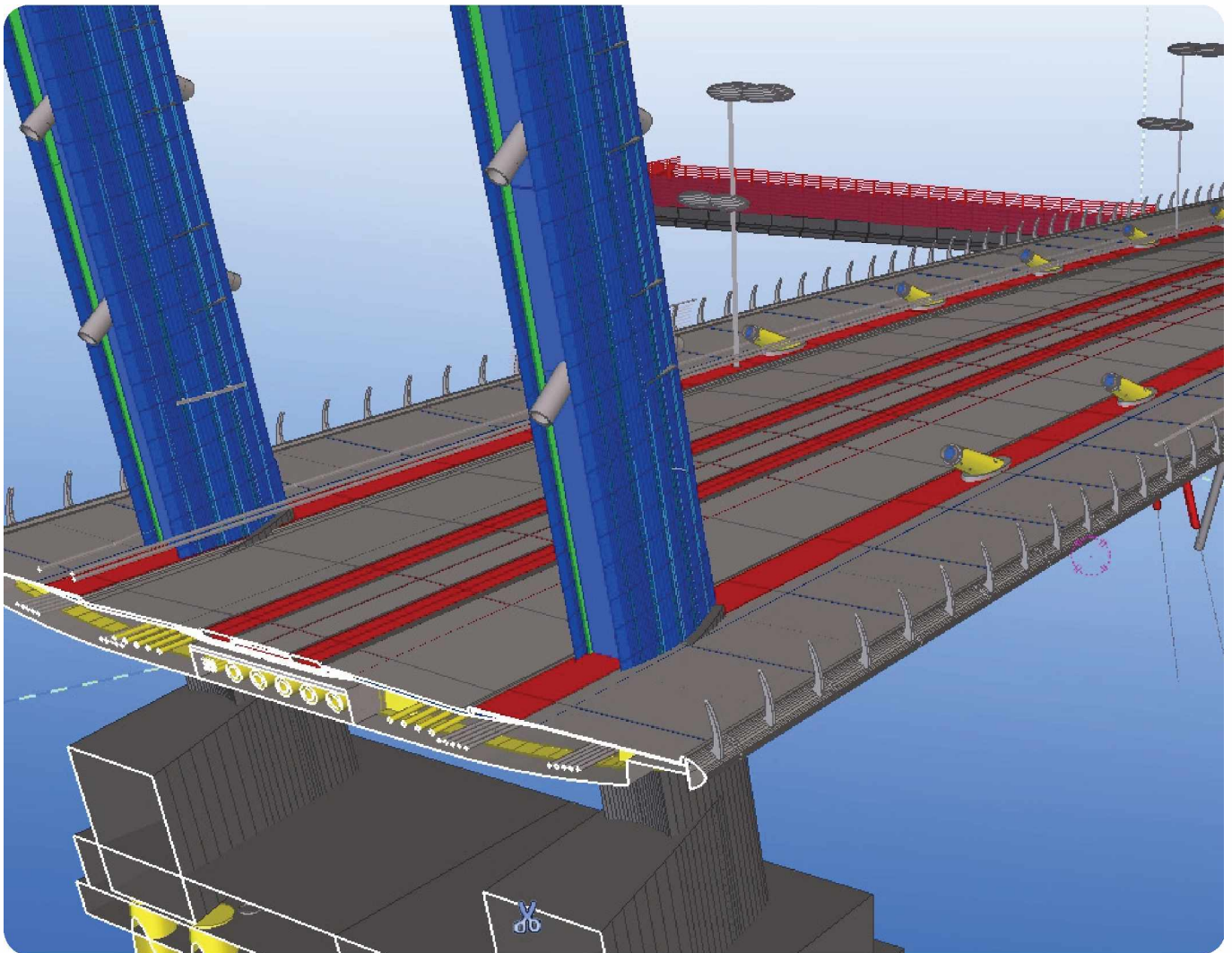


RAUNO HEIKKILÄ (TOIM.)

## Siltojen rakentamisen, korjaamisen ja kunnossapidon automaation kehittäminen (5D-SILTA2)





Rauno Heikkilä (toim.)

# Siltojen rakentamisen, korjaamisen ja kunnossapidon automaation kehittäminen (5D-SILTA2)

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 43/2011

*Kansikuva: Crusellin sillan tuotemalli (WSP Finland Oy)*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-720-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

**Rauno Heikkilä (toim.): Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA2).** Liikennevirasto, väylätekniikkaosasto/taitorakenteet. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 43/2011. 47 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-720-9.

**Avainsanat:** sillat, sillansuunnittelu, mittausmenetelmät, tietotekniikka, rakentaminen

## Tiivistelmä

Suomessa on vuodesta 2001 lähtien tehty jatkuvaa ja tavoitteellista tutkimus- ja kehitystyötä sillanrakentamisen toimintaprosessien kehittämiseksi Älykäs silta-, 5D-SILTA- ja 5D-SILTA2-konsortioprojekteissa. Tämä raportti kokoaa ja dokumentoi vuosina 2007–2010 toteutetun Siltojen rakentamisen, korjaamisen ja kunnossapidon automaation kehittäminen (5D-SILTA2) -konsortioprojektin tuloksia.

5D-SILTA2-konsortion Bridge Finland –osaprojektissa kehitettiin silta-alalle yhteiset tuotemallintamisohjeet, joiden kokeilu ja käyttöönotto voidaan vuoden 2011 alussa aloittaa. PPP5D-projektissa mallinnettiin yleisellä tasolla Kokkola-Ylivieska – kaksoisraiteen rakentamista varten myös siltojen 3D-tuotemallintamisen ja 3D-mittausten hyödyntämistavat ja –mahdollisuudet. Custom components –projektissa tuotettiin siltasuunnittelijoille käyttökelpoisia sillansuunnittelun aputyökaluja. 3D-GPR-projektissa tutkittiin ja kehitettiin siltojen 3D-mittausprosessia. Helsingin Crusellin vinoköysisilta, jossa kehittämistyöt toteuttivat Helsingin kaupungin Rakennusviraston Katu- ja puisto-osasto, Skanska Infra Oy ja WSP Finland Oy, on merkittävin yksittäinen 3D-tuotemallintamisen ja urakoitsijan hyödyntämisen kehittämiskohde. 5D-Vt8 –projektissa kehitettiin ja kokeiltiin väyläsuunnittelun ja sillansuunnittelun integraatiota ja yhteistyötä.

Edellä mainittujen 5D-SILTA2-osaprojektien lisäksi kehittämistyötä on tehty useissa yritysten toteuttamissa kehittämisprojektissa, joista mainittakoon Tekla Oyj:n tekemä kehitystyö Tekla Structures –toiminnallisuuden parantamiseksi, Ponvia Oy:n tutkimus Revit Structure –tietomallintamisen kehittämiseen sekä Destia Oy:n 5D-ST-kehittämisprojekti urakoitsijan toimintamallin kehittämiseksi.

3D-tietomallintamisen ja automaation kehittämisessä ja hyödyntämisessä silta-alalla on vielä paljon tehtävää. Suunnitteluohjelmat, -sovellukset ja -työkalut eivät ole vielä valmiita, vaan niissä on selviä puutteita ja ongelmia. Tuotemallintamisen laajempaa hyödyntämistä suunnittelussa tulisi edistää tarvittaessa myös tilaajan asettamien vaatimuksin. Kehitetty siltojen tietomallintamisohje on yksi askel tähän suuntaan. Väyläsuunnittelun ja sillansuunnittelun välinen tiedonsiirto ja yhteistyö tulisi olla mahdollisimman sujuvaa ja vaivatonta.

Suomessa silta-alan kehittämistyötä tehdään myös juuri käynnistyneessä RYM OY:n PRE –ohjelman InfraFINBIM-työpaketissa, jossa silta-alaan liittyy Oulun yliopiston ns. Bridge Automation –tutkimusprojekti. Jatkotutkimukselle ja –kehitystyölle myös kansainvälinen toimintaympäristö ja yhteistyömahdollisuudet ovat aiempaa paremmat. Siltoihin liittyvien toimintaprosessien, teknologioiden ja –ympäristöjen kehitystyössä Suomen arvioidaan voivan ottaa jopa teknologian kehittäjän ja edelläkävijän roolin.

**Rauno Heikkilä (ed.): Utvecklingen av automationen vid byggande, reparation och underhåll av broar (5D-SILTA2).** Trafikverket, infrastrukturteknik/konstbyggnader. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 43/2011. 47 sidor . ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-720-9.

## Sammanfattning

I Finland har man sedan 2001 inom ramen för konsortieprojekten Intelligent bro, 5D-SILTA\*) och 5D-SILTA2 kontinuerligt och målinriktat undersökt och utvecklat verksamhetsprocesserna inom brobyggnad. I denna rapport har resultaten av konsortieprojektet 5D-SILTA2 (Utvecklingen av automationen vid byggande, reparation och underhåll av broar), som genomfördes 2007-2010, sammanställts och dokumenterats.

I ett av delprojekten, Bridge Finland, som ingår i 5D-SILTA2 konsortiet, har det gjorts upp riktlinjer för en för brosektorn gemensam produktmodellering, som kan testas och tas i bruk i början av 2011. Man har för byggandet av dubbelspåret mellan Karleby och Ylivieska också inom PPP5D-projektet på ett allmänt plan beskrivit sätten och möjligheterna att utnyttja broarnas 3D-produktmodellering och 3D-mätningar. Inom Custom components-projektet har det tagits fram användbara hjälpverktyg för planeringen av broar. I 3D-GPR-projektet undersöktes och utvecklades 3D-mätningssprocessen av broarna. Crusellbron, en snedkabelbro i Helsingfors, som har utvecklats av gatu- och parkavdelningen vid Helsingfors stads byggnadskontor, Skanska Infra Oy och WSP Finland Oy, är det viktigaste enskilda utvecklingsobjektet där man har utnyttjat 3D-produktmodellering och anlitat entreprenör. I 5D-Vt8-projektet utvecklades och testades integration av och samarbete mellan trafikleds- och broplanering.

Utöver de ovan nämnda 5D-SILTA2-delprojekten har flera utvecklingsprojekt genomförts av företagen, av vilka kan nämnas Tekla Oyj:s utvecklingsarbete för att förbättra Tekla Structures funktionalitet, Ponvia Oy:s undersökning för att utveckla informationsmodelleringen Revit Structure samt Destia Ab:s 5D-ST-utvecklingsprojekt för att utveckla en verksamhetsmodell för entreprenören.

Det finns ännu mycket att göra för att utveckla och utnyttja 3D-informationsmodelleringen och automationen inom brosektorn. Planeringsprogrammen, -applikationerna och -verktygen är ännu inte färdiga, utan de har märkbara brister och problem. Man borde utnyttja produktmodellering för planeringen på bredare bas, vid behov också enligt beställarens krav. Den anvisning som har utvecklats för informationsmodellering av broar är ett steg i den här riktningen. Kommunikationen och samarbetet mellan trafikledsplaneringen och broplaneringen borde fungera så lätt och behändigt som möjligt.

I Finland utvecklas brosektorn också i det nyligen startade InfraFINBIM-arbetspaketet som ingår i RYM Oy:s PRE-program. Uleåborgs universitets s.k. Bridge Automation forskningsprojekt hänför sig till brosektorn i detta arbetspaket. Den internationella verksamhetsmiljön och samarbetsmöjligheterna är bättre än tidigare i fråga om fortsatt forskning och utvecklingsarbete. Bedömningen är att Finland till och med kunde inta rollen som utvecklare av teknologin och vara föregångare vid utvecklandet av funktionsprocesser, -teknologier och -miljöer för broar.

**Rauno Heikkilä (ed.): Development of automation into construction, repairing and maintenance of bridges (5D Bridge2).** Finnish Transport Agency, Infrastructure Technology/Engineering Structures. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 43/2011. 47 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-720-9.

## Summary

Since 2001 there has been done continuous research and development work to develop the processes of bridge engineering and construction in Finland. Active work has been done in the projects called Intelligent Bridge, 5D Bridge and 5D Bridge2. This report introduces the results of the last 5D Bridge2 (Development of automation into construction, repairing and maintenance of bridges) project realized in 2007-2010.

In one of the part projects of the 5D Bridge2, i.e., Bridge Finland, general product modeling directions and specifications were developed. The next test phase is scheduled to start from the beginning of 2011. In PPP5D project, the utilization methods and possibilities of 3D product modeling and 3D surveying methods were modeled in a general level. In Custom Components project, many useful design tools were developed for bridge designer. In 3D GPR project, the measuring methods of Ground Penetrating Radar in 3D were studied. The Crusell Bridge in Helsinki City was the most important test case of 3D product modeling and the utilization of this information model in construction work phase. In 5D Vt8 project, the integration of road design and bridge design was studied and tested.

In addition of these part projects, the research and development work was done in several other part projects of 5D Bridge2, of which the work by Tekla Oyj in the development of Tekla Structures software, the study of Revit Structure software by Ponvia Oy, and the development project of Destia to develop the method and process model of Design-Build model utilizing product modeling and automation features was done.

There still remain many lacks and development tasks in the development of 3D data modeling and automation in bridge engineering. The tested design software, applications and tools are not yet ready and completed, instead they include many different lacks and problems. The utilization of product modeling more widely should be supported and even demanded by owners. The first data modeling specification developed in the 5D Bridge2, is one of the important steps towards that direction. The information transfer and communication between road design and bridge design should also be easy and efficient.

In Finland, important research and development work will be done in the new RYM Shok PRE program and the InfraFINBIM work packet, in which so called Bridge Automation project by University of Oulu will be realized. Also possibilities for international research and development work will be better than earlier. In this development area of the new working processes, technologies and environments of bridge engineering, Finland can take the role of main developer and forerunner in the world.

## Esipuhe

Siltojen rakentamisen, korjaamisen ja kunnossapidon automaation kehittäminen (5D-SILTA2) -projekti (2008 - 2010) on jatkoa Älykäs silta (2001 - 2004) ja 5D-Silta -projekteille (2005 - 2007). Nämä hankkeet ovat olleet koordinoituprojekteja alan kanssa yhteistyössä tehdyille kehittämiselle, jossa siltojen 3D-mallintamista on viety eteenpäin sekä suunnittelu- että toteutumamallien osalta kohti älykästä tietomallintamista ja siltojen automatisoitua rakentamista.

Varsinaisen 5D-Silta2 -projektin rahoittajina ovat olleet Tiehallinto ja Ratahallintokeskus (yhdistyneet vuoden 2010 alusta osaksi Liikennevirastoa) sekä Helsingin kaupunki. Pääkonsulttina projektissa on toiminut Oulun Yliopiston Rakennusteknologian tutkimusryhmä, projektipäällikkönä TkT Rauno Heikkilä.

Projektin ohjausryhmässä ovat olleet edustettuina koordinoituprojektin rahoittajien lisäksi kaikkien konsortio-osapuolien edustajat: Destia Oy, Skanska Infra Oy, Tekla Oyj, Terrasolid Oy, Geotrim Oy, WSP Finland Oy, Sito Oy, Siltanylund Oy, Ramboll Finland Oy, Finnmap Consulting Oy, Ponvia Oy, Vianova Systems Finland Oy, Oy VR-Rata Ab ja A-Insinöörit Oy. Ohjausryhmän puheenjohtajana on toiminut TkL Timo Tirkkonen Liikennevirastosta.

Tässä julkaisussa kuvataan 5D-Silta2 -projektin osaprojektien keskeisimpiä tuloksia. Tärkeänä tuloksena projektista on syntynyt myös ensimmäinen versio Siltojen tietomalliohjeesta (Liikenneviraston ohjeita 8/2011), jota tullaan käyttämään ohjeistuksena siltojen mallipohjaista suunnittelua tilattaessa.

Kiitämme kaikkia konsortion osapuolia yhteistyöstä projektissa.

Helsingissä lokakuussa 2011

Liikennevirasto



# Sisällysluettelo

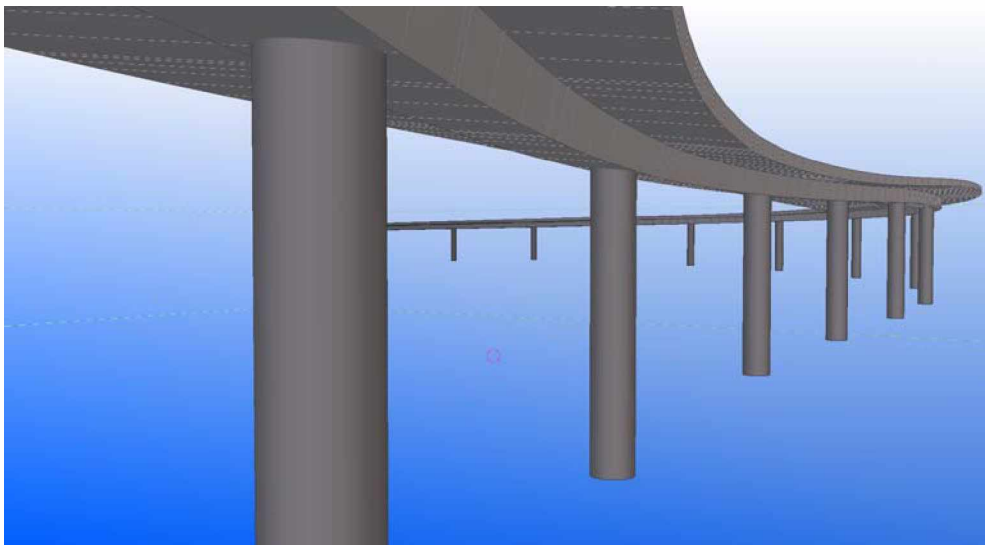
1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tausta .....	8
1.2	Tavoite .....	10
2	TOTEUTUS .....	11
2.1	5D-SILTA2-kokonaisprojektin toteutus .....	11
2.2	Konsortion yhteiset kehittämishankkeet .....	11
2.2.1	Bridge Finland .....	11
2.2.2	PPP5D 12 .....	
2.2.3	Custom components -toteutus .....	12
2.2.4	3D-GPR .....	13
2.2.5	Crusellin silta .....	14
2.2.6	5D-Vt816 .....	
2.3	Yritysten kehittämissuhteet .....	19
2.3.1	Tekla Oyj .....	19
2.3.2	Vianova Systems Finland Oy .....	19
2.3.3	Geotrim Oy .....	20
2.3.4	Ponvia Oy .....	20
2.3.5	Finnmap Consulting .....	20
2.3.6	A-Insinöörit Oy .....	20
2.3.7	Siltanylund Oy .....	21
2.3.8	Destia Oy .....	21
2.3.9	Oy VR-Rata Ab .....	21
3	TULOKSIA .....	23
3.1	Konsortion yhteisten kehittämishankkeiden tuloksia .....	23
3.1.1	Bridge Finland .....	23
3.1.2	PPP5D 23 .....	
3.1.3	Custom components .....	25
3.1.4	3D-GPR .....	26
3.1.5	Crusellin silta .....	28
3.1.6	5D-Vt829 .....	
3.2	Yritysten kehittämissuhteiden tulokset .....	32
3.2.1	Tekla Oyj .....	32
3.2.2	Vianova Systems Finland Oy .....	35
3.2.3	Geotrim Oy .....	35
3.2.4	Ponvia Oy .....	36
3.2.5	Finnmap Consulting .....	38
3.2.6	A-Insinöörit Oy .....	39
3.2.7	Siltanylund Oy .....	40
3.2.8	Destia Oy .....	41
3.2.9	Oy VR-Rata Ab .....	42
4	ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43
	VIITERAPORTIT .....	45
	LÄHDELUETTELO .....	46

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

5D-SILTA2-projekti on jatko projekti 5D-SILTA-hankkeelle (Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen). Projektin toteuttivat Tiehallinto, Ratahallintokeskus, WSP Finland Oy, Siltanylund Oy, Sito Oy, Ramboll Finland Oy, Ponvia Oy, Destia Tieliikelaitos, Skanska Infra Oy, Tekla Oyj, Terrasolid Oy, Geotrim Oy ja Oulun yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Projekti kehitti siltojen tuotemallintamista ja rakentamisautomaatiota. Tuloksista on laadittu Tiehallinnon julkaisusarjassa julkaistu loppu-raportti.

Aikaisemman 5D-SILTA-projektin aikana käynnistettiin yritys vetoisia tuotekehitysprojekteja, joista merkittävimmät olivat Destian ST-siltaurakoinnin kehittämisen 5D-tekniikkaa hyödyntämällä ja WSP Finland Oy:n ja Teklan yhteinen kehittämishanke "5D-siltojen palveluiden kehittäminen kotimaiseen ja kansainväliseen siltakonsultointiin". Projektit jatkuivat edelleen ja pääosa näiden projektien kehittämistyöstä toteutettiin 5D-SILTA2-projektin ajalla.

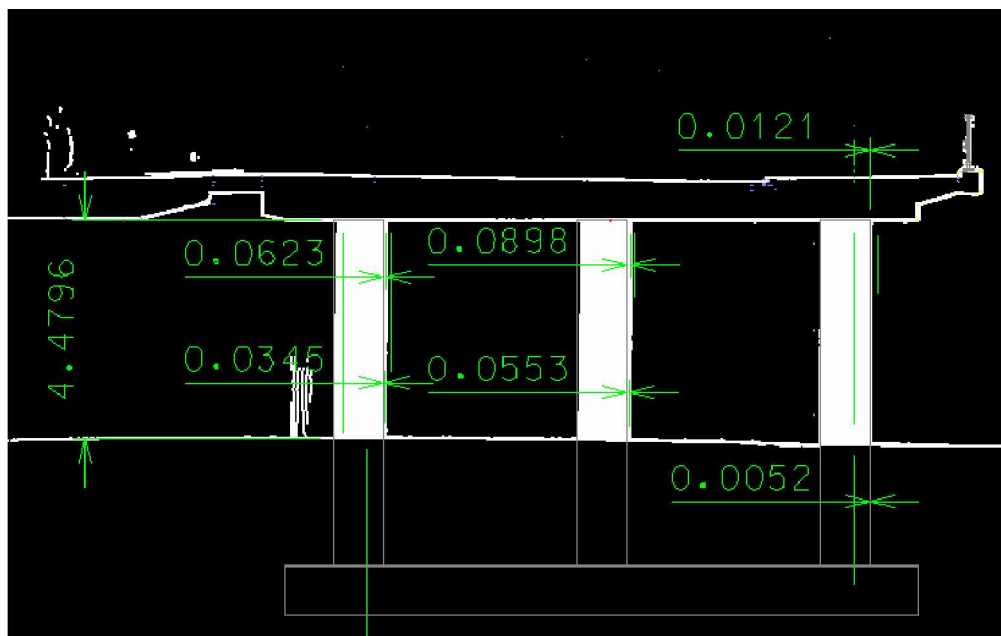


*Kuva 1.1 Tekla Structures -ohjelmalla mallinnettu sillan tuotemalli. Kannen solidimallinnus on suoritettu automaattisesti Xstreet -tiensuunnitteluohjelmasta siirretyn tien 3D-geometriatiedon mukaisesti Teklan projektissa kehittämää uutta .NET-sovellusta käyttäen.*

5D-SILTA-sateenvarjoprojektin tärkeimpinä ja merkittävimminä tuloksina voidaan nostaa esiin tilaajien, mittaajien, suunnittelijoiden, urakoitsijoiden yhteisen tutkimus- ja kehitystyön suunnittelun ja toteutuksen tehostuminen. Projektin johtoryhmä on muodostanut foorumin, jossa alan kehitystyön hidasteita ja esteitä on yksi toisensa jälkeen voitu yhteisen analysoinnin ja eri toimi-joilta saadun tiedon kautta projektoida sopivasti mitoitetuiksi kehittämishankkeiksi ongelmien ratkaisua varten. Uusien mahdollisuuksien ja niiden merkitysten tiedostaminen on johtanut myös taloudellisesti merkittäviin yritys vetoisiin kehittämishankkeisiin, joka on välttämätöntä käy-

tännön työmenetelmien ja toimintatapojen uudistamiseksi. Esteitä ja hidasteita on tunnistettu edelleen lisää, josta syystä yhteistä kehitystyötä kannattaa jatkaa.

5D-SILTA-projektin tuottamista konkreettisista tuloksista mainittakoon uusien työkalujen ja toiminnallisuuksien lisääminen Tekla Structures -suunnitteluohjelmistoon (lukuisat yksittäiset suunnittelutyötä helpottavat parannukset ohjelman toimintoihin, kaarevan tiegeometrian sisäänlukemisen ja automatisoitujen sillan kannen mallintamistyökalujen luominen, laserkeilattujen 3D-pintamallien sisäänlukeminen joko referenssipintoina tai älykkäinä TS-olioina, tulkittujen maaperämallin 3D-pintamallien sisäänlukeminen, raudoitustyökalujen kehitys sekä piirustustuotannon automatiikan parantuminen). Lisäksi testattiin Tekla Structures- ja Solidworks -tuotemallien kytkemistä Terrasolid oy:n MicroStation-ympäristöön toteuttamiin 3D-mittaussovelluksiin. Osa yritysprojektien tuloksista on haluttu jättää luottamuksellisiksi vielä tässä vaiheessa.



Kuva 1.2 Tuotemallin ja laserkeilattun pistepilven vertailua (Kajaanin varikkosilta).

Oulun tiepiirissä toteutettiin 5D-SILTA-sateenvarjohankkeen sijoitetut "Sillanrakentamisen automaatio - case Kajaanin varikkosilta"- sekä " Laserkeilaamalla saadun 3D-pistepilven vertaaminen 2D-siltapiirustusten perusteella mallinnettuun 3D-tuotemalliin (Silta3D)"-kehittämisprojektit. Varikkosillalla tehtiin perusteellinen kokeilu 3D-maalaserkeilauksen kytkemisestä ja hyödyntämisestä sillan 3D-mallintamisessa ja rakennustyön aikaisten muodon-muutosten seurantaan ja kontrolliin. Silta3D-projektissa kokeiltiin vanhojen siltojen 3D-mallintamista 2D-piirustusten perusteella. Mallinnustyön tarkkuutta ja luotettavuutta kontrolloitiin laserkeilaamalla sillanrakentamistyön eri vaiheiden rakenteita.

Silta-alalla on Suomessa käynnissä laaja tuotemallinnusohjelmistojen käyttöönotto suunnitteluun ja myös urakointiin. Yleisimpinä tuotemallinnusohjelmina Tekla Oyj:n Tekla Structures (TS) ja SolidWorks Corporationin Solid-Works CAD (SW). Moni Suomen silta-alan toimijoista on kehittämässä omia tuotemallitoimintatapoja, ja kaikkien toimintatavat ja lopputuotteet ovat tällä hetkellä hieman erilaisia. Esimer-

kiksi jokainen konsultti saattaa toimittaa eri projekteissa kaikille eri urakoitsijoille ja tilaajille. Toiminnan tehokkuuden kannalta ei ole järkevää että jokainen jokaisella on erilaiset toimintatavat ja ohjeet.

Suomessa kannattaa rakentaa yhteinen ”Silta-Suomi-ympäristö”, jossa teknologiaa, mallintamisprosesseja ja mallien hyödyntämistä kehitetään yhdessä. Oman hyödyntämisprosessinsa ja liiketoiminnan kilpailukykyä jokainen toimija rakentaa kuitenkin erikseen. Ilman yhteisiä tuotemallintamistoimintatapoja ja -prosesseja tuotemallintamisen, automaation ja myös piirustustuotannon nopeuden kehittäminen on vaikeaa tai jopa mahdotonta. Ilman suunniteltua yhteisten tuotemalliohjeiden ja -vaatimusten kehittämistä tuotemallintamisen käyttöönotto ei etene hallitusti, vaan kaikki konsultit ja urakoitsijat tekevät päällekkäistä työtä ja lopputulokset ovat jokaisella erilaisia. Yhteistoiminta suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja tilaajien kesken on tämän jälkeen vaikeaa ja tehotonta. Myös tiedonsiirron avoimuutta voi samalla edistää, mutta ongelman ydin ei kuitenkaan tässä projektissa ole tiedonsiirron muodoissa.

Talopuolella Senaatti-kiinteistöjen julkaisemat tuotemallintamisohjeet ovat antaneet talonrakentamiseen yhteisen toimintamallin. Senaattikiinteistöjen ohjeet eivät kuitenkaan ole sellaisenaan sovellettavissa silta-alalle, koska ohjeet ovat suurelta osin alakohtaisia, sillat ja myös niiden tuotemallit ovat rakenteeltaan erilaisia kuin talot ja edelleen niistä puuttuvat mm. infra-alalla välttämättömät lähtötietojen mittaukset ja toteutusvaiheen automaation kytkennät.

Suomessa on käynnistetty Infra TM -sateenvarjohanke, jonka tavoitteena on erityisesti suunnittelun ja rakentamisen tuotemallintamisen edistäminen: avata tuotemallitekniikan tuottajien (tuotesuunnittelu- ja tuotannosuunnittelu-ohjelmistot, mittaus- ja paikannustekniikka, työmaa-automaatio..) järjestelmien rajapintoja ja edistää tiedonsiirron standardiformaattien kehittymistä järjestelmien välille, edistää alan toimijoiden osaamisen kehittymistä sekä tuotemallitekniikan tuntemusta ja käyttöönottoa.

## 1.2 Tavoite

5D-SILTA2-projektin kokonaistavoitteena oli siltojen rakentamisprosessin ja elinkaaren hallinnan kehittäminen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation avulla. Tavoitteena oli kehittää edelleen toimintaketjua 3D-lähtötietomallien ja 3D-tiegeometrian siirtämiseksi sillansuunnitteluun ja edelleen rakentamistyön toteutukseen. Tavoitteena oli myös tutkia ja kehittää tilaajien hankintamenetelmiä mahdollistamaan jatkossa entistä paremmin uuden teknologian käyttö- ja hyödyntämismahdollisuuksia sekä tätä kautta tehostaa ja nopeuttaa silta-alan uudistumista ja kehittymistä.

## 2 Toteutus

### 2.1 5D-SILTA2-kokonaisprojektin toteutus

5D-SILTA2-projekti toteutettiin sateenvarjohankkeena, johon kuuluivat Oulun yliopiston koordinoitiosuus, Custom components -projekti, muut yhteiskehitysprojektit sekä yritysveltoiset tuotekehitysprojektit. Projekti teki yhteistyötä Kalifornian yliopiston siltatutkauksen tutkimusprojektin (UC Davis, Bridge GRP Research Project, yhteyshenkilönä Dr. Ty Lasky, rahoittajana California Department of Transportation Caltrans) kanssa. Lisäksi jatkotutkimusyhteistyötä suunniteltiin prof. Bahram Ravanin (UC Davis) ja Dr. Larry Orcuttin (California Department of Transportation) kanssa.

Projektiin osallistuivat (yhteyshenkilöt suluisissa):

- Liikennevirasto, Tiehallinto (Timo Tirkkonen, Markku Nousiainen, Heikki Lilja, Juha Noeskoski), Ratahallintokeskus (Harri Yli-Villamo)
- Helsingin kaupunki, Rakennusvirasto, Katu- ja puisto-osasto (Peter Henny, Ville Alajoki)
- Oulun yliopisto (Rauno Heikkilä, Teemu Kivimäki)
- WSP Finland Oy (Antti Karjalainen, Kirsi Hänninen)
- Siltanylund Oy (Risto Hättinen, Heikki Myllymäki)
- Sito Oy (Esko Rechart, Ari Kouvalainen)
- Ramboll Finland Oy (Ilkka Vilonen, Teemu Anttila)
- Ponvia Oy (Kari Kuusela)
- Destia Oy (Ari-Pekka Olkkonen, Minna Salonsaari)
- Skanska Infra Oy (Kyösti Ratia)
- Tekla Oyj (Thomas Grönholm, Sampo Pilli-Sihvola, Matti Juusela)
- Terrasolid Oy (Esa Haapa-aho)
- Geotrim Oy (Kari Olkkonen)
- Finnmap Consulting Oy (Pertti Kaista)
- A-Insinöörit Oy (Vesa Järvinen, Mauri Kuvaja, Antti Pekkala)
- Roadscanners Oy (Anja Pälli, Timo Saarenketo)
- Oy VR-Rata Ab (Risto Parkkila, Kimmo Laatonen)
- FutureCAD Oy (Janne Virtanen, Pekka Vähäkainu)
- Vianova Systems Finland Oy (Heikki Halttula, Tuomas Hörkkö)

### 2.2 Konsortion yhteiset kehittämishankkeet

#### 2.2.1 Bridge Finland

Bridge Finland -projektin tavoitteena oli siltujen yhteisten tuotemallintamisohjeiden ja piirustusdokumentaation kehittäminen (ns. SILTA-SUOMI-ympäristö) sekä tavoitteeseen tarvittavan kansainvälisen tiedonvaihdon varmistavan tutkimus- ja kehitysyhteistyön tekeminen, erityisesti rinnakkainen kehitysyhteistyö Kalifornian UC Davisiin ja Caltransin kanssa. Lisäksi tavoitteena oli Tekla Structures ja SolidWorks -siltatuotemalliympäristöjen ja -prosessien kehittäminen.

### 2.2.2 PPP5D

Ratasiltoja koskeva PPP5D-kehittämiprojekti suunniteltiin erikseen yhteistyössä Ratahallintokeskuksen kanssa. Kehittämistoimien pilotointimahdollisuus tunnistettiin Kokkola-Ylivieska-rataosuuden Public Private Partnership (PPP) -mallilla toteutettavassa rakennusprojektissa. Tavoitteena oli kehittää ja kokeilla ratasiltojen uudis- ja korjausrakentamishankkeessa:

- a) lähtötietojen mittausten menetelmiä (3D-laserkeilaus, 3D-siltatutkaus) ja niiden hyödyntämistä suunnittelu- ja toteutusvaiheissa
- b) tuotemallintamiseen perustuvaa ratasiltojen suunnittelua
- c) urakoitsijan mahdollisuuksia hyödyntää 5D-tuote- ja -toteutumamalleja rakentamistyössä
- d) toteutusvaiheen laadunvalvontaa 5D-teknologioita hyödyntämällä
- e) ratasiltojen 5D-kokonaistoimintaprosessia sekä tutkia 5D-ratasiltarekisterin uudistamisen lähtökohtia

Tavoitteena oli yhteistyössä rakennuttajakonsultin kanssa saavuttaa osavaihekohtaisia vaatimuksia, joilla automaation ja uuden teknologian käyttöönotto nopeutuu. Jatkotavoitteena oli, että vaatimukset sisällytetään tarjouspyyntöihin ja näin toimijat voivat kukin tarjouksessaan esittää omia ratkaisujaan niiden toteuttamiseksi. Arvioitiin, että testauskohde luo yrityksille tarvittavat konkreettiset automaatioteknologian kehitys- ja testausmahdollisuudet.

### 2.2.3 Custom components -toteutus

Tiesiltojen mallinnuksessa käytettävien 3D-komponenttien kirjaston luomisen (Custom components) tavoitteena oli luoda riittävän kattava tiesilloissa käytettävien komponenttien kirjasto, joka julkaistaan käytettäväksi kaikille siltojen mallinnuksen kanssa toimiville tahoille. Komponenttikirjasto tallennetaan sekä yleisesti käytettävään tiedostomuotoon (DWG, DGN) että Tekla Structures Custom Component -kirjastoksi. Projekti toteutettiin 1.10.2007-30.6.2008.

Koska siltojen mallinnustyökaluja tehtiin ensimmäistä kertaa ja suurin osa tekijöistäkin oli ensikertalaisia, komponenteissa tyydyttiin ulkonäön ja piirustusten laatimisen kannalta riittävään tasoon. Komponentit sisältävät tyyppiosien 3D-kappaleet sekä riittävän tarkkuuden osien esittämiseen piirustuksissa. Tarkemman määrälaskennan ja valmistuksen vaatima detaljointi päätettiin jättää mahdolliseen jatkoprojektiin.

Projektin rahoittajina toimivat Tiehallinto, Rautaruukki Oyj sekä siltakonsultit omalla työpanoksellaan. Tekla Oyj luovutti yritysten käyttöön tarvittavat lisenssit ja järjesti käyttökoulutuksen. Projekti oli jaettu välitavoitteisiin ja vaiheistettiin kokouksilla, jotta projektin onnistunut läpivienti sekä komponenttien yhtenäinen ilme ja käytettävyys taattaisiin. Projekti käynnistettiin 1.10.2007 ja siihen osallistuivat, WSP Finland Oy, Siltanylund, Sito Oy, Ramboll Finland Oy, Destia Oy, Ponvia Oy, Tekla Oyj, Rautaruukki Oyj, Tiehallinto ja Oulun yliopiston rakentamisteknologian tutkimusryhmä.

Projekti aloitettiin kartoittamalla siltojen yleisimmät osat, joiden komponenteiksi muuttaminen nopeuttaisi siltojen mallintamista. Tämän jälkeen arvioitiin komponenttien vaatima työmäärä ja jaettiin ne tasapuolisesti osallistuneille yrityksille. Tekla Oyj järjesti kaikille osallistujille Tekla Structures Custom Components -koulutuksen.

Projektissa laadittaviksi komponenteiksi valittiin Tiehallinnon käyttämiä tyyppiosia: kuivatuslaitteet (tippuputket, pintavesiputket), kaiteet (H2-tyyppikaide, yleisimmin käytettävät betonikaiteet, jotka ovat myös tyyppipiirustusten mukaisia), liikuntasaumalaitteet (ns. TIEH-tyypin liikuntasaumalaitteet, siirtymälaatat (Tiehallinnon siirtymälaattojen tyyppirakenteet), valaisimet (upotettavat valaisimet, pylväsvalaisimet), laakerit ja jänneankkurit. Lisäksi projektiin sisällytettiin Rautaruukki Oyj:n teräsiltoihin liittyvät detaljit: hitsatun poikkipalkin liitos, pultatun poikkipalkin liitos, poikkiristikko tai liitokset, vaarnamitoitus ja lisälevyn pää.

Projektin seuraavassa vaiheessa yritysten konsultit esittelivät omat komponenttinsa johtoryhmälle. Tämän jälkeen suoritettiin työkalujen yleistarkastus ja konsultit kehittivät komponenttejaan johtoryhmän antaman palautteen mukaisesti. Laaduntarkastus suoritettiin ristiintarkastusmenetelmällä, jossa konsultit tarkistivat toistensa kehitystyön tulokset testaamalla toisten tekemiä komponentteja. Custom Components – työkalujen viimeistely tapahtui ristiintarkastuksesta saadun palautteen perusteella. Lopuksi Tekla Oyj suoritti tulosten teknisen testauksen ja tarkisti, että komponentit ovat ulkoasultaan yhteneviä.

#### 2.2.4 3D-GPR

3D-GPR-tutkimuksessa kokeiltiin laserkeilaamalla mitatun 3D-pistepilven ja siltatutkalla (Ground Penetrating Radar, GPR) mitatun 3D-pistepilven yhdistämistä ns. multidimensionaaliseksi tietomalliksi. Tällaista 3D-yhdistelmämallia voidaan tarkastella ja hyödyntää mittaustulosten keskinäisessä vertailussa, verrata mittauksia suunnittelijan luomaan 3D-tuotemalliin sekä hyödyntää eri tavoin myös sillan myöhemmissä ylläpito- ja korjausprosesseissa.

Kajaanin varikkosillan laserkeilaukset suoritettiin Zoller+Fröhlich Imager 5006 – laserkeilausjärjestelmällä sekä siltatutkaukset Geophysical Systems Inc:in (GSSI) tutkauskalustolla 1,5 GHz ja 2,6 GHz antennilla käyttäen RTK-GNSS-menetelmää tutkan paikantamiseen sillan 3D-koordinaatistojärjestelmässä. Lisäksi kokeiltiin uutta IDS:n (Ingegneria Dei Sistemi) tutkauskantennia.



Kuva 2.1 Sillan kansi tutkattiin kokeeksi myös uudella IDS:n mittauskalustolla.



### 2.2.5 Crusellin silta

Crusellin silta oli Helsingin kaupungin rakennushanke, jossa läntisen Helsingin Ruoholahden ja Jätkäsaaren välille rakennettiin silta ajoneuvo-, raitiovaunu ja kevyelle liikenteelle. Pääsuunnittelijana kohteessa oli WSP Finland Oy. Pääurakoitsijana toimii Skanska Civil Oy. Ruukki toimi kohteen teräsrakenteiden valmistajana. Kohteen arvioitu budjetti oli noin 15 M€. Silta on toteutettu vinoköysiratkaisulla. Sillan kokonaispituus on 143,5 metriä ja hyötyleveys 24,8 metriä. Sillan rakennusmateriaaleina on käytetty terästä ja betonia.



Kuva 2.2 Crusellin silta.

Sillan suunnittelukilpailu alkoi vuonna 2001. Rakennustyöt alkoivat keväällä 2008 ja valmistuminen on aikataulun mukaan vuoden 2010 lopulla. Crusellin sillan suunnittelussa tietomallinnus (BIM) oli hyvin vahvasti mukana. Suunnittelijan laatima tietomalli siirrettiin työmaalle, jossa sitä käytettiin mm. työsuunnittelussa, rakenneosien valmistuksessa ja hankinnassa sekä mittauksissa.

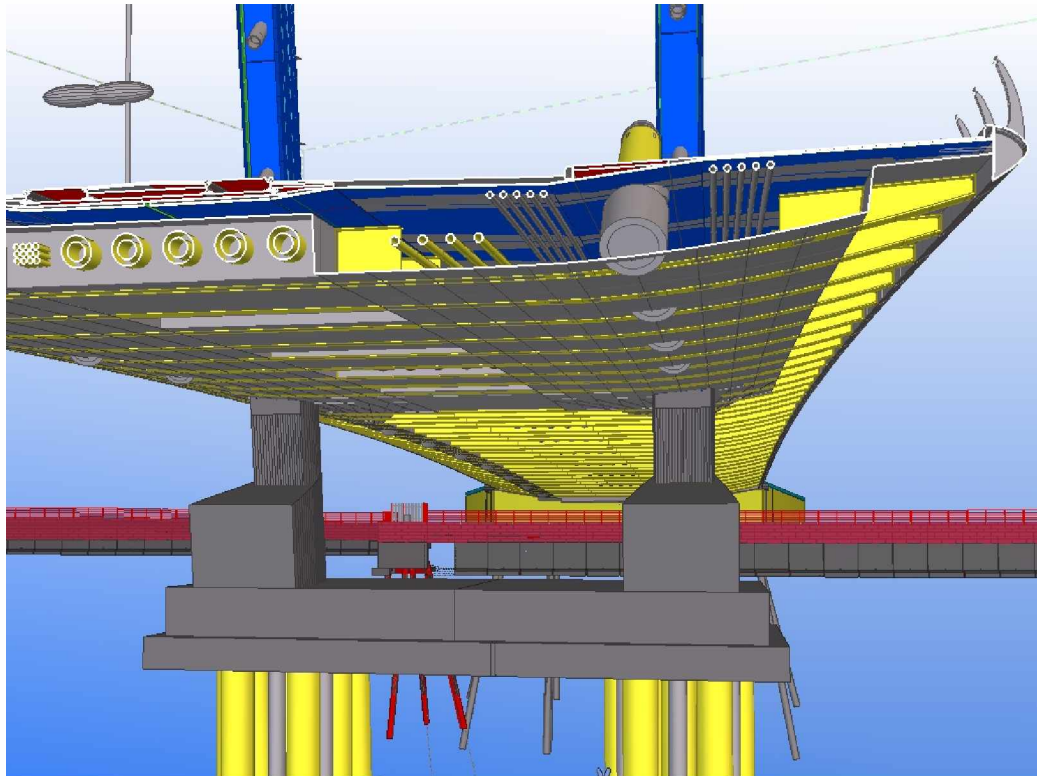
WSP Finland Crusellin sillan rakennesuunnittelijana päätti ottaa tietomallinnuksen käyttöön sillan rakennussuunnittelussa vuonna 2008. Tällöin aiemmin tehdyn alustavan suunnittelun pohjalta laadittiin rakennussuunnitelma urakkalaskentaa varten. Suunnittelu mallintamalla aloitettiin tukirakenteista. Urakkalaskennassa urakoitsijoilla oli käytettävissään suunnitelmapiiirustusten lisäksi maatukien ja pylonin tarkat 3D-mallit. Myös päällysrakenteesta oli 3D-malli. Mallit julkaistiin suunnittelijan web-palvelimelle urakoitsijoiden tutustuttaviksi. Suunnittelijan ehdotuksesta Helsingin kaupungin rakennusvirasto päätti tukea mallinnusta siten, että koko sillasta laaditaan mahdollisimman tarkka tietomalli sisältäen kaikki betonirakenteiden raudoitukset.

Suunnittelun ja rakentamisen aikana hyödynnettiin tietomallinnusta. Vaikka tätä ei ollut alun perin kirjattu määrittelyyn, tuli siitä hankkeen osapuolten pääasiallinen toimintatapa. Silta mallinnettiin Tekla Structures ohjelman avulla. Tämä lisäsi suunnit-



teluun käytettyä aikaa projektin alussa, sillä mallinnuksessa työpiirustuksia voidaan tuottaa vasta kun mallinnus on edennyt riittävän pitkälle.

Rakennusurakan laskentavaiheessa urakoitsija hyödynsi suunnittelijan tuottamaa katselumallia, joka osaltaan helpotti kokonaisuuden hahmottamista tarjousvaiheen aikana. Kun Skanska Civil palkattiin pääurakoitsijaksi, ottivat he tietomallin käyttöön omalta osaltaan tarkoituksena hyödyntää sen mahdollisuudet täysimääräisesti.



Kuva 2.3 Crusellin sillan tuotemalli.

Urakoitsijan valinnan jälkeen yhdessä urakoitsijan asiantuntijoiden kanssa käytiin läpi rakentamistapaan ja rakennerratkaisuihin liittyviä asioita ja tarkennettiin työtapoja mm. teräsrakenteiden osalta. Tämän jälkeen suunnittelija mallinsi koko sillan. Suunnittelu eteni yhtä aikaa rakentamisen kanssa siten, että malli oli valmis noin 2 kuukautta ennen kyseisten rakenneosien valmistusta tai rakentamista.

Työn kuluessa suunnittelija julkaisi sillan tietomalliin tehdyt lisäykset ja tarkennukset pääsääntöisesti viikoittain web-palvelimelleen, josta hankkeen osapuolilla, urakoitsijalla alirakoitsijoinen ja rakennuttajalla, oli mahdollista hakea muuttuva tieto omaan järjestelmänsä. Tällä tavalla tietomallin sisältö oli käytettävissä ennen kuin normaalilla tilaajan tarkastusmenettelyllä toimitetut piirustus- ym. dokumentit.

Koska projektiin osallistui useita eri osapuolia, hyödynnettiin hankkeessa myös tietomallin synkronoitua jakamista. Käytännössä kaikilla osapuolilla oli samanaikaisesti käytössään uusin julkaistu mallitieto. Tämä mahdollisti hankkeeseen liittyvien ongelmien ratkaisun huomattavasti nopeammin verrattuna perinteisiin tapoihin.

Mallin päivittäminen ja synkronointi tehtiin noin viikon välein. Päivitystarve riippui suunnitelmien etenemisestä ja se saattoi olla myös lyhyempi. WSP latasi uudet suunnitelmatiedot palvelimelleen. Skanska päivitti aikataulun osalta tietomallia. Ruukki puolestaan toimitti valmistukseen liittyvät tiedot.

Skanska käytti mallia apuna myös rakentamisvaiheessa työmaalla. Mallin avulla voitiin selvittää monimutkaiset raudoitukset ja muuttityöt ilman suurempia ongelmia. Ruukki puolestaan hyödynsi tuotannossaan Skanskan aikataulua ja pystyi tarpeen mukaan muuttamaan omaa tuotannon aikataulua vastaamaan työmaan tarpeita.

### 2.2.6 5D-Vt8

Valtaosin vielä nykyisin tie- ja siltasuunnittelu tehdään omina kokonaisuuksinaan, joita yhdistävät vain tien geometrialähtötiedot. Siltojen tietomallipohjainen suunnittelu on ratkaisu, joka yhdistää siltasuunnittelun osaksi tien suunnitelmamallia.

WSP Finland Oy yhdessä Tekla Oyj:n ja Vianova Systems Finland Oy:n kanssa toteutivat kehitysprojektin, jossa kehitettiin siltojen tietomallipohjaista suunnittelua osana tien suunnitelmaa. Projekti toteutettiin Liikenneviraston tukemana. Tavoitteena oli kokeilla ja kehittää suunnittelumenetelmiä, joilla sillan tietomallit yhdistetään joustavasti tien suunnitelmamalliin. Pilottikohteeksi valittiin WSP Finland Oy:n toimeksianto ”VT8 Kotiranta-Stormossen” Vaasassa. Kohde sisälsi tien tie- ja rakennussuunnitelman laatimisen sisältäen 9 uutta siltaa.

Projektissa kehitettiin siltojen tietomallipohjaista suunnittelua osana tien suunnittelua. Tavoitteena oli kehittää ja pilotoida ratkaisuita, joilla sillan tietomallit yhdistetään joustavasti tien suunnitelmamalliin. Tiesuunnitelmavaiheessa hankkeen silloista luotiin 3D-mallit, jotka yhdistettiin tiesuunnitelmamalliin. Mallit laadittiin siten, että niistä voitiin luoda koko hankkeen virtuaalimalli sisältäen sillat. Projektissa tutkittiin ja testattiin tiedonsiirtotapoja; siltojen 3D-mallien osalta tarkasteltiin useita tiedostomuotoja (AutoCAD 3D / Novapoint, Tekla Structures).

Rakennussuunnitelmavaiheessa tehtiin kolmen sillan täydellinen rakennussuunnitelma tietomallintamalla. Mallit yhdistettiin tien rakennussuunnitelmamalliin, jolloin voitiin tarkastella rakennussuunnitelmavaiheessa mahdollisesti tapahtuneita muutoksia. Projektissa tutkittiin yleisten tietomallien tiedonsiirtotapojen soveltuvuutta siltoihin (LandXML, IFC), ja sen avulla siltojen tietomallien yhdistämistä tien suunnitelmiin.

Projektissa tehtävä työ kytkettiin meneillään oleviin hankkeisiin, jolloin testausta ja pilotointia voitiin tehdä todellisella suunnitelma-aineistolla. Kytkettävä rakennushanke oli WSP Finland Oy:n suunnittelukohde ”VT8 Kotiranta – Stormossen, tie- ja rakennussuunnitelma”. Hankkeessa on yhteensä 9 uutta rakennettavaa siltaa, jotka sijoittuvat pääosin uudelle tielinjalle. Projektissa tarkasteltiin myös muita meneillään olevia hankkeita, kuten Poikkimaantie-projekti Oulussa.

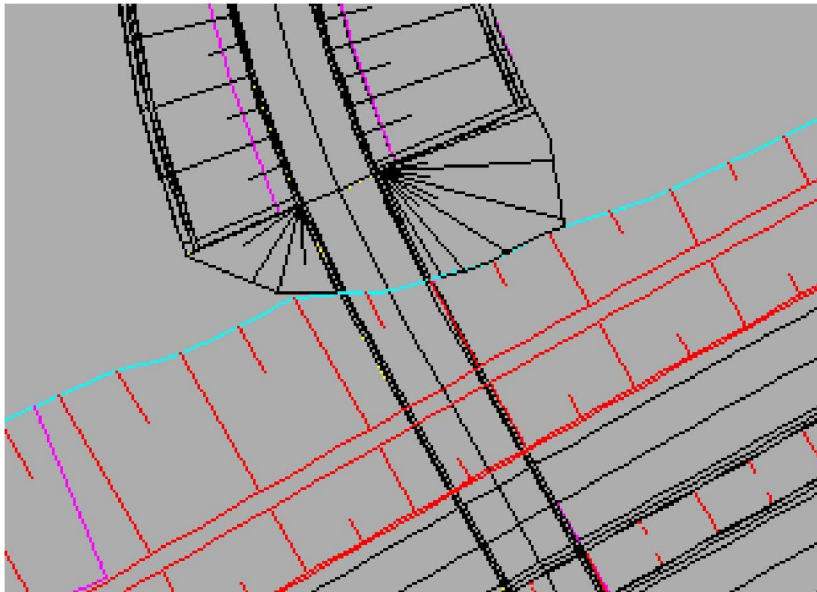
Pääasiallisena tutkittavana kohteena oli Novapoint-tiesuunnittelun ja siltasuunnittelun yhdistäminen ja tiedonsiirron toteuttaminen. Novapoint Road -ohjelmalla tehdyn tiesuunnitelman ja tuotemallin pohjalta tehtiin siltasuunnitelmat Novapoint Bridge -ohjelmalla. Sillan profiili sitoutui tiesuunnitelman väylämalliin sillan kannen osalta joka seuraa tiemalliin tehtäviä muutoksia. Sillan malli luotiin näiden tietojen pohjalta.

Siltojen mallintamisessa kokeiltiin myös muita yleisesti käytössä olevia ohjelmistoja (Tekla Structures, Microstation, AutoCAD). Tekla Structures –ohjelman osalta testattiin ja jatkokehitettiin tiegeometriaan pohjautuvan siltageometrian mallinnustyökalua. Tiesuunnittelu oli tehty WSP:n infratoimialalla, joten käytettiin heidän tekemäänsä tiesuunnitelmatietokantaa. Piirustusten muodostamisessa käytettiin Novapointin Road Professional -, Novapointin Bridge Professional - ja Novapointin Terrain -ohjelmistomoduleja.

Novapoint Bridge Professional tarvitsee lähtötietoina:

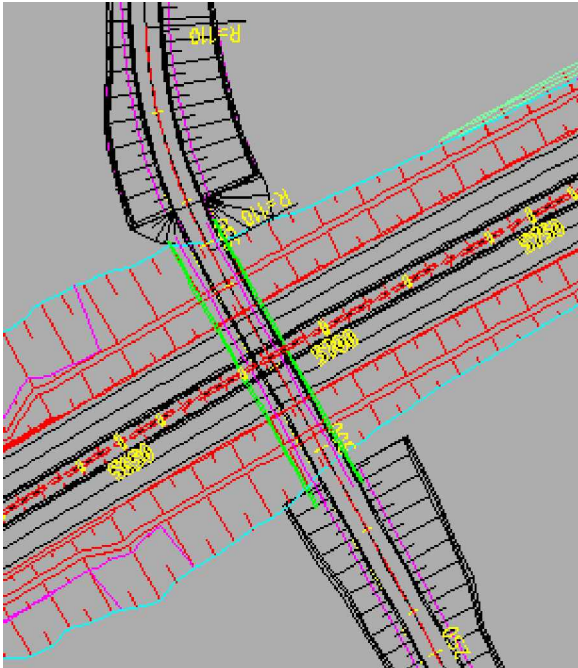
- maastomalli tiesuunnittelijalta ja
- tie-/katulinjojen väylämallit (alittava, ylittävä) tiesuunnittelijalta.

Sillan kannen poikkileikkaus määritettiin piirtämällä ja tallettamalla se poikkileikkauskirjastoon. Mittayksikkönä käytettiin metriä. Sillan pystygeometrian piirtolinjat määritettiin Bridge-sovelluksen toiminnolla piirustukseen. Piirustusten luonnissa voidaan valita poikkileikkauksessa olevat pisteet, jotka haluttiin sivukuvaan tulostaa. Saatuun sivukuvaan suunniteltiin tukien paikat sekä siipimuurien pituus. Sillan lopullinen pituus saatiin sivukuvasta. Lisäksi kaidetolpat lisättiin sivukuvaan ja viimeisteltiin kuva. Väylät piirrettiin kuvaan maastotietokannasta. Muodostetaan sillan keilan luiska Terrain-modulilla. Sillan keilojen suunnittelussa käytettiin myös luiskalaskentaa.



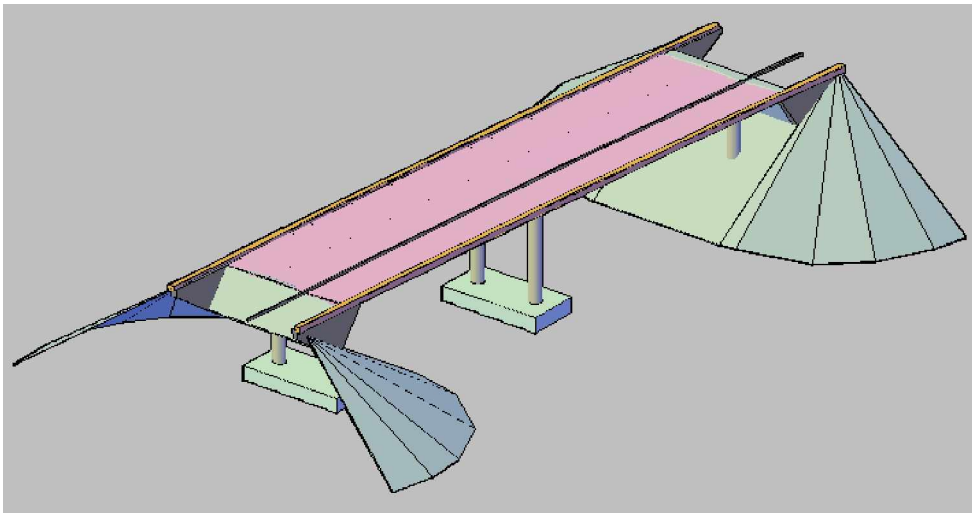
Kuva 2.4 Keilojen muodostus Terrain-modulilla.

Väylä (myös ylittävä/alittava), jolle silta tulee sekä sekä maasto piirrettiin Novapoint Roadin avulla tarvittavine merkintöineen (väylät, ojat, kaistat ja luiskat).



Kuva 2.5 Tasopiirustus.

Haluttujen pisteiden koordinaatit saatiin joko taulukkoon, piirustukseen tai tiedostoon. Bridge professional -toiminnoilla sillasta ja sen rakenteista saa kätevästi 3D-pintamallin. Malli sijoitettiin koko hanketta koskevaan virtuaalimalliin, jossa rakenteiden oikeellisuus ja asemointi voitiin tarkistaa.



Kuva 2.6 Sillan virtuaalimalli renderöitynä.

Tekla Structures -ohjelmistoa oli käytetty siltakohteissa suhteellisen paljon, joten mallinnus oli tuttua ja ohjelmiston käyttö sujuvaa. Suurin työ mallinnusprojektissa oli koordinaattimuunnokset molempiin suuntiin (m/mm sekä koordinaatiston siirto). Lisäksi yksityiskohtien mallintamiseen tarvittiin useimmiten referenssikuvia. Kannen mallinnuksessa käytettiin Teklan tekemää "Sillan kannen mallinnussovellusta" (ExcelBridge), joka sopii myös monimutkaisemmille siltageometrioille. Siltamallin siirto koordinoitumalliin toimi hyvin.





Kuva 2.7. Sillan S10 ja tieympäristön malli tiesuunnitelmavaiheessa.

## 2.3 Yritysten kehittämissuunnitelmat

### 2.3.1 Tekla Oyj

Tekla Oyj:n tavoitteena oli kehittää edelleen sillanrakentamisen eri toimijoille soveltuvia tuotteita Tekla Structures -ympäristöön. Tavoitteena oli kehittää edelleen Tekla Structures-ohjelmiston ominaisuuksia, komponenttikirjastoja ja muita osia silta-alan tarpeisiin.

Tekla Oyj:n tuotekehitysprojektiosuuden vastuullisena johtajana oli Thomas Grönholm. XStreet-ohjelman kehitystyöstä vastasi Markku Alanko. Tekla Oyj kehitti projektissa XStreet- ja Structures-ohjelmien tuoteominaisuuksia projektissa tehtyjen määrittelyiden pohjalta. Lisäksi projektiosuudessa kehitetään tiedonsiirtoa XStreet- ja Structures-ohjelmien välillä, tiedonsiirtoa työmaan 3D-mittaussovelluksiin sekä muihin urakoitsijoiden järjestelmiin. Oulun yliopisto avusti Tekla Oyj:tä tuotekehitysprojektin suunnittelussa. Teklan kehittämä .NET-rajapinta mahdollisti avoimen tuotekehitysrajapinnan muillekin yrityksille. Uusien sovellusten ja komponenttien määrittelytyötä jatkettiin edelleen. Aiemmin tehtyjä alustavia määrittelyitä tarkennettiin. Tilaaja- ja rakennuttajamäärittelyitä kehitettiin projektiin osallistuvien tilaaja- ja rakennuttajatahojen kanssa. Suunnittelijoiden määrittelyitä kehitettiin projektiin osallistuvien konsulttitoimistojen kanssa. Urakoitsijoiden määrittelyitä kehitettiin projektiin osallistuvien urakoitsijoiden kanssa.

### 2.3.2 Vianova Systems Finland Oy

Vianova Systems Finland Oy:n vastuullisena johtajana toimi Tuomas Hörkkö ja projektipäällikkönä oli Tuomo Palomaa. Vianovan tavoitteena oli kehittää ja kokeilla yhteistyössä WSP Finland Oy:n ja Tekla Oyj:n kanssa siltojen tietomallipohjaista suunnittelua osana tien suunnittelua. Tavoitteena oli kehittää ja pilotoida ratkaisuita, joilla sillan tietomallit yhdistetään joustavasti tien suunnitelmamalliin.

Tiesuunnitelmavaiheessa hankkeen silloista luotiin 3D-mallit, jotka yhdistettiin tiesuunnitelmamalliin. Mallit laadittiin siten, että niistä voitiin luoda virtuaalimalli sisältäen sillat. Projektissa tutkittiin ja testattiin tiedonsiirtotapoja; siltojen 3D-mallien osalta tarkasteltiin useita tiedostoformaatteja (AutoCAD 3D / Novapoint, Tekla Structures).

Projektissa tutkittiin yleisten tietomallien tiedonsiirtotapojen soveltuvuutta siltoihin (LandXML, IFC), ja sen avulla siltojen tietomallien yhdistämistä tien suunnitelmiin. Projektissa tehtävä työ kytkettiin meneillään oleviin hankkeisiin, jolloin testausta ja pilotointia voitiin tehdä todellisella suunnitelma-aineistolla. Kytkettävä rakennushanke oli WSP Finland Oy:n suunnittelukohde ”VT8 Kotiranta–Stormossen, tie- ja rakennussuunnitelma”. Hankkeessa on yhteensä 9 uutta rakennettavaa siltaa, jotka sijoituvat pääosin uudelle tielinjalle.

Projektissa tarkasteltiin myös muita meneillään olevia hankkeita, kuten Poikkimaantie Oulussa. Siltojen mallintamisessa kokeiltiin myös muita yleisesti käytössä olevia ohjelmistoja sekä alalla yleisesti käytössä olevia tiedonsiirto formaatteja.

### **2.3.3 Geotrim Oy**

Geotrim Oy:n tavoitteena oli välittää sillanrakentamisen geometrisiin 3D-mittauksiin soveltuvia uusimpia mittaustekniikoita ja kehittää niiden hyödyntämisessä tarvittavia mittausten menetelmiä.

### **2.3.4 Ponvia Oy**

Tuomo Järvenpää teki Ponvia Oy:ssä diplomityön aiheesta ”Betonisiltojen suunnittelu Revit Structure -tietomallin avulla”. Työn tavoitteena oli tutkia miten Autodesk Revit Structure 2011 -ohjelmisto soveltuu Suomessa tyypillisten betonisiltojen tietomallintamiseen. Työssä mallinnettiin Liikenneviraston yksi Bul-tyyppiin piirustussarjan silta ja tehtiin havainnot Revit Structure -ohjelman soveltuvuudesta sillan mallintamiseen ja piirustusten tuottamiseen.

Työssä mallinnettava silta mitoitettiin uudestaan eurokoodien mukaisesti. Mitoituksen tuloksena saatiin rakenteen vaaditut teräsmäärät ja rakennepaksuudet, joita käytettiin lähtötietoina siltaa mallinnettaessa. Mitoitus suoritettiin eurokoodien ja Liikenneviraston eurokoodeja koskevien sovellusohjeiden avulla. Työssä tutkittiin myös voidaanko kyseisen laattasillan rakenneanalyysimallia luotaessa hyödyntää tietomallia eli saadaanko tietomallista muodostettua suoraan rakenneanalyysimalli ja mitä hyötyjä tästä yhteistoiminnasta voidaan saada.

### **2.3.5 Finnmap Consulting**

Finnmap Consulting Oy:n tavoitteena oli sillansuunnitteluprosessin ja uusien palvelutuotteiden kehittäminen siltakonsultointiin.

### **2.3.6 A-Insinöörit Oy**

A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n tavoitteena oli sillansuunnitteluprosessin ja uusien palvelutuotteiden kehittäminen ja käyttöönotto. Projektiin osallistuivat Vesa Järvinen, Mauri Kuvaja ja Antti Pekkala.

### 2.3.7 Siltanylund Oy

Siltanylund Oy:n tavoitteena oli sillansuunnitteluprosessin ja uusien palvelutuotteiden kehittäminen siltakonsultointiin.

### 2.3.8 Destia Oy

Destia Oy:n tavoitteena oli kehittää edelleen siltojen uudis- ja korjausrakentamisen toimintaprosesseja ST-toimialueella.

Destia Oy:n jatkoi yhteistyössä useiden 5D-SILTA2-yritysten ja Oulun yliopiston kanssa aloittamaansa "ST-siltaurakoinnin kehittäminen 5D-teknologiaa hyödyntämällä (5D-ST) -kehittämiprojektiaan. Destia Oy:n kehittämiskustannuksia tuki Tekes.

5D-ST-projektin tuloksia ja projektista saatua tietoutta suunniteltiin hyödynnettävän tietomallipohjaisessa siltojen suunnittelussa, tietomallista tuotettavien piirustusten teossa, määrä- ja tarjouslaskennassa sekä työmaamittauksissa Vt4 parantaminen Kemin kohta -ST-urakassa.

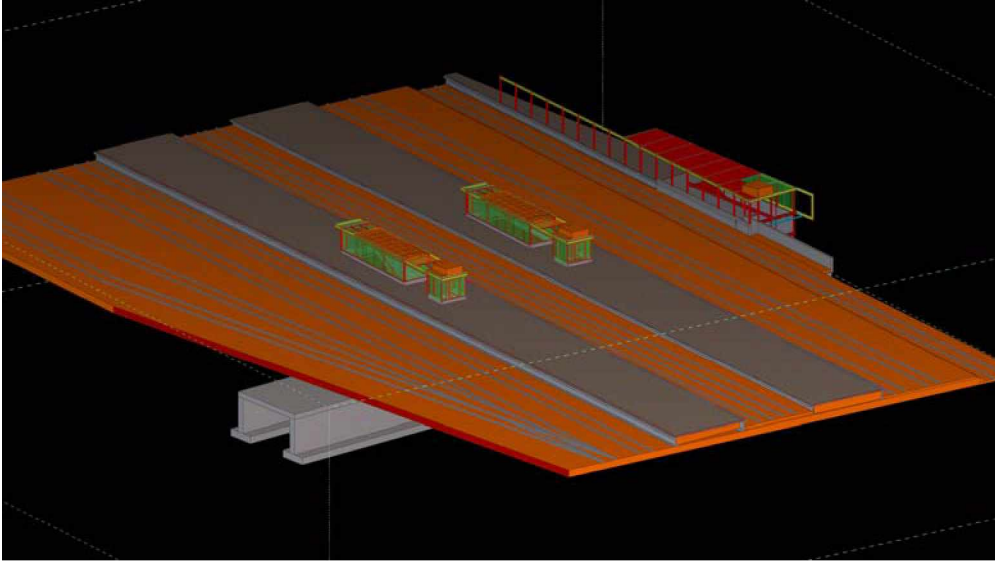
Destia Oy:n osuuden toteutuksesta sen kaikilta osin vastasivat Ari-Pekka Olkkonen projektipäällikkönä ja Minna Salonsaari projekti-insinöörinä.

### 2.3.9 Oy VR-Rata Ab

Oy VR-Rata Ab:n tavoitteena oli kehittämiskokeilujen suorittaminen Tampereella ns. Rongakadun alikulkusilta -kohteessa.

Rongankadun siltasuunnitelmat tehtiin perinteiseen tapaan 2D-suunnitelmina mutta laitureiden katosrakenteet mallinnettiin TS:llä. Oheisia havainnekuvia varten katosrakenteiden ympärille mallinnettiin karkeasti sillan betonirakenteet sekä hieman rata- ja laiturirakenteita. Katosten runkorakenteista on tehty konepajapiirustukset.

Rakennuskohde sijaitsi Tampereella henkilöratapihan pohjoispäässä. Rakennushanke käsittää Rongankadun alikäytävän rakentamisen ratapihan alitse Rongankadun ja Peltokadun välille. Käytävä palveli kaupungin sisäistä kevyttä liikennettä Tammelan kaupunginosan ja Kyttälän välillä ja junien matkustajaliikennettä. Käytävä tulee olemaan osa keskustan läpi menevää reittiä. Käytävä liittyi länsipäässä läheisesti olemassa oleviin rakennuksiin, pohjoispuolella olevaan asuinkerrostaloon ja eteläpuolella olevaan Postitaloon.



Kuva 2.8. Rongankadun alikulkusillan katosrakenteet (Tekla Structures, Oy VR-Rata Ab).



## 3 Tuloksia

### 3.1 Konsortion yhteisten kehittämishankkeiden tuloksia

#### 3.1.1 Bridge Finland

Siltojen tietomalliohjeet on julkaistu erillisenä raporttina. Mallintamisen tavoitteena sillan suunnittelussa on kolmiulotteisen tarkastelun avulla työn tehostaminen, laadun parantaminen, informaation kerääminen yhteen paikkaan ja sen siirtäminen muille osapuolille.

Tietomalliohje sisältää ohjeita yhtenäisten toimintatapojen luomiseksi mallien käytössä suunnittelussa, työmaavaiheessa ja ylläpidossa. Yhteiset toimintatavat edistävät uuden teknologian käyttöönottoa suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja viranomaisten yhteistyössä. Ohjeeseen liittyy lomakepohja, joka helpottaa mallinnusasioiden selvittämistä ja sopimista tilauksen yhteydessä. Lomakkeet löytyvät Liikenneviraston internet-sivuilta.

#### 3.1.2 PPP5D

5D-teknologia on määritelmällisesti enemmän kuin 3-dimensionaalisen tiedon tuottamista, siirtämistä ja hyödyntämistä läpi sillanrakentamisen kokonaistoimintaprosessin. 5D-toimintamallilla tarkoitetaan 3D-mittausten, 3D-suunnittelun ja -tuotemallintamisen lisäksi myös aikataulun, kustannusten ja projektinhallinnan hallitsemista tuote- ja tietomallipohjaisesti. Lisäksi automaatio vaikuttaa kokonaisvaltaisesti infrarakentamisen kokonaistoimintaprosessiin. Uusia tekniikoita on sovellettavissa ja hyödynnettävissä läpi radan-, siltojen ja tienrakentamisen toimintaprosessien lähtötietojen hankinnassa, tuotesuunnittelussa, työmaan ja työkoneiden ohjauksessa, toteutumattiedon tarkastuksessa sekä hoidossa ja ylläpidossa. Prosessi on mallinjalostusprosessi, jossa alussa luotua mallia jalostetaan ja hyödynnetään läpi toimintaprosessin.

Kerätyn vertailuaineiston perusteella 5D-toimintamalliin sisältyvistä menetelmistä ja -tekniikoista on käyttöönottonsa jälkeen lähes poikkeuksetta saatu hyvinkin myönteisiä käyttökokemuksia, urakoitsijoiden omaehtoisen etenemisen ja teknologioiden käyttöönottamisen perusteella selvästikin myös taloudellista hyötyä ja muita positiivisia tuloksia. Merkille pantavaa on 3D-mittaustekniikoiden voimakkaan kehityksen lisäksi myös työkoneiden 3D-ohjausjärjestelmien laaja käyttö Norjassa ja Ruotsissa sekä nopeasti laajeneva käyttöönottovaihe Suomessa. Sillan suunnittelun alalla useat johtavat konsultit ovat parhaillaan muutenkin siirtymässä tuotemallintamisen käyttöön ja edelleen tämän avaamien uusien konsulttipalveluiden kehittämiseen. Riskit 5D-toimintamallin käyttöönottamiseen vaikuttavat siten pienehköiltä ja hallittavissa olevilta.

Avainasemassa uuteen PPP 5D -toimintamalliin on tilaaja ja rakennuttaja, joka käynnistää rakentamishankkeet ja voi tarjouspyyntöasiakirjoilla merkittävästi määritellä ja ohjata toteuttamisen tapoja, käytettäviä teknologioita ja menetelmiä. Myös tutkimus-

laitosten ja ehdotetun uuden ”5D-managerin” käyttöä Kokkola-Ylivieska -pilotin läpiviennin onnistumisen varmistamiseksi ehdotetaan.

Lähtökohtana koko 3D-toimintaprosessille on mahdollisimman tarkan ja projektin pysyvän referenssipisteistön eli koordinaatistojärjestelmän perustaminen. 3D-mittaustekniikat sisältävät edelleen hyödyntämätöntä potentiaalia suunnittelun tarpeisiin. 3D-laserkeilausmenetelmät helikopterista, liikkuvasta ajoneuvosta ja myös kiinteistä pisteestä ns. maakeilaimella tarjoavat erittäin tehokkaan ja tarkan geometrianmittausmenetelmät rakentamisprosessin käyttöön. Yksittäiset mitatut 3D-koordinaattipisteet osataan jo hyvin siirtää suunnittelu- ja mallintamisohjelmiin, pistepilvien kokoa ja tarkkuutta joudutaan valitettavasti jopa huonontamaan tiedostokokojen kasvaessa pistemäärän mukana helposti hyvin suureksi. Myös nopeaa ja reaaliaikaista mittalaitteen ja tuotemallintamisohjelman tiedonsiirtoyhteyttä (ns. on site) on jo Suomessa kokeiltu. 3D-maatutkaus on hyvin potentiaalinen mittaustekniikka, jonka hyödyntämistä ja kehittämistä kannattaa systemaattisesti ja pitkäjänteisesti tukea ja viedä eteenpäin.

Tuotemallin avulla voidaan havainnollistaa helposti, millaiselta rata ja etenkin sillat näyttävät kolmiulotteisessa mallissa. Lisäksi rakentamissuunnittelussa suuri hyöty, kun geometrian suunnitteluun vaikuttavat pakkopisteet, ratapenger, sillat ym. uuden raiteen pysty- ja vaakageometriaan vaikuttavat tekijät nähdään helpommin jatkuvan mallin avulla. Sähköratapylväiden sijoitussuunnitelma voidaan tehdä laadittavaan malliin nykyistä helpommin ja nähdään helpommin paikat, joissa pylväsväliä pitää muuttaa vakiovälisiä (esim. siltojen kohdilla). Opastimien näkemämittaukset (opastimien tulee näkyä junaan määrätyn matkan päästä) voidaan tehdä mallista helpommin.

Suurin osa suunnittelutoimistoista tekee jo tällä hetkellä rakennesuunnittelun ainakin osittain 3D-suunnitteluohjelmilla, joten mallit ovat valmiina laajempaan automaation hyödyntämiseen. 3D-koneohjauksen ja urakoitsijatyökalujen hyödyntäminen maarakennustöissä tuo merkittäviä kustannussäästöjä rakennustyömaan toiminnan tehostumisesta ja perinteisten mittaustarpeiden poistumisesta. Lisäksi työn laatu paranee.

Rautatierakentamisessa tarkasta mallista saatavia mittaustietoja voidaan hyödyntää etenkin tukemiskoneissa, joilla raide asennetaan oikeaan asemaan, tehdään kiskon kallistukset ja kaarregeometria. Tuotemallia mahdollista hyödyntää myös vaihteenasennuskoneissa (ns. kuukävelijä, Desec), jolloin vaihteen asentamisessa ei ole tarve tehdä erillisiä paikalleenmittauksia.

Rakentamisen suunnittelussa tärkeä reunaehto on huomioida nykyisellä raiteella olevan vilkas junaliikenne, jonka on voitava toimia koko projektin ajan. Käytännössä vaativille työvaiheille, kuten uuden ja nykyisen raiteen puolien vaihtaminen, uusien siltäkansien asentaminen nykyisen raiteen alle, paalutustöiden tekeminen ym. edellyttävät järjestelyjä, joissa junaliikenne keskeytetään kokonaan normaalisti 8-15 tunnin ajaksi. Katkon jälkeen on raide oltava taas turvallisessa kunnossa. Raiteen kunnan tarkastamisessa voisi hyödyntää työmaalle rakennettavia mittaustarpeita ja GPS-tukiasemia.

Laadittava ”näin tehty” malli mahdollistaa radan geometrisen kunnan seuraamisen absoluuttisessa sijainnissa (x,y,z), jolloin saadaan kuusi kertaa vuodessa mittaustietoa radan mahdollisista painumista ja siirtymisistä. Toimintamalli on myös tutkimuksellisesti kiinnostavaa, koska ainakaan Suomessa ei ole tarkkaa tietoa siitä, mitä ra-

dan absoluuttisessa asemassa kunnossapito maksaa verrattuna suhteelliseen menettelyyn. Suhteellista kunnossapitoa tehtäessä käy niin, että vuosien aikana raide siirtyy niin, että suorat siirtyvät siirtymäkaarien ”paikalle” ja siirtymäkaaret kaarien ”paikalle”, jolloin muodostuu riski raidevastuksen riittävyydelle ja kiskon jännityksen kasvamiselle (kaareissa ”liikaa kiskoa”).

PPP-hankkeen sisältö arvioitiin sopivan teknisesti hyvin 5D-alustaksi. PPP-mallin idea on kuitenkin antaa PPP-urakoitsijalle mahdollisimman paljon vapausasteita ja innovointia toteuttaa hanke parhaalla mahdollisella tavalla. Tässä mielessä ei voida pakottaa käyttämään kaikkea mahdollisia teknologioita, vaan asetetaan vähimmäisvaatimuksia pakollisiksi ja huomioidaan muut vaatimukset käyttämällä laatu- ja kustannusvaatimuksia. Lisäksi PPP-urakoitsijalle maksettaviin maksuihin (ns. maksumekanismi) voidaan sisällyttää innovaatiohyvitys/laaturahio 5D teknologian hyödyntämisestä ja tätä kautta infra-alalle ja tilaajalle koituneesta lisäarvosta.

Hankintamenettelynä voisi käyttää kilpailullista neuvottelumenettelyä, jota voidaan käyttää monitahoisissa hankkeissa, joiden lopullista sisältöä ei voida tarjouspyyntövaiheessa tarkasti määrittää. Kaksoisraide Kokkola – Ylivieska täyttäne kilpailullisen neuvottelumenettelyn käyttämisen perusteet, koska

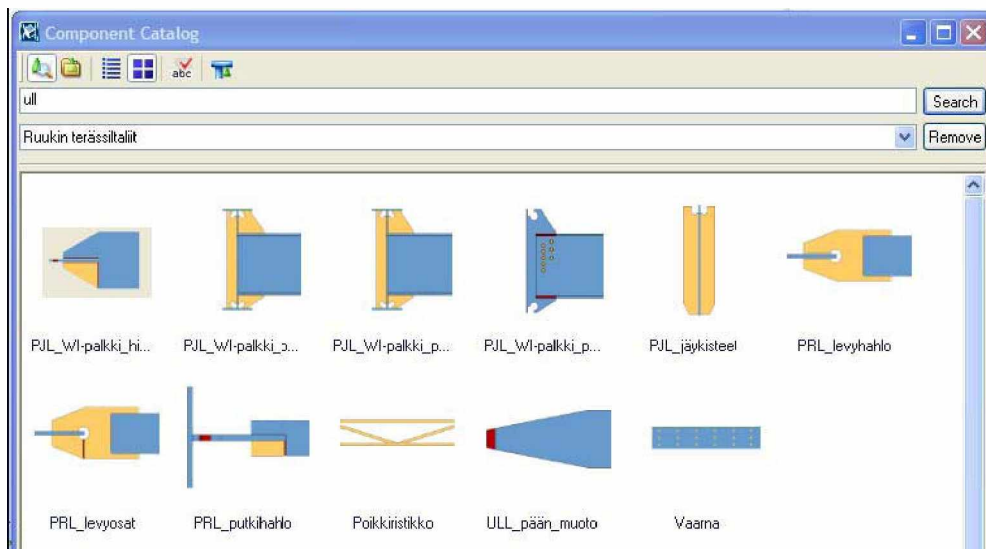
- a) yhtään ratakantetta ei ole toteutettu PPP-mallilla
- b) uuden raiteen lisäksi kunnossapitovaiheeseen tulee sisältymään nykyinen raide sekä sähkörata- ja turvalaitejärjestelmien kunnossapito, jolloin kunnossapitovaiheen sisällön määrittäminen on vaikeaa tarjouspyyntövaiheessa
- c) hankkeessa halutaan käyttää 5D-menettelyä, mutta em. vaatimuksella ei haluta vähentää tarjoushalukkuutta ja ei myös haluta sen nostavan urakkahintoja

Hankinnan vaiheet (etenkin 5D-näkökulmasta):

- ennakoilmoitus EY-viralliseen lehteen, hankinnan kuvauksessa mainitaan rahoitus, suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito sekä 5D-teknologian käyttäminen
- hyväksytyjen PPP-urakoitsijoiden kanssa käynnistetään neuvottelut, joissa kuullaan urakoitsijoiden ajatukset toimintamallista ja etenkin 5D-teknologian hyödyntämisen hyödyistä, haitoista ja kustannusvaikutuksista
- neuvotteluissa saadut lisätiedot kootaan tarjouspyyntöön, jonka jälkeen hankintamenettely menee samalla tavalla kuin avoimessa tai rajoitetussakin menettelyssä

### 3.1.3 Custom components

Custom components -projektin tavoitteet saavutettiin ja osin ylitettiin, koska projektin aikana tehtiin myös ensimmäiset .NET-kokeilut onnistuneesti. Kaikki komponentit ovat nyt yleisesti luetuimmassa muodossa DWG:nä ladattavissa Liikenneviraston sivuilta ja laakereita ja jänneankkureita lukuun ottamatta myös TS-komponentteina. Ne tullaan julkaisemaan tulevissa Tekla Structures versioissa Suomi-paketin yhteydessä, jolloin ne ovat kaikkien käytettävissä. Sillansuunnittelussa erittäin työläs ns. detaljisuunnittelu tulee helpottumaan oleellisesti aikaan saatujen parametrisoitujen peruskomponenttien avulla. Ongelmia projektissa tuottivat lähinnä yleisen muodon ja yhteisesti sovitun nimeämisjärjestelmän päättäminen. Ongelmia aiheutti myös TS:n rajalliset mallinnusominaisuudet siltojen mallintamiseen (muutuva poikkileikkaus ja kaarevuudet) ja CC editorin kehitystarpeet. Projektin lopputuloksena syntyi 11 komponenttia.



Kuva 3.1. Sillan mallinnuksen custom components –aputyökaluja.

Taulukko 3.1. Mallinnetut komponentit.

PJJ_WI-palkki_palkki	Poikkipalkin pystyjäykisteliitos, poikkipalkki profiiliin
PJJ_WI-palkki_profiili	Poikkipalkin pystyjäykisteliitos, poikkipalkki levyumaan
PJJ_WI-palkki_hitsattu	Poikkipalkin pystyjäykisteliitos, hitsattu
PJJ_WI-palkki_pultit	Poikkipalkin pystyjäykisteliitos, pultit
Poikkiristikko	Poikkiristikon mallinnus
PRL_levyosat	Poikkiristikon liitos levyosin
PRL_putkihahlo	Poikkiristikon putkihahloliitos
PRL_levyhahlo	Poikkiristikon levyhahloliitos
PJJ_jäykisteet	Palkin pystyjäykisteiden mallinnus
ULL_pään_muoto	Laipan lisälevyn pään muotoilu
Vaarna	Siltavaarnojen mallinnus

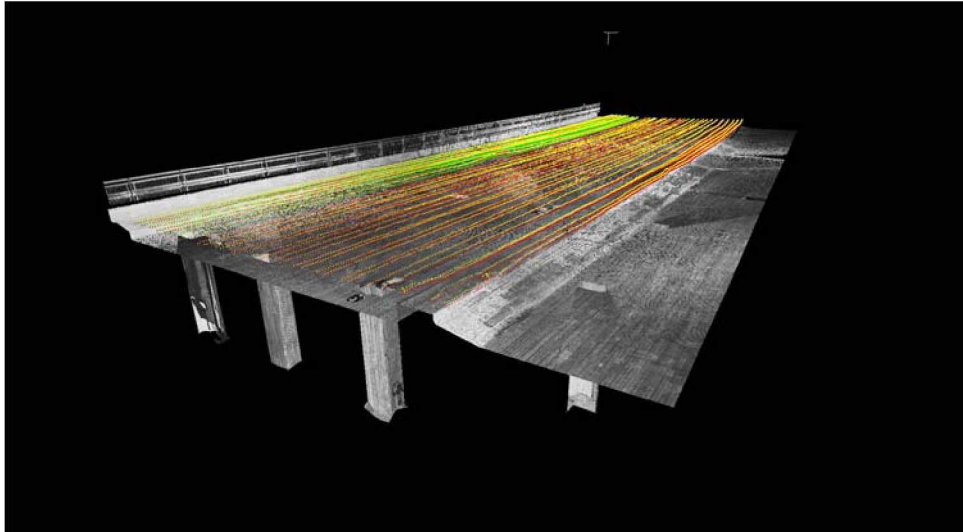
Lievien alkuvaikeuksien jälkeen komponentit tulivat valmiiksi sovitussa aikataulussa ja sovitulla resursseilla. Komponenttien käytöstä on tehty erillinen ”käyttöohje”.

### 3.1.4 3D-GPR

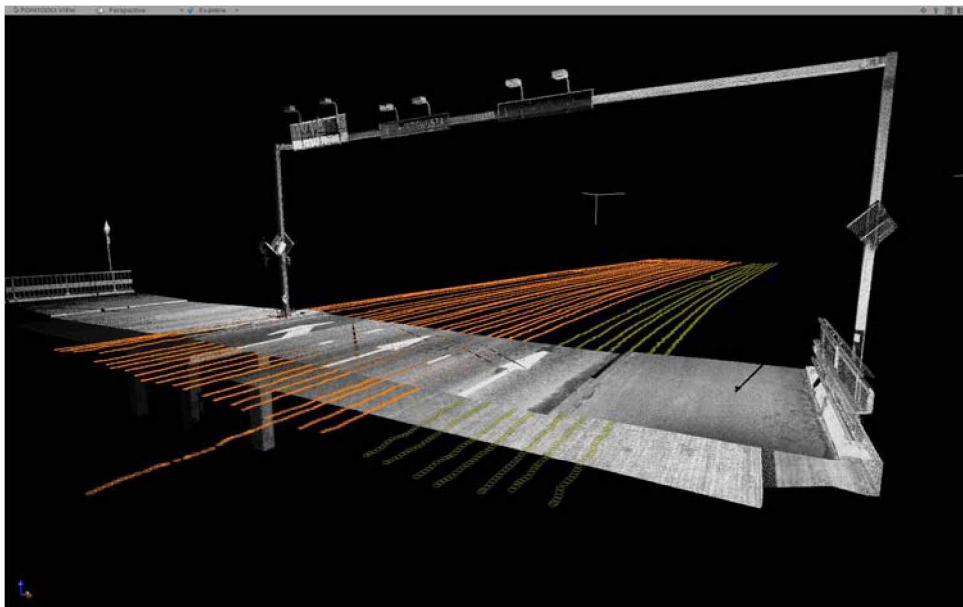
3D-tietomallien muodostaminen ja yhdistäminen onnistui pääpiirteittäin suunnitellulla tavalla. Sillan kannen alapinnan laserkeilausmittaustulosten perusteella silta on painunut 2-4 mm vuoden 2007 mittaustuloksiin verrattuna. Yläpinnan päällysteessä ajoradalla on pistepilvessä havaittavissa liikenteen aiheuttama urautuminen samoin kuin tiekerrosten hienoinen painuminen. Raudotteiden osalta siltatutkauksella saatu 3D-pistepilvi osoittautui laserkeilattuun 3D-pistepilveen verrattuna tarkaksi. Jotain epäloogisuuksia tai mahdollinen systemaattinen poikkeama sisältyi tutkaisuaineistoon betonikannen pinnan suhteen. Sillan kannen materiaaliomaisuuksia ja kosteus-

pitoisuuksia koskevia mittaustuloksia ei tässä tutkimuksessa tarkemmin analysoitu. Siltatutkaluotauksesta saadut tulokset osoittavat tulkitsijoiden mukaan sillan uuden rakenteen olevan hyvässä kunnossa. Mahdollisia alkavia kosteita paikkoja saattaa kuitenkin olla muodostumassa sillan kansilaatan yläosaan maatumien kohdalle.

Alla olevissa kuvissa esitellään esimerkkitulosteita laserkeilattujen ja siltatutkattujen pistepilvien yhdistämisestä ja vertailusta. Visuaalisen tarkastelun perusteella pistepilvet vastaavat melko tarkasti toisiaan.



Kuva 3.2. Laserkeilauksen ja siltatutkauksen mittaustuloksista yhdistetty 3D-pistepilvi. Värilliset linjamaiset pistepilvet ovat GPR-siltatutkauksesta saatuja mittaustuloksia, harmaa pistepilvi kuvaa laserkeilauksen tuloksia (Mitta Oy).

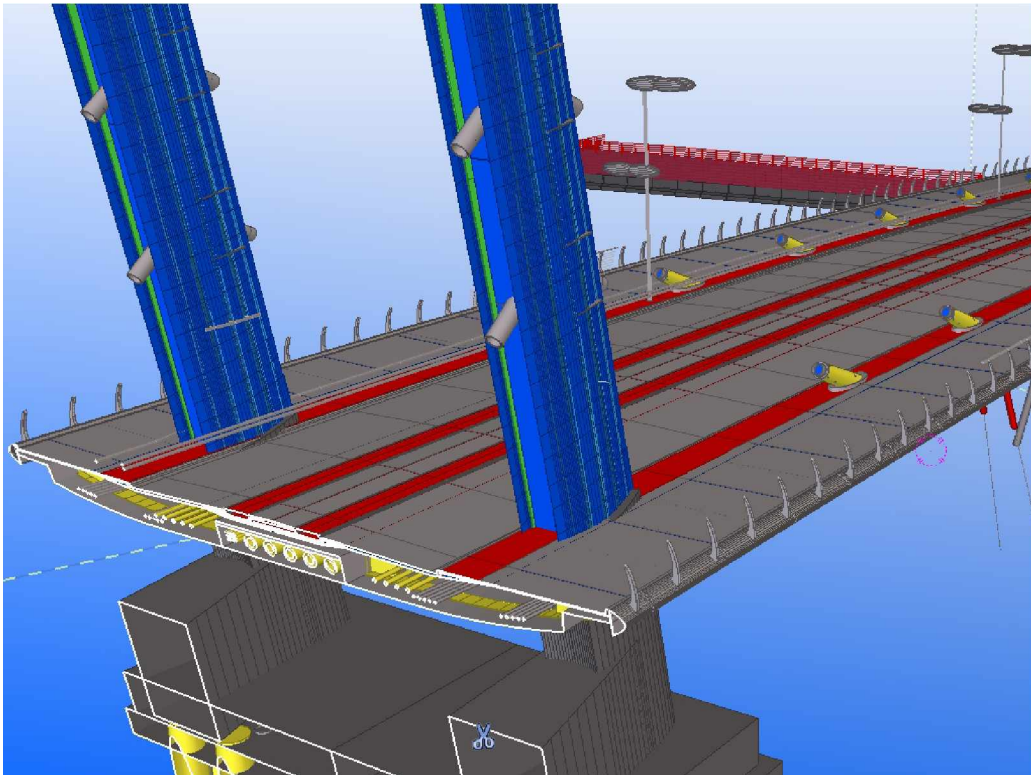


Kuva 3.3. Laserkeilauksen ja siltatutkauksen mittaustuloksista yhdistetty 3D-pistepilvi. Oranssilla värjätyt linjamaiset pistepilvet ovat GPR-siltatutkauksesta saadut tulokset päällysteen alapinnasta ja vihreällä värjätyt raudoitteesta (Mitta Oy).

Jatkotutkimus- ja kehittämistehtäväksi jäi vielä mm. siltatutkaukselta saadun muun informaation siirtäminen ja esittäminen 3D-pistepilvessä. Esimerkiksi taajuuden vaihtuminen voitaisiin ilmoittaa pistekohtaisesti x-, y- ja z-koordinaatteihin lisättyinä mitattuna desibelilukuvarvona. Lisää analysointimahdollisuuksia tarjoaisi edelleen mitatun aineiston vertailu sillan Tekla Structures -ohjelmalla luotuun 3D-tuotemalliin. Yhteistyössä suunnittelukonsultin kanssa voisi laserkeilaus- ja tutkaustuloksia analysoida edelleen. Pidemmällä tähtäimellä sillan käytön ja ylläpidon aikana sillan kuntoa voitaisiin edelleen seurata tarkoilla 3D-mittauksilla, suorittaa vertailua sillan geometrian ja muiden rakenne- ja materiaaliominaisuuksien kehityksestä.

### 3.1.5 Crusellin silta

Kaikkia Crusellin silta - hankkeen tuloksia ei voida vielä arvioida, mutta eri osapuolten palautteet olivat hyvin rohkaisevia. Tietomallin käyttö mahdollisti ja helpotti eri osapuolten omien toimintatapojen ongelmien ratkaisun. Tietomallin käyttäminen hankkeessa vaatii kuitenkin osapuolilta uudenlaista ajattelua sekä myös joustoa.



Kuva 3.4. Crusellin sillan tuotemalli (WSP Finland Oy).

Rakennustyössä tietomallia käytettiin apuna muottisuunnittelussa, mittauksissa sisältäen laserkeilauksia, työaikaisten rakenteiden mallinnuksessa, raudotteiden hankinnassa, määrälaskennassa ja työmaan hankintojen suunnittelussa. Varsinaisen tietomallin lisäksi tiedonsiirrossa käytettiin tietomallista tuotettuja yleisessä tiedonsiirtomuodossa olevia tiedostoja, kuten ASCII, DWG ja IFC.

Hankkeessa hyödynnettiin useita uusia toimintatapoja mm. raudoitusten valmistuksessa, jossa Celsa Steel luki raudoitusten taivutustiedot raportin avulla suoraan mallista. Tällöin tieto voitiin syöttää suoraan koneille ASCII muodossa. Tämän lisäksi Skanska käytti lasermittaustietoa, jonka avulla todellinen rakennuspaikkatieto voitiin siirtää takaisin malliin ja verrata näitä keskenään.



Työmaalla tietomalli havaittiin erityisen hyväksi työtavaksi visuaalisuutensa takia. Tietomallin avulla tarkastettiin myös mahdollisia yhteensovittamisongelmia törmäys-tarkastelujen avulla.

Haastavinta mallinnuksessa oli teräsbetonirakenteiden raudoitteiden mallintaminen ja raudituspiirustusten laadinta. Crusellin silta osoittautui rakenteiltaan hyvin haastavaksi ja asetti erityisiä haasteita onnistuneelle betonirakenteiden mallinnukselle. Suunnittelijalla oli runsaasti aikaisempaa kokemusta teräsrakenteiden mallinnuksesta ja useasta teräsbetonisesta kohteesta, mutta Crusellin silta osoittautui, kuten työhön ryhdyttäessä arviointiinkin, paljon haastavammaksi kuin edelliset kohteet. Crusellin sillan tietomalli saikin ohjelmistotalo Teklan järjestämissä sekä kotimaisessa että kansainvälisessä tietomallikilpailussa erityismaininnan onnistuneesta ja tarkasta erityisen haastavan teräs-betonirakenteiden mallinnuksesta.

Tässä kohteessa tietomallinnuksen johdonmukainen käyttö vähensi virheiden määrää, mahdollisti projektin paremman hallinnan ja koordinoinnin sekä säästi aikaa ja rahaa. Lisäksi se todisti, että tietomallinnus on mahdollinen siltahankkeissa.

Haastavimpana seikkana mallin käytössä havaittiin teräsbetonirakenteiden piirustukset. Mallista tuotetut piirustukset poikkesivat jonkin verran perinteisesti CAD-piirtämällä tuotetuista piirustuksista ja niiden luettavuudessa oli joitakin puutteita. Lisäksi käytettävä ohjelmistoversio v13 sisälsi jonkin verran teknisiä rajoitteita verrattuna perinteisellä menetelmällä tuotettuihin piirustuksiin. Työn loppuvaiheessa tosin todettiin, että viimeisillä ohjelmistoversioilla (v16) monia aikaisempia puutteita oli ratkaistavissa. Ohjelmistoversiota ei kuitenkaan kesken hankkeen toteutusta voitu vaihtaa, koska versiomuutoksissa on todettu aiemmin jonkin verran yhteensopivuusongelmia eikä riskiä haluttu ottaa.

Toisaalta mallin todettiin sisältävän perinteistä suunnittelua tarkempaa suunnitelmätietoa, joka on hyödynnettävissä rakennustyössä. Lisäksi malli havaittiin erittäin havainnolliseksi rakennustyön vaikeiden vaiheiden hahmottamisessa.

Crusellin sillan tietomallihanke kuvaa erinomaisesti, mihin tietomallia voidaan siltahankkeessa käyttää. Hankkeen aikana havaittiin monia tietomallinnuksen kehitystarpeita liittyen mm. teräsbetonirakenteiden raudituspiirustuksiin. Hankkeen tuloksena saatiin rohkaisevia kokemuksia jatkamaan tietomallien käytön kehittämistä siltahankkeissa. Kehitystyötä onkin jatkettu sekä suunnittelijan että ohjelmistotalon Teklan toimesta.

### 3.1.6 5D-Vt8

Projektissa Novapoint Road -ohjelmalla tehdyn tiesuunnitelman ja tuotemallin pohjalta tehtiin siltasuunnitelmat Novapoint Bridge -ohjelmalla. Sillan profiili sitoutui tiesuunnitelman väylämalliin sillan kannen osalta, joka seurasi tiemalliin tehtäviä muutoksia. Sillan 3D-malli luotiin näiden tietojen pohjalta, ja se siirrettiin Tekla Structures -ohjelmaan rakennesuunnittelua varten. Tiedonsiirrossa käytettiin DWG-formaattia. Mallit laadittiin siten, että niistä voitiin luoda sillat sisältävä koordinointimalli Novapoint Virtual Mapilla.

Tehtyjen havaintojen perusteella voidaan todeta, että:

- mallintamalla silta ja siltaan liittyvät luiskat ja keilat tarkasti voidaan sillan sopiminen siltapaikalle tarkastaa ja varmistaa visuaalisesta melko helposti

- liitoskohtien tarkka mallintaminen vaatii työtä
- koordinaatiomallilla (virtuaalimalli) voidaan helposti tarkastella yhteensopivuutta ja todeta suunnitelman ”konfliktit”, puutteet ja yhteensovittamisen kannalta tarkempaa suunnittelua vaativat kohdat ja
- siltojen mallintaminen onnistui hyvin, Tekla-mallien siirtäminen Novapointin Virtual Mappiin onnistui hyvin.

Novapoint Bridgellä luotu sillan 3D-malli siirrettiin rakennesuunnittelua varten Tekla Structures ohjelmaan LandXML-muodossa. Siltojen rakennesuunnitelmat laadittiin Tekla Structures –ohjelmalla.

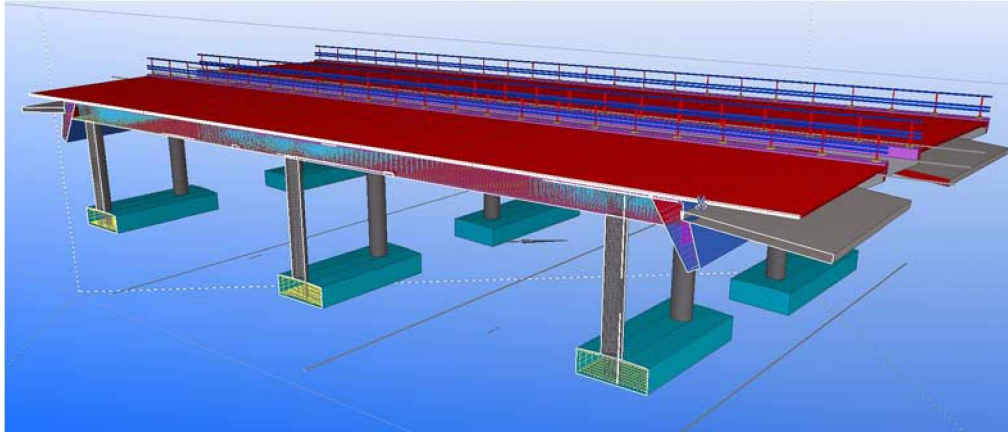
Suunnitelmien koordinointi tapahtui Novapoint Virtual Map –mallin avulla. Koordinointimalli on 3D-malli, jossa eri suunnitelmat näytetään yhdessä ja esim. mahdolliset törmäykset voidaan todentaa ja visualisoida suunnittelun edetessä. Novapoint-ohjelmilla tuotetut tie- ja siltasuunnitelmat saatiin Virtual Map –koordinointimalliin automaattisesti ja muut ulkopuoliset mallit tuotiin tiedonsiirron kautta.

Sekä tiesuunnitelma-, että rakennussuunnitelmavaiheessa laaditut siltojen mallit siirrettiin Novapoint-järjestelmään. Siltoja ja niiden sopivuutta siltapaikalle visualisoitiin Virtual Mapin avulla. Työssä tarkasteltiin siltojen liittymistä maarakenteisiin. Siltojen luiskat ja keilat mallinnettiin Novapoint-ohjelmistolla, ja näin varmistettiin siltaratkaisujen sopivuus.



Kuva 3.5. Sillan ja tieympäristön malli tiesuunnitelmavaiheessa.





Kuva 3.6. Sillan rakennussuunnitelmamalli.

Siltamallin siirto koordinoitumalliin onnistui, tosin solidien kanssa joutuu olemaan tarkkana. Koordinoitumalliin hyödyntämisestä saatiin projektissa hyviä tuloksia. Suunnittelun havainnollisuus ja yhteensovittaminen nopeutui sekä suunnitelman laadusta voitiin varmistua heti mallin päivityksen jälkeen.

Malliin toimitettavan aineiston muoto ja formaatti sovittiin nykyisten ohjelmistojen toiminnallisuuden perusteella. Voitiin kuitenkin havaita, että tiedonsiirron automatisoinnilla ja toimintoja jatkokehittämällä voidaan parantaa entisestään projektin laadunvarmistusta.

Eri suunnittelualueet yhdistävän kolmiulotteisen koordinoitumalliin hyödyntämisestä saatiin projektissa hyviä tuloksia. Suunnittelun havainnollisuus ja yhteensovittaminen nopeutui, ja suunnitelman laadusta voitiin varmistua heti. Järjestelmien välistä tiedonsiirtoa kehittämällä voidaan vielä poistaa ylimääräistä työtä, aikatauluskejä sekä mahdollisuuksia inhimillisiin erehdyksiin. Perinteisestä 2D-suunnitelmasta on joskus hankala oivaltaa esimerkiksi vinosti tien yli kulkevaa siltaa. Kolmiulotteisesta koordinoitumallista suunnitelman näkee luonnollisena ja voi helposti todentaa mahdolliset törmäykset.

Tietomallien siirto on keskeinen asia, jota tässä projektissa erityisesti tarkasteltiin. Koska tieto on suoraan hyödynnettävissä, on syytä siirtyä tarkastelemaan tämän menetelmän avulla koko prosessia lähtötiedoista jopa ylläpitoon asti. Siltasuunnittelussa mallintaminen on pääosin ollut piirretyn sillan geometrian todentamista mallin avulla jälkikäteen sekä rakennesuunnitteluvaiheen detailointia, mutta suunta on nyt yhä vahvemmin kohti kokonaan tietomallipohjaista suunnitteluprosessia.

Koordinoitumallien hyödyntäminen suunnittelussa parantavat selvästi suunnitelmien laatua sekä mahdollistavat suunnitteluosa-alueiden yhteistyön. Mallin hyödyntäminen vaatii tiedonsiirtoa järjestelmien välillä. Tiedonsiirtoa kehittämällä voidaan poistaa ylimääräistä työtä, aikatauluskejä sekä mahdollisuuksia inhimillisiin erehdyksiin. Versionhallinta sekä aikatauluissa pysyminen helpottuvat tiedonsiirron kehittyessä. Tiedonsiirrossa tulee hyödyntää olemassa olevia ja kuvattuja formaatteja.

Pilotoinnissa hyödynnettiin ohjelmistojen välillä mm. dwg -formaattia sekä testattiin IFC:n ja LandXML:n soveltuvuutta. Todettiin, että kehittämällä tiedoston tulostus ja sisällytys toiminnallisuus ohjelmistoissa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää tie-

donsiirroissa LandXML ja IFC- formaatteja. Kyseiset formaatit ovat yleisesti markkinoilla käytettyjä standardeja ja niiden käyttöä ja kehitystä tulee tukea sekä jatkaa.

Järjestelmien välistä tiedonjakoa tulisi kehittää. Projekti ehdottaa seuraavanlaista vaiheittaista etenemistä kehitystoimenpiteille:

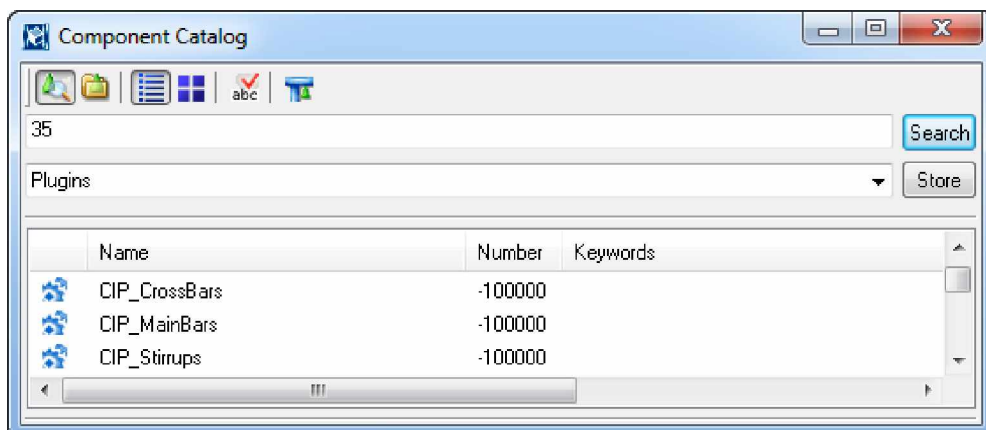
Ensimmäisessä kehitysvaiheessa väyläsuunnittelu- ja siltasuunnitteluohjelman välille luodaan yhteys, jolla sillan suunnittelija voi lukea sillan lähtötiedot ylittävän tien 3D-taiteviivoina. Taiteviivat luetaan LandXML-tiedostosta. Siltaohjelma kirjoittaa ulos sillan IFC-formaatissa ja malli luetaan koordinoitumalliin.

Toisessa kehitysvaiheessa siltaohjelma lukee taiteviivojen lisäksi myös tien pinnat LandXML-formaatista tai suoraan väyläsuunnitteluohjelmasta ohjelmointirajapinnan kautta. Näin siltaohjelma tuottaa hyvän rakennetarkkuuden eikä siirtotiedostoja tarvita. Koordinointimalliin voidaan tuottaa malli IFC-formaatissa tai se luetaan rajapinnan kautta suoraan siltasuunnitelmasta.

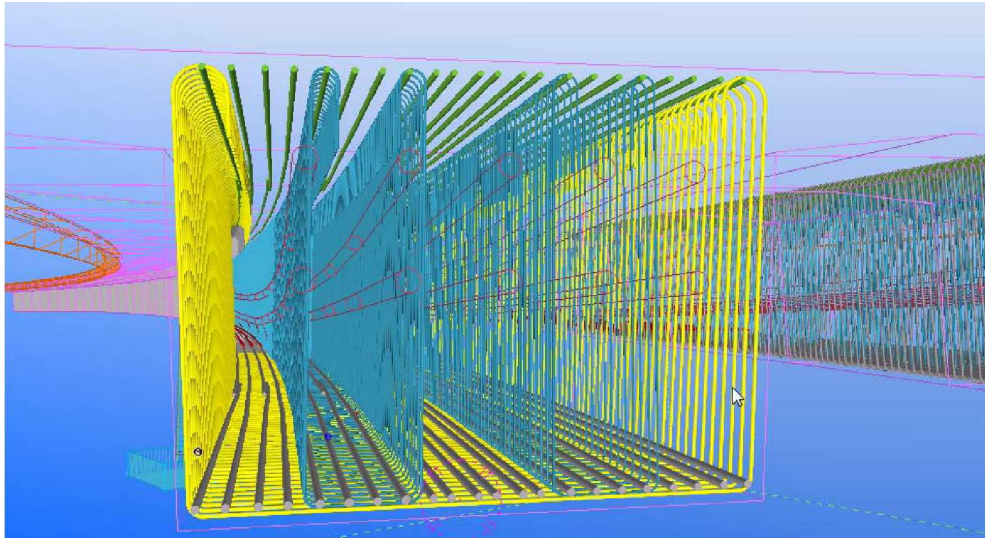
## 3.2 Yritysten kehittämiprojektien tulokset

### 3.2.1 Tekla Oyj

Teklan tavoitteena oli tukea rakennusprojektiä suunnittelusta rakentamiseen. Projektin puitteissa kehitettiin uusia suunnittelijan mallinnustyökaluja, Tekla Structures-ympäristöasetukset siltaprojektiä varten sekä jatkokehitettiin integraatiosovelluksia Tekla Structures- ja Tekla Xstreet- ohjelmistojen välille. Raudoitusten mallintamisen nopeuden ja luotettavuuden parantamiseksi kehitettiin Tekla Structuresin yhteyteen ohjelmoituja komponentteja, jotka seuraavat rakenteen geometriaa ja lisäävät raudoitteet malliin annettujen tietojen mukaisesti.



Kuva 3.7. Tekla Structuresin käyttöliittymän komponentin valintaikkuna.



Kuva 3.8. Sillan palkin raudoitteita Tekla Structures- mallissa.

Raudoitusluetteloita varten luotiin raporttipohjat, jotka voi lukea Celsa Steelin RL- ja Qarmering- ohjelmiin. Näin ollen kulloinkin tarvittavat raudoitteet saadaan tilattua suoraan mallin tietoa hyödyntämällä.

Typ	Littera	Stålsort	Gr	St/Gr	Totalt	Ø	Längd	Å	a	b	c	d	e	f	g	Å	x	y	v	s	t	u	R	Konstr del
A	S1SA19	B500BT			2	12	5650	5650																
2	A	S1SA19	B500BT		3	12	4530	4530																
3				DIFF		/ST	312	312																
4	A	S1SA19	B500BT			12	3905	3905																
5	A	S1SA19	B500BT		5	12	1770	1770																
6				DIFF		/ST	300	300																
7	A	S1SA19	B500BT			12	570	570																
8																								
9																								
10																								
11																								

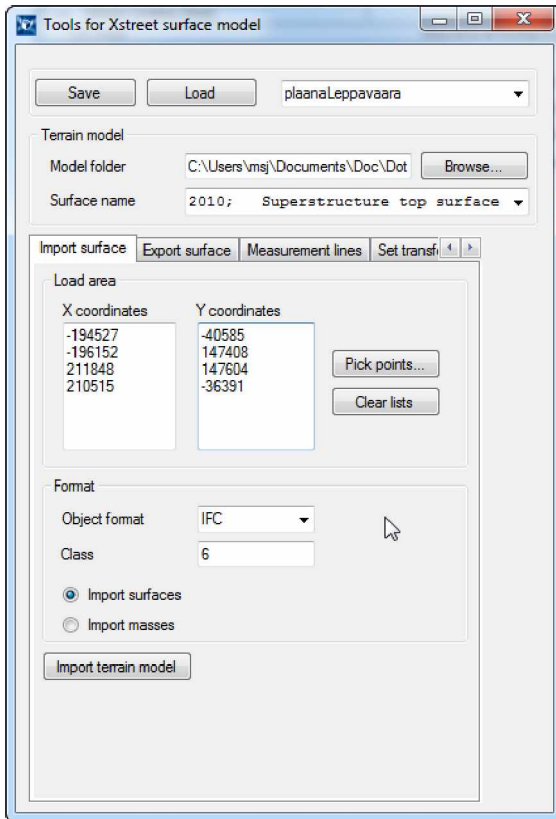
Project information: Objekt: S/1(?), Datum: 2010-08-11, Uppdr nr: 1, Färg 1: Plattform\_13.21\_16.21, Färg 2: , Utförd av: SBJ, Granskad av: PETH, Tillritn: , Till typblad: Rebar, Förteckn nr: 1, Rev: 1

Kuva 3.9. Celsa Steelin Q-Armering- ohjelman käyttöliittymä. Ohjelmalla hallitaan raudoitteiden tilauksia työmaalle.

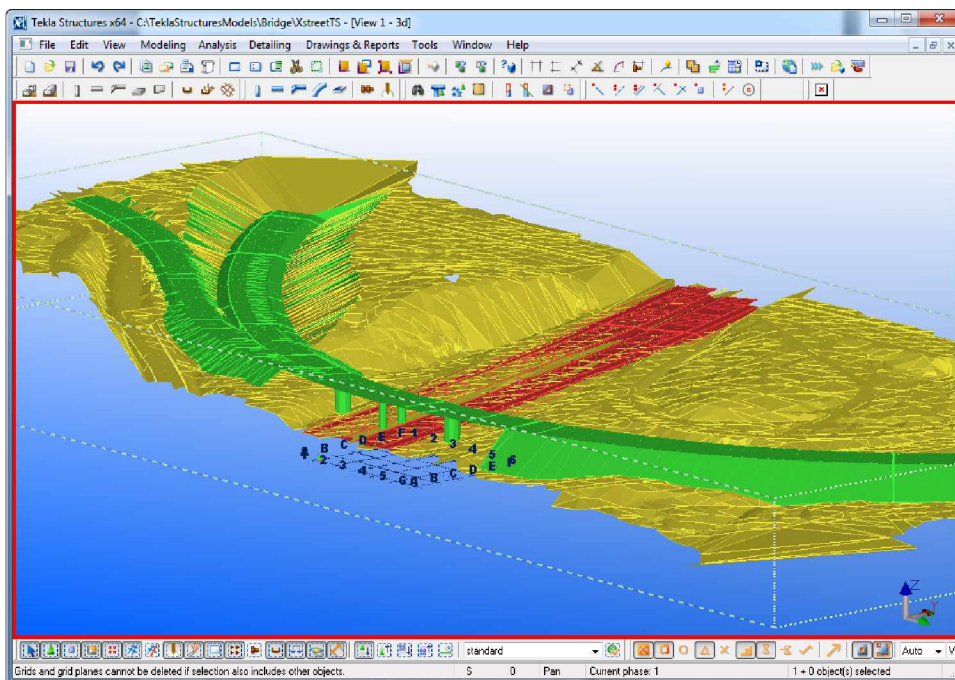
Siltamallinnusprojektit vaativat mallinnusohjelmistoon omat käyttöympäristöasetuksensa. Tekla kehitti yhteistyössä projektikonsortiossa mukana olevien suunnittelu- toimistojen kanssa Tekla Structuresin Suomi- ympäristön pohjalle siltaympäristön, joka käsittää numerointi- ja nimeämisuosituksen, rakennusosakohtaiset ominaisuusasetukset, näkymä- ja valintasuodatinasetukset, raporttipohjat sekä piirustus- pohjat.

Tekla Xstreetiin on aikaisemmin kehitetty rajapinta, josta voi lukea maastopintoja kolmioverkkoina sekä mittalinjoja. Tekla Structuresin yhteyteen kehitettiin sovellus, jolla Xstreetissä ylläpidetyt oleelliset tiesuunnitelman tiedot saadaan saumattomasti

siltasuunnittelijan käyttöön. Maastopinnat tuodaan IFC- muodossa Tekla Structures-malliin. Mittalinjojen avulla saadaan malliin luotua mittapisteitä tai jopa mallinnettua rakenteita, esimerkiksi siltakansi ja kaidetolpat.



Kuva 3.10. Käyttöliittymä prototyypistä geometriatiedon vaihtoa varten Tekla Xstreet - ja Tekla Structures -ohjelmistojen välillä.



Kuva 3.11. Tekla Xstreetistä tuotuja maastopintoja Tekla Structures- mallissa.



Rakennemalliin luotujen rakennusosien pinnat saadaan vietyä myös takaisin Xstreetiin, jolloin siltasuunnittelijan suunnittelemien rakenteiden sopivuus tiesuunnitelmiin voidaan todeta.

Tekla Xstreet keskustelee muiden tienrakennusohjelmistojen kanssa yleisen LandXML- tiedonsiirtoformaatin avulla. LandXML:n luku onnistuu tarvittaessa myös suoraan Tekla Structures- malliin, mikä todettiin tarkoitusta varten kehitetyn prototyypin avulla.

### 3.2.2 Vianova Systems Finland Oy

Koordinointimallien hyödyntäminen suunnittelussa parantavat selvästi suunnitelmien laatua sekä mahdollistavat suunnitteluosa-alueiden yhteistyön.

Mallin hyödyntäminen vaatii tiedonsiirtoa järjestelmien välillä. Tiedonsiirtoa kehittämällä voidaan poistaa ylimääräistä työtä, aikatauluskejä sekä mahdollisuuksia inhimillisiin erehdyksiin. Versionhallinta sekä aikatauluissa pysyminen helpottuvat tiedonsiirron kehittyessä. Tiedonsiirrossa tulee hyödyntää olemassa olevia ja kuvattuja formaatteja.

Pilotoinnissa hyödynnettiin ohjelmistojen välillä mm. DWG-formaattia sekä testattiin IFC:n ja LandXML:n soveltuvuutta. Todettiin, että kehittämällä tiedoston tulostus ja sisäänluku toiminnallisuuksia ohjelmistoissa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää tiedonsiirrossa LandXML ja IFC- formaatteja. Kyseiset formaatit ovat yleisesti markkinoilla käytettyjä standardeja ja niiden käyttöä ja kehitystä tulee tukea sekä jatkaa.

### 3.2.3 Geotrim Oy

Trimble ja Tekla ovat kehittäneet mittaussovelluksen, jossa hyödynnetään mallipohjaista suunnittelua suoraan työmaan merkintämittauksiin. Tekla Structures-ohjelmistolla suunnitellusta tuotemallista viedään mitattavat kohteet (esimerkiksi pilarien paikat) suoraan Trimble LM80-maastotietokoneeseen. LM80-maastotietokoneella ohjataan robottitakymetria tarvittavien mittauksen suorittamiseen.



Kuva 3.12. Periaatekuva tiedonsiirrosta Tekla Structuresin ja Trimblen takymetrin välillä.

Edellä kuvatulla mittausmenetelmällä saavutetaan useita etuja:

- mittausprosessi ja tiedonkäsittely yksinkertaistuvat
- vähemmän manuaalista datan käsittelyä -> vähemmän virheitä
- tarkemmat tulokset.

Tällä hetkellä tiedonsiirto on yksisuuntaista, mutta tulevaisuudessa on tarkoitus kehittää ”As-built”-linkki. Toteutumamittaukset saataisiin näin suoraan takaisin Tekla Structures tuotemalliin vertailua ja visualisointia varten.

### 3.2.4 Ponvia Oy

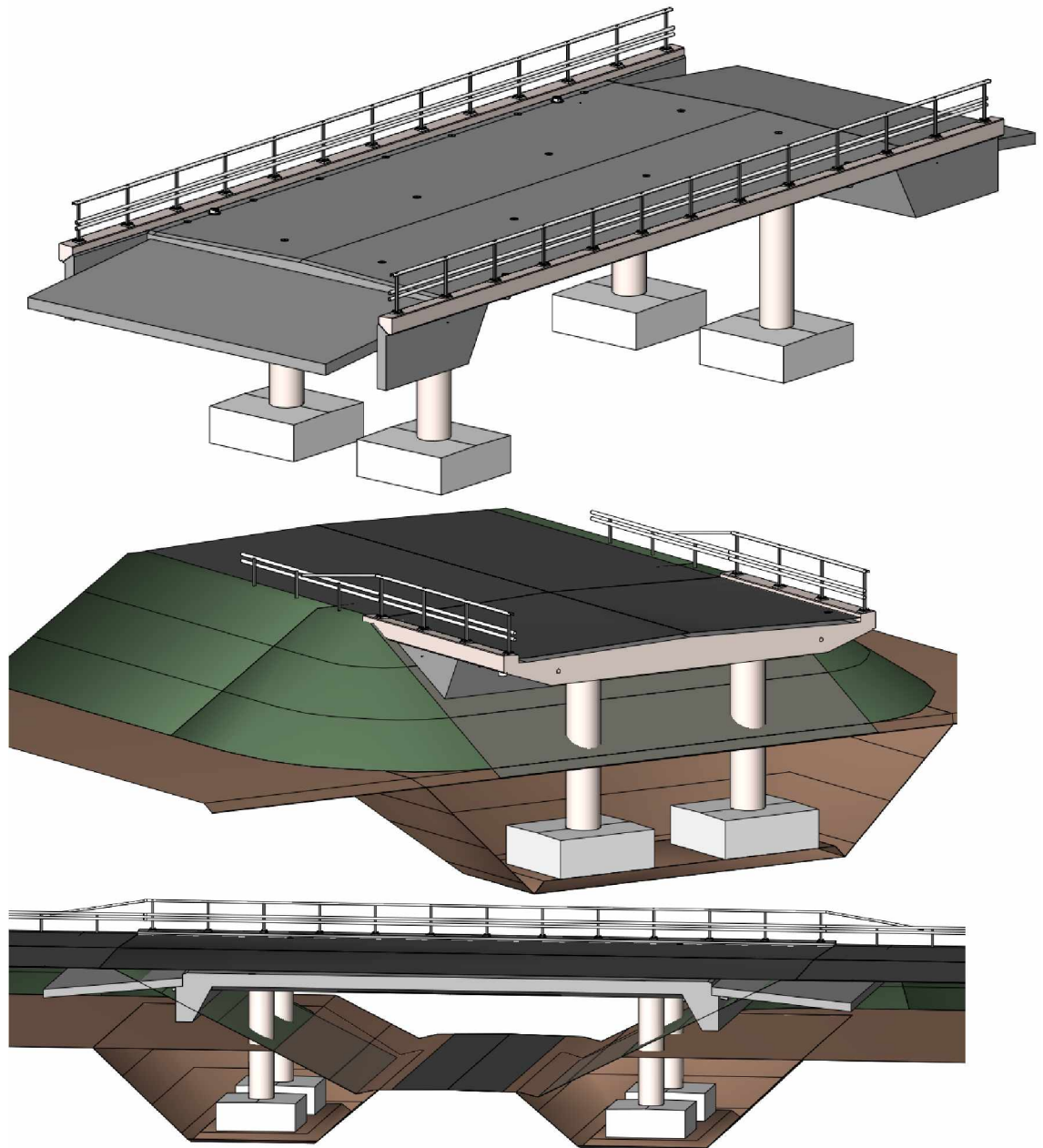
Tuomo Järvenpään diplomityössä tehtyjen tutkimusten perusteella Revit Structure 2011 -ohjelma soveltuu hyvin betonisiltujen yleissuunnitelmatasoiseen tietomallintamiseen ja erilaisten havainnekuvien tekemiseen. Ohjelmalla onnistuu hyvin sillan geometrian luominen, rakenteen mittojen parametrisointi ja mittapiirustusten tekeminen. Ohjelmalla voidaan muodostaa myös muuttuvapoikkileikkauksisia ja kaksoiskaarevia kansirakenteita. Tietomallin avulla saatiin muodostettua sillan kansirakenteen mitta- ja raudoituspiirustukset, sillan esimerkkiyleispiirustus sekä raudoitus- ja määräluettelot. Revit Structure -ohjelmalla voidaan hyödyntää tehokkaasti kolmiulotteista maasto- ja väylägeometriaa sillansuunnittelussa. Kohdesillan ympäristöstä mallinnettiin sillan ylittävän ja alittavan väylän tiegeometria sekä sillan keilat ja luisakat. Siltapaikan kaivannot ja täytöt mallinnettiin myös tietomalliin. Tästä on hyötyä erityisesti määrälaskennassa ja yleispiirustuksen muodostamisessa suoraan tietomallista.

Tietomalliin voidaan sisällyttää tietoa muun muassa rakennusosan materiaalista, betonin suojapeitteestä ja pintakäsittelyistä. Siltaan kuuluvat tyypilliset varusteet ja laitteet voidaan muodostaa parametrisina Family-komponentteina jolloin niitä voidaan siirtää projektista toiseen.

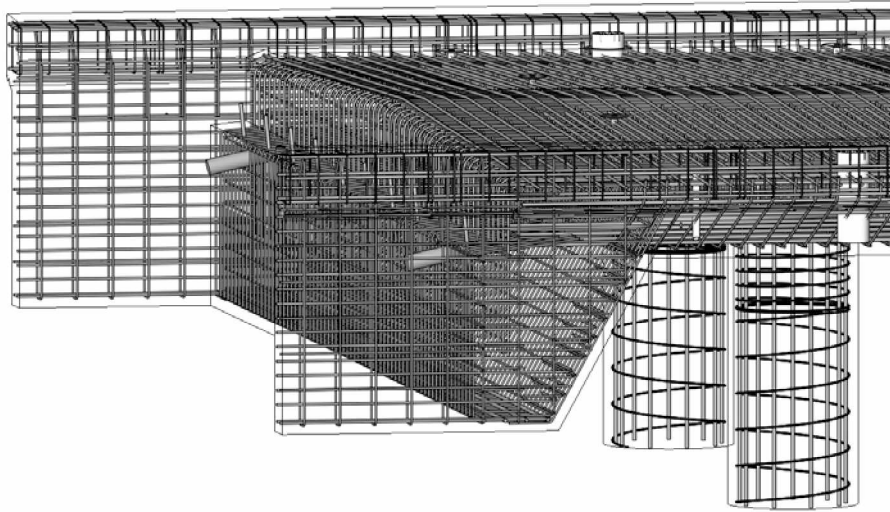
Revit Structure 2011 -ohjelman suurimmat puutteet liittyvät sillan raudoituksen mallintamiseen ja raudoituspiirustusten tuottamiseen. Ohjelmalla voidaan helposti raudoittaa vain geometrialtaan yksinkertaiset siltarakenteet. Pienikin kaarevuus aiheuttaa heti ongelmia raudoituksen mallintamisessa. Luseeraavien terästen muodostamiseen ei ole olemassa valmista työkalua.

Myös kaarevien terästen muodostaminen on vaikeaa ja hidasta. Erilaisten jonoterästen lisääminen olisi helpompaa jos ohjelmassa olisi mahdollista määritellä automaattiset jatkospituudet. Mallinnetun raudoituksen havainnollistamista pitäisi parantaa esimerkiksi näyttämällä eri taivutustyyppillä olevat teräkset eri väreillä. Raudoitepiirustusten tekemiseen ei ole ohjelmassa kovinkaan monipuolisia työkaluja. Ainoastaan terästen positiomerkinnoille on olemassa valmis automatiikka. Ohjelmaan tarvitaan perustyökalut osoittamaan piirustuksessa olevat raudoitetangot sekä tekemään automaattiset terästen ulosvedot.

Ohjelma tarvitsee vielä paljon kehitystyötä ennen kuin raudoituksen mallintaminen ja raudoituspiirustusten tuottaminen onnistuu niin hyvin, että ohjelmalla saadaan raudoitettua geometrialtaan haastavimmatkin sillat. Ohjelman kehittämisessä tulisikin panostaa erityisesti raudoitustyökaluihin, sillä tämä on selkeästi ohjelman suurin puute muodostettaessa rakennussuunnitelmatasoisista tietomallia.



Kuva 3.13. Autodesk Revit Structure 2011 -ohjelmalla mallinnettu Bul-tyyppi piirustussarjan silta (Ponvia Oy, Tuomo Järvenpää).



Kuva 3.14. Autodesk Revit Structure 2011 -ohjelmalla mallinnettu siipimuurin ja kannen päädyn rauditus (Ponvia Oy, Tuomo Järvenpää).

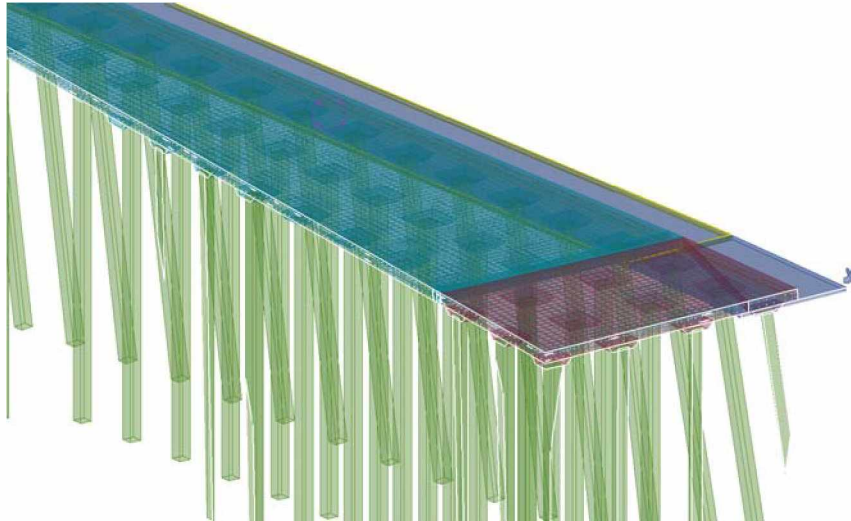
Revit Structure -ohjelmalla ei onnistuttu luomaan tarkoituksenmukaista kansirakenteen analyysimallia suoraan tietomallista. Tämä johtui työssä käytetystä kansirakenteen mallintamistavasta. Kansi muodostettiin palkki-tyyppisenä Family-objektina pursottamalla kansilaatan profiilia tien ohjausviivaa pitkin. Ohjelma muodostaa palkkiobjektien analyttisen mallin automaattisesti niiden pursotuksessa käytettyä ohjausviivaa pitkin. Tästä johtuen laattasilan kansirakenne on kuvattu tietomallissa palkin analyttisellä mallilla. Laattasiltojen kunnollinen analysointi vaatii FEM-laskennassa laattaelementtien käyttöä, jolloin rakenteen poikki- ja pituussuuntainen käyttäytyminen tulee huomioitua oikein. Ohjelman muodostamaa palkkimallia ei voida siis hyödyntää laattasilan analysoinnissa eli rakenneanalyysimalli joudutaan muodostamaan analysointiohjelmaan uudestaan.

Analyysimallin muodostaminen FEM-ohjelmistoihin on kokeneelle suunnittelijalle verrattain yksinkertainen ja nopea prosessi. Tietomallista suoraan muodostettu analyysimalli ei siis säästäisi ajassa kuin korkeintaan muutamia tunteja. Ajansäästöä suurempi hyöty tulisi kuitenkin tietomallin ja rakenneanalyysiohjelman kaksisuuntaisesta tiedonvaihdosta. Ohjelmien välisestä tiedonsiirrosta olisi erityisesti hyötyä, jos rakenneanalyysiohjelma osaisi mitoittaa siltarakenteeseen tarvittavan raudituksen luotettavasti. Valmis rauditus voitaisiin suoraan siirtää analysointi- ja mitoitusohjelmasta sillan tietomalliin.

### 3.2.5 Finnmap Consulting

Finnmap Consulting Oy on testannut siltojen ja muiden infrarakenteiden (melusteet, paalulaatat) tietomallipohjaisia suunnittelumenetelmiä ja tehnyt siihen liittyvää omaa kehitystyötä. Kehitystyötä on tehty yhteistyössä Siltanylund Oy:n ja Teklan kanssa.



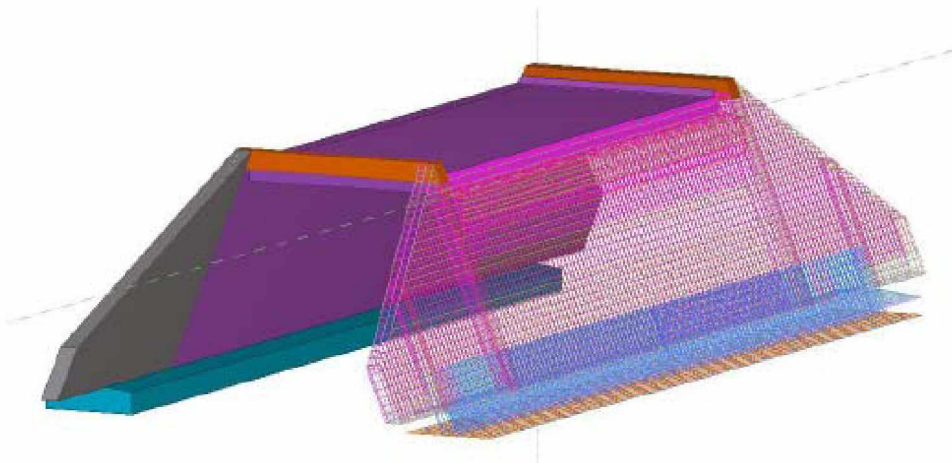


Kuva 3.15. Suurpellon eritasoliittymän paalulaatan Tekla Structures -tuotemalli (Finnmap Consulting).

### 3.2.6 A-Insinöörit Oy

Tekla Structuresin siltatyökaluja koekäytettiin mallintamalla VT6-hankkeelta Jänhiälän risteyssilta S213. Tavoitteena oli kehittää A-Insinöörien TS- siltaympäristöä ja mallinnusosaamista. Pilottiprojektin aikana todettiin, että kaksoiskaarevan kannen ja raudoitusten mallinnus Tekla Structuresin työkaluilla onnistuu, mutta haasteitakin riitti. Piirustustuotannossa ylimääräistä työtä aiheutti mm. valmiiden piirustusasetusten puute. Jänhiälän risteyssillan mallintamisesta saaduista kokemuksista ja havainnoista kirjoitettiin raportti, joka toimitettiin Teklan ja Liikenneviraston käyttöön. Malli toimitettiin sillan urakoitsijan Destian käyttöön ja mallin käytöstä pidettiin myös yhteinen palaveri työmaalla.

5D-Silta2 -hankkeen osaprojektina toteutettiin myös yksi opinnäytetyö. Tavoitteena työssä oli luoda usean pienemmän komponentin sijaan yksi suuri parametrinen komponentti teräsbetonisesta vinojalkaisesta laattakehäsilasta käyttäen apuna Blk II -tyyppiinpiirustuksia. Lähtökohtana oli, että siltatyyppin sisällä rakenne ja raudoitusperiaatteet ovat samanlaiset ja variaatio on pääasiassa mitoissa ja raudoitemäärissä, mutta rakenne on kuitenkin liian monimutkainen toteutettavaksi useana pienenä komponenttina. Komponentti luo kokonaisesta sillasta mallin kaikkine raudoituksineen ja sen lukuisia parametreja voidaan muokata suoraan yksinkertaiselta asetusivulta. Perustapauksissa komponentti osoittautui toimivaksi. Tulevaisuuden jatkokehitysmahdollisuuksia ovat esimerkiksi raudoitusten päivittäminen Eurokoodien mukaisiksi, mallipiirustusten luominen käyttäen Structuresin Master Drawing Catalog -toimintoa sekä ensimmäisessä vaiheessa poisrajattujen ominaisuuksien kuten vinouden ja muuttuvan poikkileikkauksen toteuttaminen.



Kuva 3.16. Laattakehäsilta komponentti raudoituksineen.

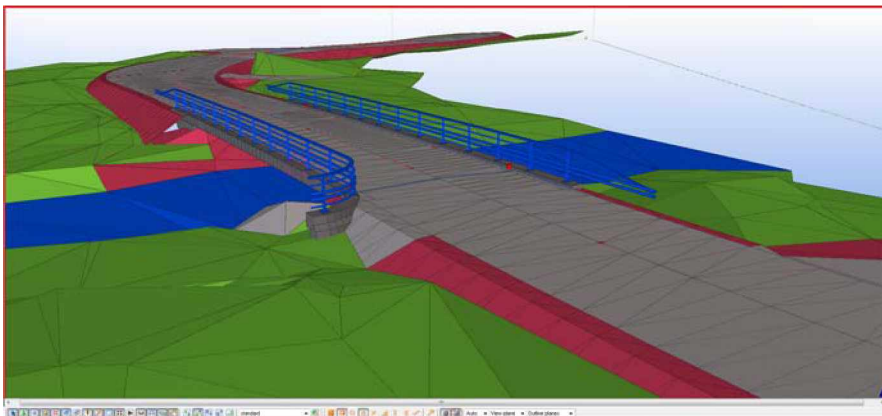
5D-SILTA2 -hankkeen aikana Tekla kehitti NET-sovelluksen Xstreet väylämallin siirtämiseksi Structuresiin. Työkalua testattiin Ratinan kauppakeskuksen suunnittelussa siirtämällä katusuunnitelmista päällysrakenteiden pintoja rakennesuunnittelijan avuksi TS-malliin. Pintoja käytettiin apuna mm. monimutkaisten maanalaisten rakenteiden suunnittelussa. Työkalut todettiin toimiviksi ja helppokäyttöisiksi, mutta katu- ja rakennesuunnitelmien erilaiset koordinaattijärjestelmät ja siitä aiheutuvat muunnokset aiheuttivat lisätyötä.

A-Insinöörit Suunnittelu Oy osallistui myös Bridge Finland -projektissa siltojen tietomalliohjeiden laadintaan.

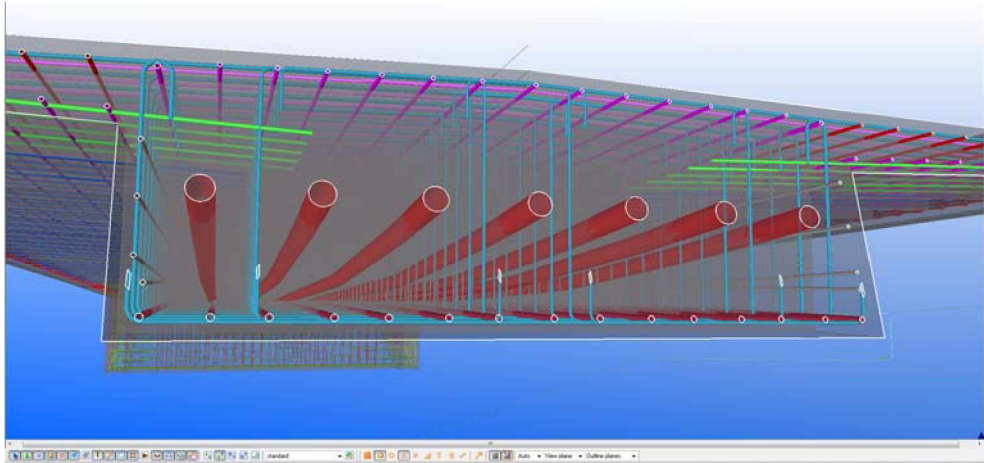
### 3.2.7 Siltanylund Oy

Siltanylund Oy jatkoi sillan tietomallipohjaisten suunnittelumenetelmien ja siihen liittyvien työmaapalveluiden kehittämistä. Sisäistä kehitystä on viety eteenpäin erityisesti piirustustuotannossa TS-mallista. Sillanmallinnus työkaluja on edelleen testattu ja kehitetty eteenpäin yhteistyössä Teklan kanssa.

Pilottikohteena on ollut mm. Mynämäelle tehtävä Karjasilta, jonka suunnitelmat tehtiin Tekla Structuresin avulla. (Kuva 3.17)



Kuva 3.17 Mynynmäen Karjasilta (Siltanylund Oy).



Kuva 3.18 Mynymäen Karjasilta (Siltanylund Oy).

### 3.2.8 Destia Oy

Destia Oy siltasuunnittelussa kasvatettiin osaamista ja valmiuksia aloittaa tietomallipohjainen siltasuunnittelu. Henkilöitä koulutettiin Tekla TS -ohjelmiston käyttäjiksi. Destian siltasuunnittelussa mallinnettiin yksi rautatiesilta kokonaisuudessaan TS-ohjelmistoa käyttäen. Destian kumppaniyrityksessä, Siltanylund Oy:ssä, mallinnettiin yksi vaativa vesistösilta sekä yksi tavanomaisempi risteyssilta. WSP Finland Oy mallinsi projektinaikana Destialle kaksi siltaa.

Toteutettujen kolmen sillan tietomallit olivat testialustoina Kemissä selvittäessä tietomallin hyödynnettävyyttä työmaalla. Mallinnettujen siltojen avulla selvitettiin työmaamittauksiin sekä määrä- ja tarjoustoimintaan liittyvää problematiikkaa. Kokemusten perusteella 5D-ST projektin aikana tehtyjä toiminnallisuuksia kehitettiin edelleen. Mallinnettujen siltojen sisältämää tietoutta pyrittiin hyödyntämään vaikeiden siltojen jännegeometrian ja piirustusten tuottamiseen liittyvissä asioissa.

Destia Oy:n käyttämien siltasuunnittelutoimistojen osaaminen todettiin projektin keston aikana olevan hyvällä tasolla. Oman siltasuunnittelun osaamistasoa on parannettava. Piirustusten tuottaminen havaittiin olevan vaikean. Tätä osa-aluetta on kehitettävä voimallisesti, jotta tietomallinnetusta ratkaisusta saadaan kaikki hyöty irti. Suunnittelijoiden halukkuus ja tahtotila tehdä tietomallipohjaista siltasuunnittelua on hyvällä tasolla.

Työmailla testialustoina olleiden siltojen osalta todettiin, että tietomallin sisältämää tietoutta voidaan hyödyntää siltaan liittyvissä mittauksissa, määrien hallinnassa ja aikataulun laadinnassa sekä sen hallinnassa. Testatuilta osin todettiin hyödynnettävyyden olevan helppoa ja yksinkertaista oppia. Työmaiden halukkuus käyttöönottoon on alhainen. Käyttöönottokynnystä voidaan alentaa antamalla työmaalla toimiville henkilöille koulutusta tietomallin sekä siinä tarvittavien ohjelmistojen käyttöön. Lisäksi alkuvaiheissa on turvattava riittävän hyvätasoinen tuki työmaiden käyttöön.

Projektin tuloksena tehtiin ST- siltaurakoinnin kehittäminen 5D- teknologiaa hyödyntämällä (5D-ST)- loppuraportti sekä 5D-ST toimintamallikuvaus. Loppuraportissa on kuvattu Tekes-tukea saaneen projektin sisältö. Toimintamallikuvauksessa keskityttiin kuvaamaan tietomallin käyttöä ST- urakan eri vaiheissa. Toimintamallikuvaus sisältää tietomallin laadinnan käyttäjä- ja tieto-sisältötarpeineen tarjouslaskentavaiheen

aikaisesta vaihtoehtojen vertailusta, tietomallin hyödyntämiseen tarjouslaskennan aikana. Lisäksi on kuvattu tietomallin hyödyntämismahdollisuudet ja -tavat projektin toteutuksessa työmaalla. Toimintamallikuvauksessa on avattu tietomallia käyttävien tai sen tekemiseksi tarvittavien henkilöiden tehtävät aina väyläsuunnittelijalle asetettavista tietotarpeista tietomallipohjaisen silta-suunnitelman laatimiseksi silta-suunnittelijan toimesta, tarjouslaskijan ja työmaahenkilöstön eri tehtäviin. Toimintamallikuvauksen liitteeksi on laadittu kattavasti selkeitä ja seikkaperäisiä ohjeita käyttäjien tueksi.

5D-ST projektin ja siihen liittyvien työmailla tehtävien rinnakkaisprojektien lisäksi Destia Oy osallistui Custom Component projektiin. Destia vastasi CC- projektissa H2-kaiteen komponentin teosta.

Projektin toteutuksesta sen kaikilta osin Destiassa vastasivat Ari-Pekka Olkkonen ja Minna Salonsaari.

### **3.2.9 Oy VR-Rata Ab**

Katosten teräsrakenteiden mallinnus sujui hyvin kokeneen mallintajan toimesta. Muu mallintaminen tehtiin raportointia varten havainnekuvaperiaatteella. Kyseisessä projektissa oli kuitenkin aikomus tehdä työmaata varten pilottimalli, jolla tähdätään pitkän alikäytävän työvaiheiden mallintamiseen siten, että voidaan tehdä rakenteiden pääpisteiden mitoitus suoraan mallista ja verrata työmaalla tehtäviä tarkemmittauksia suoraan malliin. Tarkoitus on mallintaa myös eri työvaiheisiin liittyviä kaivu- ja täytörajoja sekä työnaikaisia tukiseinärakenteita. Pilottiprojekti on todennäköisesti sopiva kohde, jossa mallintamisessa on mahdollista saada selkeää hyötyä työmaalla moninaisten työvaiheiden kuvaamisessa ratapiha-alueella, jossa on ahtaat työalueet ja työalueilla tiukat rajat.

## 4 Arviointi ja johtopäätökset

5D-SILTA2-konsortion ns. Bridge Finland -projektissa kehitettiin silta-alalle yhteiset tuotemallintamisohjeet, joiden kokeilu ja käyttöönotto voidaan vuoden 2011 alusta aloittaa. PPP5D-projektissa mallinnettiin yleisellä tasolla Kakkola-Ylivieska-kaksoisraiteen rakentamista varten myös siltojen 3D-tuotemallintamisen ja 3D-mittausten hyödyntämistapoja ja -mahdollisuuksia. Custom components -projektissa tuotettiin siltasuunnittelijoille käyttökelpoisia sillansuunnittelun aputyökaluja. 3D-GPR-projektissa tutkittiin ja kehitettiin siltojen 3D-mittausprosessia. Tässä projektissa tarkastelun kohteena oli erityisesti 3D-siltatutkaus (Ground Penetrating Radar) ja -laserkeilaus. Helsingin Crusellin vinoköysisilta, jossa kehittämistyöt toteuttivat Helsingin kaupunki, Skanska Infra Oy ja WSP Finland Oy, on merkittävin yksittäinen 3D-tuotemallintamisen ja urakoitsijan hyödyntämisen kehittämiskohde. Ns. 5D-Vt8 -projektissa kehitettiin ja kokeiltiin väyläsuunnittelun ja sillansuunnittelun integraatiota ja yhteistyötä.

Edellä mainittujen 5D-SILTA2-osaprojektien lisäksi kehittämistyötä on tehty useissa yritysten toteuttamissa kehittämisprojektissa, joista mainittakoon Tekla Oyj:n tekemä kehitystyö Tekla Structures -toiminnallisuuden parantamiseksi, Ponvia Oy:n tutkimus Revit Structure -tietomallintamisen kehittämiseen sekä Destia Oy:n merkittävä 5D-ST-kehittämisprojekti urakoitsijan toimintamallin kehittämiseksi.

3D-tietomallintamisen ja automaation kehittämisessä ja hyödyntämisessä silta-alalla on vielä paljon tehtävää. Kehitetty siltojen tietomalliohje on yksi tärkeä askel alan yhtenäisten toimintamallien kehittämisessä ja käyttöönottamisessa. Suunnitteluohjelmat, -sovellukset ja -työkalut eivät ole vielä valmiita, vaan niissä on selviä puutteita ja ongelmia. Ongelmia ja puutteita on dokumentoitu tehdyissä osaprojekteissa ja aiemmissa kokeiluissa Tekla Structures-, Revit Structures ja Solidworks-ohjelmistojen osalta. Tuotemallintamisen laajempaa hyödyntämistä suunnittelussa tulisi edistää tarvittaessa myös tilaajan asettamin vaatimuksin. Kehitetty siltojen tietomallintamisohje on tärkeä askel tähän suuntaan. Myös esimerkiksi siltojen mittausten ohjeistusta tulisi jatkossa kehittää. Väyläsuunnittelun ja sillansuunnittelun välinen tiedonsiirto ja yhteistyö tulisi olla mahdollisimman sujuvaa ja vaivatonta. Urakoitsijoita olisi jatkossa saatava vahvemmin mukaan siten, että tehdään rohkeasti projektia ja kehitetään toimintatapoja ja ohjelmistoja sen mukaan.

Sillansuunnittelun ja -rakentamisen aikataulut ovat jatkuvasti kiristyneet ja tämän seurauksena tuotemallinnuksen mukanaan tuomiin etuihin on havahduttu myös silta-toimialalla. Jatkuva kilpailu ja kiristyvät aikataulut luovat tarpeen kehittää mallinnustyökaluja, jotka mahdollistavat tehokkaamman ja virheettömämmän suunnittelun. Yhtenä keinona on suunnittelutyön rutiinien automatisointi, jolloin oleellisempaan luovaan suunnitteluvaiheeseen jää enemmän aikaa.

Suunnittelua helpottavien ja nopeuttavien työkalujen laatiminen etenee parhaiten yhteistyössä toteutettujen kehityshankkeiden ja pilotointien kautta. Niiden läpiviemiselle tulee määrittää selkeät tavoitteet ja resurssit. Myös piirustusten laatutasoon on kiinnitettävä huomiota. Tähän yleiset tuotemallin piirustusstandardit sekä piirustus-, nimeämis- ja numerointiasetukset toisivat helpotusta. Näihin asetuksiin ja ohjeistuksiin onkin syytä panostaa työn tehokkuuden kasvattamiseksi. Yhtenäinen numerointi mahdollistaisi myös laatuvaatimusten automaattisen kytkemisen tuotemallintamiseen.

Suomessa silta-alan kehittämistyötä tehdään myös käynnistyvässä RYM Shok PRE -ohjelman InfraFINBIM-työpaketissa, jossa silta-alaan liittyy Oulun yliopiston ns. Bridge Automation -tutkimusprojekti. Raportin viimeistelyvaiheessa myös alan yhteinen 5D-SILTA3-kehittämisvaihe oli käynnistymässä. Jatkotutkimukselle ja -kehitystyölle myös kansainvälinen toimintaympäristö ja yhteistyömahdollisuudet ovat aiempaa paremmat. Siltoihin liittyvien toimintaprosessien, teknologioiden ja -ympäristöjen kehitystyössä Suomen arvioidaan voivan ottaa jopa teknologian kehittäjän ja edelläkävijän roolin.



## Viiteraportit

Järvenpää, T. (2010) Siltojen suunnittelu Revit Structure -tietomallin avulla. Oulu, Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Konetekniikan osasto, Rakennesuunnittelun ja rakentamisteknologian laboratorio, diplomityö, 95 s. + liitteet 22 s.

Heikkilä, R. & Kivimäki, T. & Haapalahti, A. (2009) 5D-tekniikan ja automaation hyödyntämisen selvittäminen Public Private Partnership -mallilla toteutettavaan Kokkola-Ylivieska-kaksoisraiteen rakentamishankkeeseen (PPP 5D). Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä, tutkimusprojektin loppuraportti, 32 s.

Heikkilä, R. & Kivimäki, T. & Leppälä, A. & Mikkonen, M. (2009) GPR-siltatutkauksen (Ground Penetrating Radar) 3D-kalibrointi – case Kajaanin Varikkosilta. Tutkimus- ja kehittämisprojektin loppuraportti, 27 s. + liitteet.

Hänninen, K. & Heikkilä, R. & Kivimäki, T. (2008) Tiesiltojen mallinnuksessa käytettävien 3D-komponenttien kirjaston luominen (Custom Components). Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA). Kehittämisprojektin loppuraportti, 18 s. + liitteet.

Siltojen tietomalliohjeet (2010) Siltojen tietomalliohjeet – suunnittelu- ja toteutusvaiheiden ohjaus. Liikenneviraston ohjeita (201?), 18 s. + liitteet.

## Lähdeluettelo

Heikkilä, R. & Halme, J.-M., Paitsola, J. & Hänninen, K. & Kuusela, K. (2007). Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen. Laserkeilaamalla saadun 3D-pistepilven vertaaminen 2D-siltapiirustusten perusteella mallinnettuun 3D-tuotemalliin. Oulu, Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Loppuraportti. 65 s.

Heikkilä, R. & Hänninen, K. & Karjalainen, A. & Mikkonen, M. & Tiiri, V. (2007) Sillanrakentamisen automaatio – case Kajaanin varikkosilta. Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen. yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmän tutkimusraportti. Oulu, Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Loppuraportti. 29 s.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2004) Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Loppuraportti, Tienpidon digitaalisen toimintaprosessin kehittäminen ja rakentamisen automatisointi. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 61/2004, ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-418-4, TIEH 3200915, 71 s.

Heikkilä, R. & Karjalainen, A. & Pulkkinen, P. & Haapa-aho, E. & Jokinen, M. & Oinonen, A. & Jaakkola, M. (2005) Siltojen 3D-suunnittelu-, ja -mittausprosessin kehittäminen ja käyttöönotto (Älykäs silta). Tuotekehitysprojektin loppuraportti. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 12/2005, ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-459-1, TIEH 3200924, 64 s.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M., & Pulkkinen, P. & Karjalainen, A. & Haapa-aho, E. & Jokinen, M. (2004) Siltojen 3D-suunnittelu- ja -mittausjärjestelmän kehittäminen (Älykäs silta). Helsinki, Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 36/2004. Tutkimus- ja tuotekehitysprojektin väliraportti. Helsinki, Oy Edita Ab, ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-303-x, TIEH 3200886. 61 s.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2005) The Role and Benefits of Visualization in 3-D Street and Bridge Design. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 54-.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. & Pulkkinen, P. (2003) Connecting 3-D Concrete Bridge Design to 3-D Site Measurements. ISARC'2003, 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 21-24 September 2003. Eindhoven, the Netherlands, pp. 259-264.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. & Pulkkinen, P. (2004) Modelling Measurements and Measuring Models – Problems and Solutions of 3-D Geometrical Control in Concrete Bridge Engineering. ISARC'2004, 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 21-25 September 2004. Jeju, Korea, pp. 81-84.

Heikkilä, R. & Pulkkinen, P. & Karjalainen, A. & Jaakkola, M. (2005) On the Economy and Benefits of 3-D Design Method in Bridge Engineering. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 70-.

Pulkkinen, P. & Karjalainen, A. & Heikkilä, R. (2008) 5D Bridge – Development of 5D Process and Tools for Bridge Engineering. IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineering), Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice, Helsinki, Finland, pp. 68-69.

Heikkilä, R. & Kivimäki, T. (2009) Integrating 5D Product Modelling to On-site 3D Surveying of Bridges. ISARC'2009, The 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 24-27 June 2009, Austin, Texas, U.S.A., pp. 445-450.

Kivimäki, T. & Heikkilä, R. (2010) Bridge Information Modelling (BrIM) and Model Utilization at Worksites in Finland. ISARC'2010, The 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 25-27 June 2010, Bratislava, Slovakia, pp. 505-513.

Heikkilä, R. (2008) Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA). Tuotekehitysprojektin loppuraportti. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä xx/2008, ISSN 1457-9871, 50 s.





