulkeutia kannella muutettiin	-11-				
Allekirjoitukset					
Työnantajan edustaja		Työntekijöiden edustaja			

Liite 2: WSP Crusellin silta, esimerkkejä sillan laatuvaatimuksista

CRUSELLIN SILTA /Helsinki Sillan laatuvaatimukset
Laati: Antti Karjalainen 28.3.2008

Sivu 2 (23)
Tulostettu: 27.3.2008

7100 SILLAN RAKENTAMINEN JA KORJAAMINEN

7100.1 Valmiin rakenteen mitat

Laatuvaatimus Jännemitta ja ulokkeen pituus. Jännemitta mitataan reunimmaisten laakereiden tai tukipinnan keskikohdalta. Jännemitta on sillan keskilinjaa pitkin mitattu kahden peräkkäisen tukilinjan välinen etäisyys (SYL1-2001)									
Nro 10	Vaat.	Ala -30	Ylä 60	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.7
Laatuvaatimus Kulkukorkeus.									
Nro 50	Vaat.	Ala -50	Ylä	Yks mm	Ty 1	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.9
Laatuvaatimus Hyödyllinen leveys. Leveys mitataan siipimuurien uloimmista päistä, tukien kohdalta, aukkojen keskeltä ja sillan kapeimmalta kohdalta.									
Nro 60	Vaat.	Ala -30	Ylä 60	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.3
Laatuvaatimus Ajoradan leveys sillalla. Leveys mitataan siipimuurien uloimmista päistä, tukien kohdalta, aukkojen keskeltä ja sillan kapeimmalta kohdalta.									
Nro 70	Vaat.	Ala -30	Ylä 60	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.3
Laatuvaatimus Korotetun jk- ja pp-tien leveys. Leveys mitataan siipimuurien uloimmista päistä, tukien kohdalta, aukkojen keskeltä ja sillan kapeimmalta kohdalta.									
Nro 80	Vaat.	Ala -30	Ylä 60	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.3
Laatuvaatimus Sillan muoto poikkeama pystysuunnassa. Ks. siltakohtainen työselitys									
Nro 90	Vaat.	Ala	Ylä	Yks	Ty 1	Tt	Pa 1	Viite	SYL1.2.4
Laatuvaatimus Sillan ja reunapalkin muoto poikkeama vaakasuunnassa.									
Nro 130	Vaat.	Ala	Ylä 100	Yks mm	Ty 1	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.6
Laatuvaatimus Sijainti pystytasossa. Tarkastetaan tarkkailutappien kohdalta.									
Nro 150	Vaat.	Ala -40	Ylä 40	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.2.1
Laatuvaatimus Sijainti vaakatasossa. Tarkastetaan suunnitelmaan merkittyjen pääpisteiden kohdalta.									
Nro 160	Vaat.	Ala -40	Ylä 40	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.2.2
Laatuvaatimus Rakennososan kaltevuus. Kuitenkin enintään ± 40 mm pinnan ylä- ja alareunan välisenä vaakapoikkeamana mitattuna.									
Nro 170	Vaat.	Ala -0,5	Ylä 0,5	Yks ‰	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.10

7110 SILTOJEN PERUSKUOPPIEN KAIVUT JA LOUHINNAT

Ty = vaatimustyyppi (1 = siltakohtainen, 2 = SYL:n mukainen, 3 = ohjeellinen)

SILAVA 2008

Tt = tarkastustapa (M = mittaus, K = katselmus, T = todetaan, A = ainestodistus ym.), Pa = painoarvo (0,1,2,3,4,5)

Liite 2: WSP Crusellin silta, esimerkkejä sillan laatuvaatimuksista

CRUSELLIN SILTA /Helsinki Sillan laatuvaatimukset
Laati: Antti Karjalainen 28.3.2008

Sivu 4 (23)
Tulostettu: 27.3.2008

Laatuvaatimus Kaltevan paalun horisontaalisuunnan poikkeama.									
Nro 50	Vaat.	Ala -5	Ylä 5	Yks o	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	TPO
Laatuvaatimus Paalun materiaali.									
Nro 120	Vaat.	Ala	Ylä	Yks	Ty 2	Tt T	Pa 1	Viite	SYL2.8.2.2
Laatuvaatimus Paalujatkosten laatuvaatimukset.									
Nro 140	Vaat.	Ala	Ylä	Yks	Ty 2	Tt T	Pa 1	Viite	SYL2.8.2.2
Laatuvaatimus Paalujen betonitäyttö. Betonin puristuslujuus. Betonin kelpoisuus todetaan kimmovasaralla ja/tai koekappaleilla.									
Nro 150	Vaat.	35	Ala 34	Ylä	Yks MPa	Ty 1	Tt M	Pa 1	Viite SYL3.3.1.5

7134 Teräspaalut, porapaalut

Laatuvaatimus Yksittäisen paalun sijainti.									
Nro 10	Vaat.	Ala -50	Ylä 50	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	PPO
Laatuvaatimus Yksittäisen paalun kaltevuuspoikkeama, pystysuorat paalut.									
Nro 30	Vaat.	Ala -20	Ylä 20	Yks mm/m	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	PPO
Laatuvaatimus Yksittäisen paalun kaltevuuspoikkeama, vinopaalut.									
Nro 40	Vaat.	Ala -20	Ylä 20	Yks mm/m	Ty 1	Tt M	Pa 1	Viite	PPO
Laatuvaatimus Kaltevan paalun horisontaalisuunnan poikkeama.									
Nro 50	Vaat.	Ala -5	Ylä 5	Yks o	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	TPO
Laatuvaatimus Paalun materiaali.									
Nro 120	Vaat.	Ala	Ylä	Yks	Ty 2	Tt T	Pa 1	Viite	SYL2.8.2.2
Laatuvaatimus Paalujatkosten laatuvaatimukset.									
Nro 140	Vaat.	Ala	Ylä	Yks	Ty 2	Tt T	Pa 1	Viite	SYL2.8.2.2
Laatuvaatimus Paalujen betonitäyttö. Betonin puristuslujuus. Betonin kelpoisuus todetaan kimmovasaralla ja/tai koekappaleilla.									
Nro 150	Vaat.	35	Ala 34	Ylä	Yks MPa	Ty 1	Tt M	Pa 1	Viite SYL3.3.1.5

7140 PERUSTUKSET

Laatuvaatimus Yläpinnan korkeusasema. Peruslaatan yläpinnan korkeusasema tarkastetaan nurkkapisteiden kohdalta.									
Nro 10	Vaat.	Ala -50	Ylä 100	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.2.1.1
Laatuvaatimus Peruslaatan sijainti vaakatasossa. Sijainti vaakatasossa tarkastetaan nurkkapisteiden kohdalta.									
Nro 20	Vaat.	Ala -100	Ylä 100	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.2.1.1

Ty = vaatimustyyppi (1 = siltakohtainen, 2 = SYL:n mukainen, 3 = ohjeellinen)

SILAVA 2008

Tt = tarkastustapa (M = mittaus, K = katselmus, T = todetaan, A = aineistodistus ym.), Pa = painoarvo (0,1,2,3,4,5)

Liite 2: WSP Crusellin silta, esimerkkejä sillan laatuvaatimuksista

CRUSELLIN SILTA /Helsinki Sillan laatuvaatimukset
Laati: Antti Karjalainen 28.3.2008

Sivu 6 (23)
Tulostettu: 27.3.2008

Laatuvaatimus Tangon pituussuuntainen poikkeama.									
Nro 50	Vaat.	Ala -100	Ylä 100	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.4.3.2
Laatuvaatimus Betonipeitteen paksuus maata vasten valettavassa pinnassa. Tarkastetaan pienin raudituksen ja pohjan väli ennen valua, raudituksen tuenta tarkistetaan suunnitelman mukaiseksi.									
Nro 60	Vaat.	Ala -25	Ylä	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.2.1.3

7144 Betonointityöt

(vrt. päällysrakenteen työvaihe 7174)

Laatuvaatimus Työsauman teko. Työsauma tehdään ns. pestynä työsaumana. Vaakasuora työsauma karhennetaan esim. harjaamalla betonin pinta sitoutumisen alkuvaiheessa.									
Nro 30	Vaat.	Ala	Ylä	Yks	Ty 3	Tt T	Pa 1	Viite	SYL3.4.4.5

7150 PÄÄTY- JA VÄLITUET

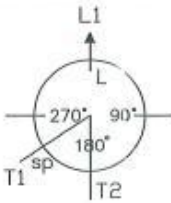
Laatuvaatimus Sijainti vaakatasossa.									
Nro 10	Vaat.	Ala -40	Ylä 40	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.2.2.2
Laatuvaatimus Tuen yläpinnan korkeusasema.									
Nro 20	Vaat.	Ala -20	Ylä 20	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.2.2.2
Laatuvaatimus Sijainti peruslaattaan nähden.									
Nro 30	Vaat.	Ala -60	Ylä 60	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.2.2.2
Laatuvaatimus Kaltevuuspoikkeama.									
Nro 50	Vaat.	Ala -0,5	Ylä 0,5	Yks %	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL1.2.10
Laatuvaatimus Poikkileikkausmitta 500-2000 mm tark.suunn.									
Nro 70	Vaat.	Ala -20	Ylä 20	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	B4 4.2.7
Laatuvaatimus Betonin puristuslujuus, maatuet Betonin kelpoisuus todetaan kimmovasaralla ja/tai koekappaleilla.									
Nro 90	Vaat.	35	Ala 34	Ylä	Yks MPa	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite SYL3.3.1.5
Laatuvaatimus Betonin puristuslujuus, pilarit tuella T2 . Betonin kelpoisuus todetaan kimmovasaralla ja/tai koekappaleilla.									
Nro 91	Vaat.	50	Ala 49	Ylä	Yks MPa	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite SYL3.3.1.5
Laatuvaatimus Betonipeitteen paksuus. Raudoitusta ja työraudoitusta suojaavan betonipeitteen paksuus ei saa missään kohdassa alittaa suunnitelmanmukaista arvoa enempää kuin 5 mm.									
Nro 100	Vaat.	Ala -5	Ylä	Yks mm	Ty 2	Tt M	Pa 1	Viite	SYL3.2.2.4

Ty = vaatimustyyppi (1 = siltakohtainen, 2 = SYL:n mukainen, 3 = ohjeellinen)

SILAVA 2008

Tt = tarkastustapa (M = mittaus, K = katselmus, T = todetaan, A = aineistodistus ym.), Pa = painoarvo (0,1,2,3,4,5)

Liite 3: Kaivojen asennusohje

KAIVO N: 0	SVK3	SIJAINTI	ALICNMENT	PI STATION Sivuet. (+o -v) OFFSET			
MATERIAALI	BETONI		X=17424.579		Y= 47679.867		
KANSI		 <p>L = lähtö T = tulo</p>	TULO- JA LÄHTÖPUTKET				
-korkeus	+4.85		L1	Koko ja materiaali	Kork. cm vesijuoks.	Kulma asteina	Kaato cm/m
-koko	600			Sv 160 PEH/h-PN10	0	0	0.5
-kuormituskestävyys	40TN		T1	Sv sp 315 PE-PN10	209*	236.8	5
POHJA			T2	Tyhjennysputki 110 PEH- PN3,2	117	180	1
-korkeus	-0.35						
-vesijuoks. korkeus	-0.35						
-koko	800						
-pohjakourut							
KOK. KORKEUS CM	520						
-vesijuoksuun	520						
-sakkapesä	0						
MUUT OSAT							

* Korko Sv-suojaputken ulkopinnan (DN) alapintaan

Jakelu 28.01.2009

Ari Kivinen HKV
Matti Rekilä Skanska Oy
Veikko Hautala Skanska Oy