



■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PUTKISILLAT JA MALLINNUSKOMPONENTIN KEHITTÄMINEN

TEKIJÄ: Kimmo Paukkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Kimmo Paukkonen	
Työn nimi Putkisillat ja mallinnuskomponentin kehittäminen	
Päiväys	27.5.2015
Sivumäärä/Liitteet	31
Ohjaaja(t) Viljo Kuusela (lehtori) ja Juha Pakarinen (tuntiopettaja)	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Rumtec / Viacon Oy	
Tiivistelmä	
<p>Viacon Oy valmistaa Vimpelissä Rumtec–rumputuotteita ja putkisiltatuotteita. Nämä tuotteet muodostavat monipuolisen rumpu- ja siltavaliokoman. Yritys kuuluu ISO 9001 laatujärjestelmän piiriin ja tuotteilla on CE-merkinnät. Yrityksellä oli olemassa CAD-kuvat yrityksen putkisilloista. Tietomallinnuksen edelleen yleistyessä ja laajentuessa yhä enemmän myös infra- ja silta-alalle, yritys halusi päivittää CAD-kuvat tietomalleiksi. Tässä työssä tarkoituksena oli selvittää mitä vaatimuksia putkisiltojen tietomallintamiselle on, sekä tehdä yhdestä putkisiltatyypistä kevyt tietomalli ja lisäksi miettiä tuotteiden mallinnuskomponenttien jatkokehitystarpeita. Siltojen tietomallintamiselle asetetut vaatimukset määrittää Liikennevirasto, jolla on ohjeet siltojen tietomallintamiselle ja samat ohjeet pätevät myös putkisiltojen tietomallintamiseen.</p> <p>Työssä tarkasteltiin putkisiltojen käyttökohteita ja putkisiltojen etuja verrattuna muihin tyyppisiin siltoihin. Työssä tarkasteltiin myös tietomallintamista infra-alalla yleensä ja myös siltojen tietomallintamista. Tässä työssä komponenttien mallintamisessa käytettiin Tekla Structures-ohjelmaa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin putkisiltojen mallinnusvaatimukset ja mallinnustarkkuus siltojen eri suunnitteluvaiheisiin sekä kevyt tietomalli Viacon Oy:n holvisilta KASista. Lisäksi opinnäytetyössä pohdittiin mallinnukselle ja eri komponenteille jatkokehitysideoita.</p>	
Avainsanat Tietomallinnus, Rumpusilta, Tekla Structures, Custom component	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Building and Structural Engineering			
Author(s) Kimmo Paukkonen			
Title of Thesis Curverts and developing of custom components			
Date	27 May 2015	Pages/Appendices	31
Supervisor(s) Mr. Viljo Kuusela, Lecturer and Mr. Juha Pakarinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Rumtec / Viacon Ltd			
<p>Abstract</p> <p>Viacon Ltd. manufactures Rumtec-drum products and culverts in Vimpeli. These products form a diversified range of drum products and culverts. The company belongs to the ISO 9001 quality management system and products are CE marked. The company had CAD drawings of culverts. Building information modeling (BIM) increasing more common also in infrastructure and bridge industry, the company wanted to upgrade the CAD drawings to Building Informaton Models. In this work, the purpose was to find out what the requirements of modeling culverts, as well as light data model for a single culvert type, and in addition to consider the modeling component products for further development. The requirements for bridge information modeling set by the Finnish Transport Agency, must be applied to the culverts BIM.</p> <p>The use of culverts objects and advantages of the culverts compared to the other typical bridges were examined. The BIM in the infrastructure sector in general, including a bridge information modeling was also studied. In this work Tekla Structures software was used for the modeling of components.</p> <p>As a result of this thesis the requirements for modeling culverts and modeling accuracy for various design phases of bridges and a light data model for Viacon Ltd's bridge KASI were achieved. In addition, the modeling and ideas for various components of the further development were discussed.</p>			
Keywords Tekla Structures, culvert, bridge, custom component			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	PUTKISILLAT	6
3	TIETOMALLINTAMINEN	11
3.1	Tietomallinnus siltatoimialalla	11
3.2	Tietomallintaminen sillan suunnitteluvaiheessa	12
3.2.1	Esi- ja yleissuunnittelu	12
3.2.2	Siltasuunnitelma.....	13
3.2.3	Sillan rakennussuunnitteluvaiheen tekniset ohjeet	14
3.2.4	Muita yksityiskohtia	14
3.2.5	Koordinaatisto ja mittayksiköt	15
3.3	Mallinnuksessa käytettävä ohjelmisto	16
4	TERÄSPUTKISILTOJEN SUUNNITTELUPROSESSI	17
4.1	Putkenvalinta.....	18
4.1.1	Putkisillan käyttötarkoitus	18
4.1.2	Vesistö sillan hydraulinen mitoitus	18
4.1.3	Pohjaolosuhteet	18
4.2	Putkisillan materiaalivaatimukset	19
5	PUTKISILLAN MALLINNUSKOMPONENTIN KEHITYSTYÖ.....	20
5.1	Antura ja siipimuri.....	20
5.2	Teräskaari.....	24
6	TULOKSET JA POHDINTA.....	28
7	MALLIN JATKOKEHITTÄMINEN	29
	LÄHTEET.....	31

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön lähtökohtana on työn tilaajan Viacon Oy:n, aikaisemmin Rumtec Oy, valmistamista putkisilloista saada tietomallia. Yrityksellä on CAD-kuvat siloista ja ne on tarkoitus saada päivitettyä tietomalleiksi tai mallinnus komponenteiksi. Tietomallintamisen käyttö infrahankkeiden lähtötietojen hankinnassa, suunnittelussa, toteutuksessa ja ylläpidossa on lisääntynyt voimakkaasti. Jatkossa tavoitteena on laatia hankkeiden suunnittelussa yhtenäisiä infran yhdistelmämalleja. Myös sillat ja muut taitorakenteet halutaan osaksi kokonaisuutta, jolloin voidaan varmistaa suunnittelun yhteneväisyys eri tekniikkalajien välillä. Tietomallinnus tuo alalle tuottavuutta ja laatua.

Taitorakenteiden suunnittelussa tietomallintamisen käyttö on lisääntynyt viime aikoina voimakkaasti. Siltojen suunnittelussa ollaan siirtymässä pelkästään mallipohjaiseen suunnitteluun. Mallintamisen tarkoituksena sillan suunnittelussa on kolmiulotteisen tarkastelun avulla laatia mahdollisimman viihtömiä suunnitelmia, kerätä informaatio yhteen paikkaan sekä siirtää informaatio muille osapuolille. Näin voidaan tehostaa rakentamisprosessia sekä taloudellisesti että laadullisesti.

Tässä työssä on tavoitteena selvittää putkisillan tietomallin sisältöä. Mitä vaatimuksia esimerkiksi Liikennevirastolla ja tilaajilla on tietomallille. Lopuksi tavoitteena on tehdä yhdestä putkisilta tyypistä kevyt tietomalli. Tässä työssä mallia kehitetään Viacon Oy:n holvisilta KASI:sta. Viacon Oy:n tavoitteena on saada tietomallit heidän asiakkaiden käyttöön vapaasti yrityksen sivuilta ladattavaksi, kuten tähän saakka siltojen CAD-kuvat ovat olleet. Mallinnus tehdään tässä työssä käyttämällä Tekla Structures-ohjelmaa.

Työn alussa esitellään eri rumpusilta tyyppisiä ja rumpusiltojen käyttökohteita. Työssä esitetään myös tietomallinnusta yleensä infra-alalla sekä siltasuunnittelun vaatimuksia ja suunnittelun tarkuutta suunnittelun eri vaiheissa.

2 PUTKISILLAT

Putkisilloja ovat kaikki vähintään 2 metrin vapaa-aukolliset putket ja tätä pienemmät luetaan rumputkiksi. Putkisillojen käyttökohteita ovat pääasiassa kevyenliikenteen väylät ja jotkin vesistöjen alitukset. Putkisilloja voidaan käyttää myös ratarakenteissa. Putkisillat ovat enimmäkseen aallotettuja teräsputkia ja niitä käytetään edellä mainituissa kohteissa sekä siltoina että rumpuina. Putkisilloja on erityyppisiä ja ne jaetaan eri tyypeihin rakenteen ja valmistustavan mukaan. Aallotettu teräsputki (kuva 1), valmistetaan aallotetusta teräsputkesta tai teräsnauhasta. Kierresaumattu putki (kuva 2), valmistetaan saumaamalla tai hitsaamalla teräsnauhasta. Nämä putkisillat ovat siis valmistettu pelkästään aallotetusta teräsputkesta. Näiden käyttökohteita on vesistösiltoja ja -rummut. Vesistöihin nämä soveltuvat hyvien virtausominaisuuksien puolesta erinomaisesti. Myös matala rakenne on eduksi vesistösiltoissa ja -rummuissa. Putkia voidaan laittaa kaksi tai useampi rinnakkain jos halutaan vielä matalampaa rakennetta ja vesimäärät ovat isot. Mahdollinen veneliikenne määrittää lisäksi aukkovaatimuksia. (Liikenneviraston ohjeita, teräsputkisillat, suunnitteluohje 2.2.2012)



Kuva 1. aallotettu teräsputki (jpnews.fi, 10.6.2013)



Kuva 2. kierresaumattu putki (a-kupsu.com)

Monilevyrakenne (kuva 3), valmistetaan taivutetuista teräslevyistä kasaamalla. Holvisilta (kuva 4) on betonianturoista ja teräskaaresta valmistettu silta. Box Culvert -silta (kuva 5) on monilevyrakenteinen silta, jonka kaari on loiva ja kaaren alapään sivut suorat. Monilevyrakenteisia rumpusiltoja käytetään sekä liikenne- että vesitösiltoina. Monilevyrakenteisissa rumpusilloissa on yleensä teräsbeetonianturat joiden päälle profiloitu teräskaari asennetaan. Tällä rakenteella saadaan vapaa-aukko isommaksi. Box Culvert -sillassa teräskaaren kaari on loivempi ja alasivut suorat, mikä mahdollistaa hieman suuremman aukon leveyden. Kuvista 3, 4 ja 5 näkyy näiden siltojen eroavaisuudet vapaa-aukon koossa. (Viacon Oy, nettisivut)



Kuva 3. monilevy rakenne (yle.fi)



Kuva 4. holvisilta (Viacon Oy)



Kuva 4. Box Culvert -silta (Viacon Oy)

Supercor -silta (kuva 6) on myös monilevyrakenteinen silta. Sen teräslevyn aaltojen korkeus on korkeampi ja jäykempi, jolloin päästään suurempiin jänneväleihin. Teräskaari lepää tersäbetonianturoiden päällä. Supercor-sillan käyttökohteet ovat laajemmat suuremman jännevälin ansiosta. Tämän tyyppin siltaa voidaan käyttää muiden rumpusiltojen tavoin alikulkuina ja vesistösiltoina. Näiden lisäksi Supercor -siltaa voidaan käyttää tie- ja rautatieliikennesiltoina suuremman kuormituskestävyyden ja suuremman jännevälin ansiosta. (Viacon Oy, nettisivut)



Kuva 5. Supercor-silta (Viacon Oy)

Rumpusiltojen etuja tavallisiin siltoihin nähden ovat edullisuus, rakentamisen helppuus ja nopeus, matala rakenne, hyvät virtaus ominaisuudet (vesistösilat), kestävä ja rumpusillat sulautuvat maisemaan hyvin.

Holvisilta KASI

Holvisilta KASI on betonianturoista ja teräskaariosista yhdistetty alikulkusilta. Anturat ovat teräsbetonia, asennusvalmiita elementtejä. Kaariosat valmistetaan kuumasinkitystä profiloitusta teräksestä. KASIn käyttökohteita ovat sekä alikulut että vesistösilat kaupunki-, taajama- ja maaseutualueilla. KASIa on saatavana neljällä eri vapaa-aukon koolla. Anturat ovat vakiomittaisia ja niitä on myös neljää eri korkeutta. (Viacon Oy, nettisivut)

Tästä siltatyypistä työssä oli tarkoitus tehdä tietomalli. Anturan kooksi valittiin 2 metriä korkea ja 2 metriä pitkä antura. Siipimuurit ovat 2 metriä korkeita ja 3 metriä pitkiä. Kuvasta (kuva 6) poiketen malliin tuli suorat siipimuurit. Kaari osa on edellä mainittu kuumasinkitty profiloitu teräs.



Kuva 6. Holvisilta KASI (Rumtec Oy)

3 TIETOMALLINTAMINEN

Tietomallintaminen on 3-D malleihin perustuvaa suunnittelua, jossa malleihin on sisällytetty rakenteiden muotoa kuvaavan tiedon lisäksi mm. materiaaleja, käyttöikä ja ylläpitoa koskevia tietoja. tietomallin tarkoituksena on kerätä yhteen kaikki toteutettavassa hankeessa tarvittava tieto. Infrapuolella käytettäviä mallinnusohjelmia ovat mm. Tekla Structures ja Novapoint. Jotta mallia voitaisiin hyödyntää tehokkaasti eri osapuolille, on mallin oltava kaikkien käytettävissä. Tämän mahdollistaa hankekohtaisesti sovittu tiedostoformaatti, johon malli muutetaan. Käytettyjä formaatteja ovat mm. natiivimalli, joka on mallinnusohjelman omaan tiedosto muotoon tallennettu malli, IFC-formaatti ja InfraModel. IFC- tiedostomuoto on tunnetuimpia tallennusmuotoja ja tällä hetkellä kattavuudeltaan laajin siltasuunnittelun tiedonsiirron standardi. Kun hanke saadaan päätökseen, tilaajaalle luovutetaan sekä natiivi- että IFC-muotoinen tuotemalli.

Tietomalleilla autetaan investointipäätösten tekoa havainnollistamalla eri suunnittelu ratkaisuja, niiden toimivuutta ja rakennuskustannuksia. Mallintamisen tavoitteena on mahdollisimman virheettömien suunnitelmien laatiminen, informaation kerääminen yhteen paikkaan, informaation jakaminen eri osapuolille sekä rakennusprosessin taloudellinen tehostaminen. Infra-alalla tietomallintamisen hyötyjä ovat kokonaisuuden hallinnan yksinkertaistuminen, muutosten ja päivitysten helppo havaitseminen, virheiden havaitseminen helpottuu, törmäystarkastelut ja simulointien mahdollisuus. Havainnollisesta mallista on lisäksi helppo saada yleiskuva suunniteltavasta kohteesta, vaikka ei olisi sikaan rakennusalan ammattilainen. Tietomallinnus mahdollistaa paremmin myös koneohjauksen. Malli voidaan lähettää suoraan työmaalle ja on käytettävissä esim. tiehöyliä ja kaivinkoneiden ohjauksessa. Tämä säästää henkilöresursseja ja aikaa, josta taas seuraa kustannus säästöjä.

3.1 Tietomallinnus siltatoimialalla

Tietomallien käyttäminen taitorakenteiden suunnittelussa on lisääntynyt viime vuosina voimakkaasti. Siltojen suunnittelussa on siirrytty vähitellen kokonaan mallipohjaiseen suunnitteluun. Mallipohjaisessa sillansuunnittelussa tarvitaan lähtötiedoksi suunnitteluvaiheen ja liittyvien tekniikkalajien suunniteltua aineistoa. Jokaisen tekniikkalajin suunnittelija toimittaa oman aineistonsa siltasuunnittelijalle. Ja vastavuoroisesti siltasuunnittelija toimittaa oman aineistonsa liittyvien tekniikkalajien suunnittelijoille.

Sillan suunnittelu aineisto koostuu seuraavista:

- siltaan liittyvät väylät
- siltaan liittyvät muut rakenteet mm. tukimuurit, pengerlaatat jne.
- valaistus ja sähköistys
- telematiikka
- varaukset (Läpiviennit)
- kuivatus
- vesihuolto

- energian siirto
- Sillan ympäristösuunnitelma
- mahdollinen muu aineisto

Tietomallinnusta voidaan käyttää suunnittelun lisäksi rakentamisen ohjauksessa ja urakan vastaanotossa, laadunvarmistuksessa (toteumamalli), siltojen ylläpidossa, siltojen korjaamisessa sekä suunnitelma- ja asiakirjojen tuottamiseen. (Jarkko Savolainen, opinnäytetyö: Tekla Structures custom component: teräsbetoninen vinojalkainen laattakehäsilta)

3.2 Tietomallintaminen sillan suunnitteluvaiheessa

Siltojen tuotanto on osa teiden tuotantoa, joten siltojen suunnittelua tehdään teiden suunnitteluvaiheiden mukaisesti. Eri vaiheissa päätöksen tekoon laaditaan kuhunkin vaiheeseen tarpeellinen aineisto. Sillan suunnittelun vaiheisiin kuuluu esisuunnittelu, yleissuunnittelu, siltasuunnitelma ja rakennussuunnitelma. Nämä vaiheet kuuluvat tiensuunnittelun vaiheisiin. (taulukko 1.)

Taulukko 1 (sillan suunnitteluvaiheet)

TIENSUUNNITTELU	Tarveselvitys	Yleissuunnitelma	Tiesuunnitelma	Rakennussuunnitelma
SILLAN SUUNNITTELU	Esisuunnittelu	Yleissuunnittelu	Siltasuunnitelma	Rakennussuunnitelma
PÄÄTÖKSET	Hankepääätös	Hyväksymispäätös (Toiminta- ja taloussuunnitelma)	Hyväksymispäätös (Tulo- ja menoarvioesitys)	Rakentamispäätös (Työohjelma)

3.2.1 Esi- ja yleissuunnittelu

Esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa ei yleisesti ottaen ole vaatimuksia mallintamiselle muiden taitorakenteiden kuin siltapaikkojen luokitusohjeen mukaisesti siltapaikaluokissa I-II. Suunnitelmavaiheiden vaatimuksia sovelletaan muiden taitorakenteiden mallintamiseen. (Liikenneviraston ohjeita, siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

Esisuunnitteluvaiheessa 3D-mallintamista tehdään siltapaikkaluokissa I-II. Esisuunnitteluvaiheessa mallinuksen tarkkuus on luonnostelun tarkkuus. Tukilinjat, hyödyllinen leveys ja aukko vaatimukset mallinetaan. Tuotettavan aineiston laatu voi vaihdella tarpeiden mukaan tapauskohtaisesti. Tuotemallille riittävä tarkkuus on näkyvien pintojen esittäminen. Objekteilla ei ole tilavuus ja materiaali omaisuuksille vaatimuksia.

Yleissuunnitteluvaiheessa mallinetaan näkyvissä olevat rakenteet ja varusteet ja siltaan liittyvät maastorakenteet kuten sillan päätyluiskat. Sillan merkitsevät immateriaaliset tiedot mallinetaan. Näitä tietoja ovat liikennetekniset mitat, aukko vaatimukset, väylien mittalinjat, tukilinjat ja pääpisteet. Tässä vaiheessa mallintamalla tehdyssä suunnittelussa käytetään väyläsuunnittelijalta saatua väylämallia, josta saadaan väylägeometria ja siltapaikan lähtötietomalli. Yleissuunnitteluvaiheessa tuotetaan siltapaikan yhdistelmämalli. Väylämallin ja siltamallin yhdistämisellä ja mallista tuotettavalla aineistolla helpotetaan vaihtoehtojen vertailua ja päätöksen tekoa.

Jotta kaikista mallinnetuista rakennusosista ja järjestelmistä voidaan tunnistaa niiden merkitys, on mallinnuksessa käytettävä asianmukaisia ohjelmistokohtaisia objekteja. Maanalaisia rakenteita ei mallineta ja objekteilta ei vaadita tilavuusominaisuuksia, vaan ns. pintamalli riittää. Materiaalitieto mallinetaan sillä tarkkuudella, että mallista pystytään lukemaan päärakennusosien maateriaalit esim. betoni ja teräs. Raudoitusta ei mallineta vaan se annetaan määrätietoina rakennusosille. Köydet mallinetaan siten, että köysien lukumäärä ja sijainti selviää mallista. Jäniteita, kiinnitysosia, eristyksiä, pintarakenteita, maalausta ja suojausta sekä geoteknisiä rakenteita ei mallineta suunnittelun tässä vaiheessa. Varusteiden ja kaiteiden osalta tässä vaiheessa mallinnetaan kaiteet. (Liikenneviraston ohjeita, siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

3.2.2 Siltasuunnitelma

Sillasta mallinnetaan näkyvissä olevat rakenteet sekä alusrakenteet kokoneisuudessaan ja siltaan liittyvät maastorakenteet kuten sillan päätyluiskat ja keilat. Varusteet ja laitteet mallinnetaan tarkoituksenmukaisilta osilta. Raudoituksia ei mallineta. Myöskään pieniä detaljeja ei ole tarpeen mallintaa, esimerkiksi poikkiristikoiden liitokset.

Rakenneosien mallintaminen ja mallinustarkkuus. Jotta kaikista mallinnetuista rakenneosista ja järjestelmistä tunnistetaan niiden merkitys, mallinnuksessa on käytettävä asianmukaisia ohjelmistokohtaisia objekteja. Rakenneosat mallinnetaan siten, että tietoa siirrettäessä niiden sijainti, nimi, tyyppi ja geometria siirtyvät rakennusosan mukana. Rakenneosat mallinnetaan tilavuusobjekteina, jolloin määrät ovat luettavissa suoraan mallista. Materiaalitieto mallinetaan sillä tarkkuudella, että mallista pytytään lukemaan päärakennusosien maateriaalit esim. betoni ja teräs. Raudoitusta ei mallineta, vaan se voidaan antaa rakennusosien attribuuttitietona. Köydet mallinnetaan siten, että köysien lukumäärä ja sijainti selviää mallista. Jäniteitä, kiinnitysosia, eristyksiä, pintarakenteita, maalausta ja suojausta ei mallineta suunnittelun tässä vaiheessa. Varusteiden ja kaiteiden osalta tässä vaiheessa

mallinnetaan merkittävimmät osat esim. kaiteet ja laakerit. Geoteknisistä rakenteista merkittävimmät mallinnetaan, kuten massanvaihto.

Rakennussuunnitteluvaiheessa tehdään tuotemalli ja tietomalliselostus. Silta mallinnetaan kokonaan varusteineen, laitteineen, raudoituksineen, maaperätietoineen ja immateriaalitietoineen. Tässä vaiheessa mallin tulee olla tarkka. Tilaajalle laaditaan suunnitelmasta tuotemalli ja mahdolliset erilliset suunnitelmaa tarkentavat mallit. Tämän lisäksi tuotetaan siltapaika yhdistelmämallim jolla osoitetaan tekniikkalajien yhteensovittaminen siltapaikalla. (Liikenneviraston ohjeita, siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

3.2.3 Sillan rakennussuunnitteluvaiheen tekniset ohjeet

Tässä vaiheessa mallista on oltava erotettavissa kaikki todelliset rakenneosakomponentit; näitä ovat esim. valuyksiköt, työsaumat jne. Rakenneosat luodaan niiden suunnitteluun tarkoitetuilla työkaluilla (esim. anturat mallinnetaan anturatyökälulla). Materiaalitiedon osalta mallista on tässä vaiheessa selvittävä oleelliset tiedot materiaaleista. Rakenneosien ja kiinnitystarvikkeiden tulee sisältää tiedot esim. betonin lujuudesta, pakkasen kestävydestä ja rasitusluokista.

Raudoitukset mallinnetaan taivutustyypeittäin, katkoksineen, laatuineen ja jatkospituuksineen. Jänneiden osalta mallinnetaan tässä vaiheessa suojaPUTKET, jännemenetelmän mukainen raudoitus ja ankkurikappaleet. Mallista pitää ilmetä myös jännittämismenetelmä, -tyyppi ja punosten määrä. Köydet on mallinnettava detaljeineen. Kiinnitysosista mallinnetaan tässä vaiheessa pultit, hitsaukset ja naulaukset. Mikäli tehdään erillinen toteutusmalli, tuotemalliin ei ole välttämätönä mallintaa kiinnitysosia.

Eristykset, pintarakenteet, maalaukset ja suojaukset mallinnetaan ominaispaksuuden mukaisesti. Maalausten ja suojausten osalta alle 1 mm ominaispaksuudet voidaan antaa myös attribuuttitietoina. Varusteet ja laitteet mallinetaan sillä tarkkuudella että mallista selviää näiden sijainti, geometria ja tyyppi. Näitä varusteita ovat esim. kaivot, laakerit ja kaidarakenteet. Geotekniset rakenteet sekä pohjanvahvistus toimenpiteet mallinnetaan tässä vaiheessa ominaiskoon ja sijainnin mukaan esim. routaeristykset ja massan vaihdot. (Liikenneviraston ohjeita, siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

3.2.4 Muita yksityiskohtia

Tuotemalli mallinnetaan "lopputilanteen" mukaiseen geometriaan. Tässä tilanteessa kaikki mittatiedot perustuvat +10 °C lämpötilaan. Näin voidaan tarkistaa valmiiden rakenteiden mitat käyttäen vertailukohtana tuotemallia.

Sillan suunnitteluun liittyvä immateriaalinen tieto mallinnetaan seuraavilta osin.

Pääpisteet mallinnetaan jokaisen tukilinjan ja reunapalkin todellisen sisäreunan leikkauspisteeseen reunapalkin ylöreunan korkoon tai siipimuurin ulkonurkan päihin.

(Liikenneviraston ohjeita, siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

Hyödyllinen leveys mallinnetaan mittaviivana johon liitetään tuotevaatimusten mukainen mitta. Hyödyllinen leveys on mahdollista myös mallintaa objektina kaiteiden väliin. Tällöin vaadittu hyödyllinen leveys on objektin pituuden itseisarvo.

Aukkovaatimukset, vaadittu jännemitta ja ATU mallinnetaan objekteina. Nämä objektit rajaavat vaaditun tilan kriittisimmässä kohdassa.

Määräävät geometrialinjat ja tasausviivat mallinnetaan tasapaaluittain viivamaisilla objekteilla. Tasa-kymmen tai tasakaksikymmen paalut mallinnetaan lisäksi erillisellä objektilla. Tämän objektin attribuuteissa on määritelty ko. pisteen sijaintitieto väylällä.

Tukilinjojen mallintamiseen käytetään niiden mallintamiseen tarkoitettuja objekteja tai muita vastaavia objekteja. Kaikki tukilinjat mallinnetaan samaan korkoon, joka on alusrakenteen alapuolella.

(Liikenneviraston ohjeita, siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

3.2.5 Koordinaatistot ja mittayksikkö

Mallin tulee sijaita hankkeen virallisessa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä. Mittayksikkö jota käytetään on metri. Mallille voidaan määritellä paikalliskoordinaatisto mittausteknisistä syistä. Tämän koordinaatiston on oltava kauttaaltaan koordinaatiston positiivisella neljänneksellä, koordinaatiston kääntäminen ei ole sallittua. (Liikenneviraston ohjeita, siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

Liikenneviraston siltojen tietomalliohjeessa todetaan koordinaatistosta ja mittayksiköistä lisäksi:

Mikäli käytettävä ohjelmisto ei mahdollista mallinnusta todelliseen koordinaatistoon, tulee siirtymiseen tarvittava koordinaatisto- ja mittayksikkömuunnos ilmoittaa tietomalliselostuksessa. Tämä koskee myös mallin korkeusasemaa. Tällöin käytettävä koordinaatisto ja tarvittavat koordinaatistomuunnokset ilmoitetaan lähtötietona hankkekohtaisesti ja tieto tulee ilmoittaa tietomalliselostuksessa.

Tuotemallista tuotettavat mittaus- ja sijaintitiedot toimitetaan koordinaatistossa käyttäen metriä mittayksikkönä. Teräsosien konepajakuvat toimitetaan käyttäen millimetriä mittayksikkönä. (Liikenneviraston ohjeita, Siltojen tietomalliohje, luonnosversio 19.7.2013)

3.3 Mallinnuksessa käytettävä ohjelmisto

Tekla Structures on Tekla Oyj:n kehittämä tietomallinnusohjelma. Tekla Structures tietomallinnusohjelmistolla onnistuu kaikki rakentamisen vaiheet luonnossuunnittelusta, liitos-, elementti- ja konepajasuunnitteluun, valmistukseen ja työmaan ohjaukseen. Ohjelmistolla voidaan luoda ja hallita detailloituja, rakentamisen prosesseja tukevia kolmi- ja neliulotteisia rakennemalleja. Tekla Structures-malli on ajan tasalla ja helposti jaettavissa internetin kautta ja näin hyödynnettävissä kaikissa hankkeen vaiheissa. Mallista saadaan tulostettua analyysien ja suunnittelun tulokset: piirustukset ja raportit.

Tekla Structures ohjelmisto sisältää valmiiksi suuren määrän erilaisia teräs- ja betonikomponentteja. Ohjelmistolla on myös mahdollista tehdä custom komponentteja. Tässä työssä on käytetty sekä custom komponenttia että Tekla Structuresin valmiita osia. Tässä työssä käytettävä ohjelmisto on siis Tekla Structures. Tekla Structures ohjelmaa käytetään yleisesti taitorakenteiden mallintamiseen. Rakenteet, joiden rakentamiseksi on laadittava lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat ja joiden rakenteellinen vaurioituminen suunnittelu- tai rakennusvirheen vuoksi saattaa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai liikennejärjestelmille tai merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle tai rakenteen välittömälle ympäristölle, ovat taitorakenteita. Siltasuunnittelu yrityksistä muun muassa Siltanylund Oy käyttää Tekla Structures ohjelmistoa.

4 TERÄSPUTKISILTOJEN SUUNNITTELUPROSESSI

Teräspuutkisirtojen suunnittelun ja mallintamiseen käytetään samoja ohjeita ja vaatimuksia kuin muidenkin siltojen suunnitteluun ja mallintamiseen. Lisäksi putkisirtojen suunnittelussa on otettava huomioon rakenteen erilaisuus verrattuna muihin siltatyyppeihin. Teräspuutkisirtojen muoto eroaa rakenteellisesti muista tyyppillisesti käytettävistä silloista, kuten esim laattakehäsilta. Ja holvisilloissa myös materiaalien yhdistelmä, betonianturat ja teräskaari, eroaa muista tyyppiillisesti käytössä olevista silloista. Suuri osa muista silloista on teräsbetonirakenteisia. Myös teräsrakenteisia ja puurakenteisia siltoja on, joskin vähäisiä määriä ainakin Suomessa.

Liikenneviraston teräspuutkisirtojen suunnitteluohjen perusvaatimukset ovat:

Teräspuutkisirtojen suunnittelu tehdään standardien EN 1990, EN 1991, EN 1992, EN 1993 ja EN 1997, niiden kansallisten liitteiden ja soveltamisohjeiden (NCCI) sekä tämän ohjeen mukaan. Teräspuutkirsilta katsotaan kuuluvan seuraamusluokkaan CC2, ellei tilaaja ole toisin ilmoittanut. (Liikenneviraston ohjeita, teräspuutkisirtilat, suunnitteluohje 2.2.2012)

Teräspuutkisirtojen suunnitteluprosessin aluksi mietitään miten teräspuutkirsilta soveltuu työn alla olevaan kohteeseen. Putkisirtojen soveltuvuus arvioidaan paikkakohtaisesti ja suunnittelun perusteena ovat ympäristöön sopivuuden asettamat vaatimukset aukon koolle ja muodolle, rakennetyypille, pintakäsittelylle ja putken päiden verhoukselle. Sillan ja paikan on täytettävä liikenneviraston määräämät siltojen ulkonäköä ja siltapaikkojen viimeistelyä koskevat vaatimukset.

Teräspuutkisirtilan rakenteen on täytettävä annetut aukkovaatimukset ja mahdollistettava veden esteetön virtaus putken läpi. Alueellinen Ely-keskus antaa lausunnon lupapäätöksen tarpeesta ja aukon vähimmäiskoosta.

Liikenneviraston mukaan teiden teräspuutkisirtojen normaali suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta ja rautatiesiltojen 100 vuotta. Mikäli putkirsilta sijaitsee vilkasliikenteisen tien alla (kvl > 3000 ajon./vrk) tai peitesyvyys on yli 3 metriä, on myös tien putkisirtilan suunnittelukäyttöikä 100 vuotta. Kantavien päärakenteiden on oltava laatuvaatimusten mukaisia, jotta suunnittelukäyttöikä saavutetaan. Lisäksi hyvällä hoidolla ja ylläpidolla varmistetaan säilyvyys. Muita rakenneosia pystytään korjaamaan ja uusimaan useitakin kertoja. Suunnittelukäyttöikä ja olosuhdeluokka vaikuttavat putken suojausmenetelmän määritykseen. Suunnittelukäyttöikä on ilmoitettava suunnitelmassa.

Rakenteen on kestettävä siihen kohdistuvat kuormat. Liikennevirasto on määrännyt tie-, rautatieliikenteen tai kevyen liikenteen sillan kuormat sekä muut siltoihin kohdistuvat kuormat. Rakenteilla ja perusteilla on oltava riittävä varmuus murtoon nähden eri murtotavat huomioon ottaen, eikä niihin saa syntyä haitallisia muodonmuutoksia. (Liikenneviraston ohjeita, teräspuutkisirtilat, suunnitteluohje 2.2.2012)

4.1 Putken valinta

Putken koon, muodon ja rakennetyypin valintaan vaikuttaa seuraavat tekijät:

- *käyttötarkoitus*
- *ulkonäkö*
- *hydraulinen mitoitus*
- *pengerkorkeus*
- *pohjaolosuhteet*
- *veden ja maan laatu*
- *kustannukset*

(Liikenneviraston ohjeita, teräsputkisillat, suunnitteluohje 2.2.2012)

4.1.1 Putkisillan käyttötarkoitus

Vesistösillan tyypin valintaan vaikuttaa lähinnä vaadittu aukon koko ja kunnossapitönäkökohdat. Käyttötarkoituksen kannalta vaikuva tekijä on veneliikenne.

Alikulkukäytävän tyypin valintaan vaikuttaa liikenne, maatalous ja ulkoilu. Alikulkeva liikenne ja kunnospitokaluston vaatima tila määrittää aukon koon.

Rakennussuunnitelmassa on esitettävä vaaditut liikennetekniset mitat. Näitä mittoja ei saa rakennustyössä alittaa. (Liikenneviraston ohjeita, teräsputkisillat, suunnitteluohje 2.2.2012)

4.1.2 Vesistösillan hydraulinen mitoitus

Ely-keskuksen lausunto määrittää yleensä vesistösillan aukkovaatimuksen. Tällöin hydraulista mitoitusta ei tarvitse tehdä. Mikäli mitoitus tarvitaan tehdä, se voidaan tehdä Liikenneviraston julkaisun *Teiden suunnittelu IV. Kuivatus kohdan 4.46 mukaisesti*. Jos vesistön virtaama on suuri ja korkeutta ei ole paljon käytettävissä, voidaan putkia laittaa kaksi tai useampikin. (Liikenneviraston ohjeita, teräsputkisillat, suunnitteluohje 2.2.2012)

4.1.3 Pohjaolosuhteet

Pohjasuhteet selvitetään Sillan geoteknisen suunnittelu ohjeen mukaisesti. Pohjatutkimuksissa selvitetään myös pohjamaan ja veden korroosio olosuhteet. Mikäli pohjaolosuhteet ovat vaihtelevat, selvitetään pohjasuhteet sellaisessa laajuudessa, että silta pystytään sijoittamaan mahdollisimman edulliseen paikkaan. (Liikenneviraston ohjeita, teräsputkisillat, suunnitteluohje 2.2.2012)

4.2 Putkisillan materiaalivaatimukset

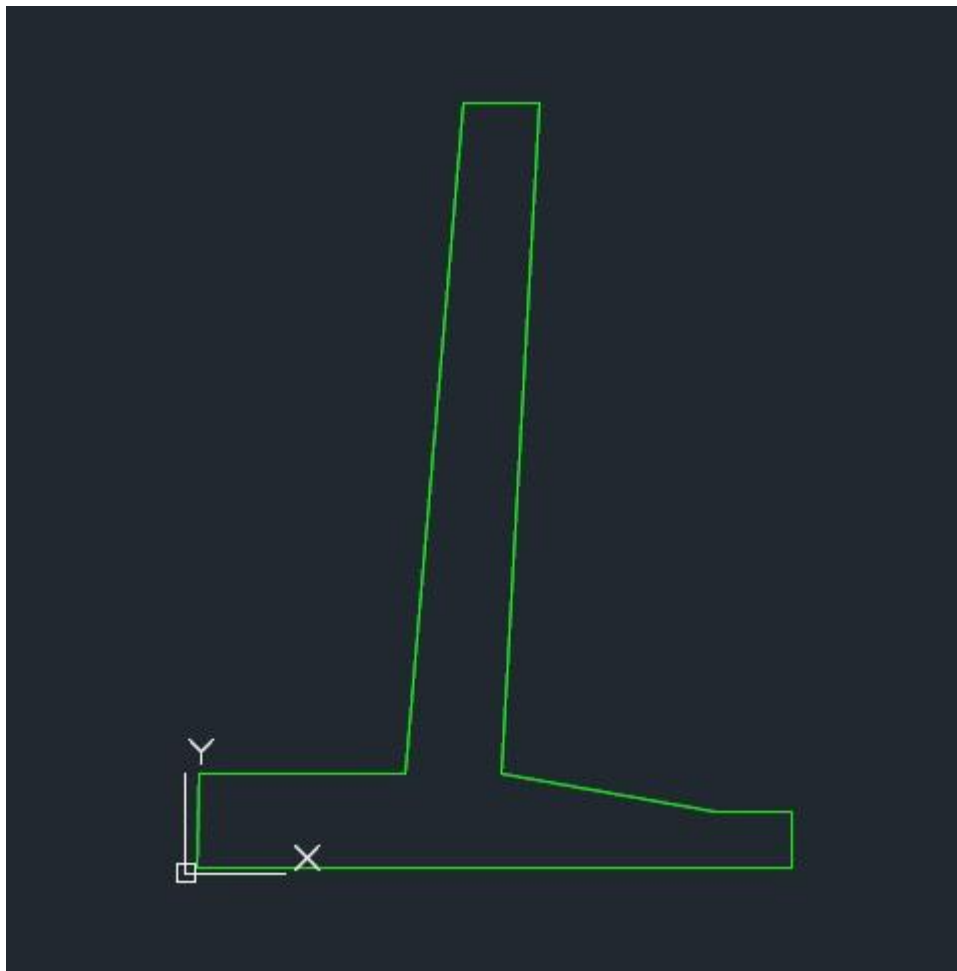
Teräsholvin anturoissa käytetään siltabetonia, jonka lujuusluokka ja pakkasenkestävyysvaatimus määritetään eruokoodin soveltamisohjeessa *Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI*. Huomioon otetaan kuitenkin sillan tavoitekäyttöikä. Betonin valinnalla varmistetaan säilyvyys. Monilevyrakenteen levymateriaalin on täytettävä vähintään standardi SFS-EN 10025 *Kuumavalsatut rakenneteräkset* luokan S235 JR vaatimukset. Eli standardi SFS-EN 10025 - S235 JR on standardin SFS-EN 10025 mukainen rakenneteräs, jonka myötölujuus on 235 MPa, iskuvaatimus 27 Joulea +20 °C lämpötilassa. Standardi EN 10025 määrittelee eurooppalaiset kuumavalsatut rakenneteräkset. SFS tarkoittaa Suomen Standardoimisliitto SFS Ry:tä. Kierresaumatun rakenteen levymateriaalin on täytettävä standardin SFS-EN 10346 *Jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut ohutlevyteräkset. Tekniset toimitusehdot*. Standardi EN 10346 määrittää kuumasinkityt teräsohutlevyt, tekniset toimitusehdot. (Liikenneviraston ohjeita, teräspuutkisillat, suunnitteluohje 2.2.2012)

5 MALLINNUSKOMPONENTIN KEHITYSTYÖ

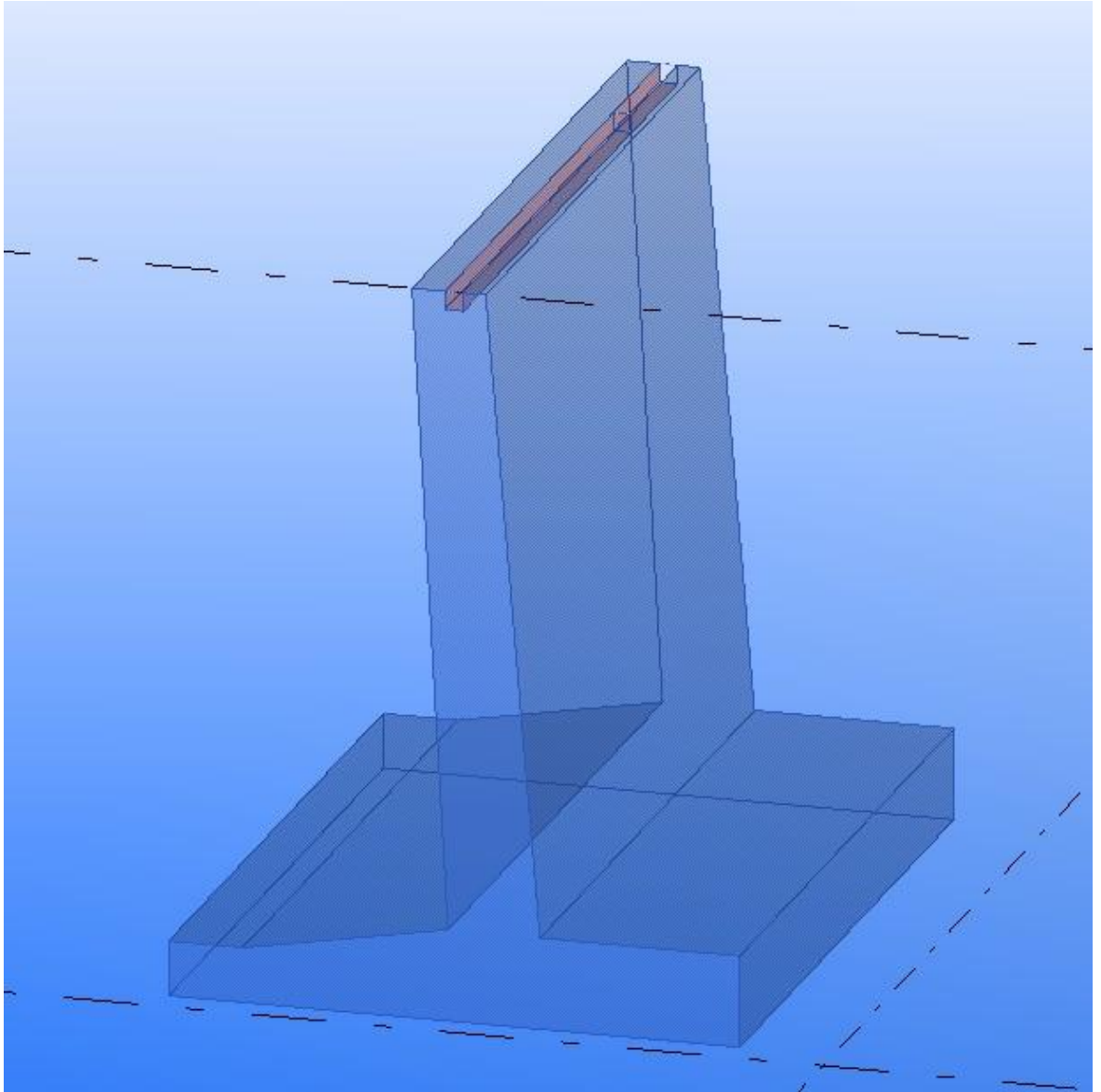
Mallinnuskomponentin kehitystyön tavoitteena on tässä työssä saada yhdestä putkisiltamallista kevyt, esim. yleissuunnitteluvaiheen, tietomalli. Yrityksellä, Viacon Oy (entinen Rumtec Oy), oli CAD-kuvat heidän siltojen malleista ja ne oli tarpeen päivittää tietomalleiksi. Siltamalli josta tietomalli tässä työssä oli tarkoitus tehdä, on holvisilta KASI. Tästä siltamallista on kerrottu työssä aikaisemmin. Tavoitteena oli saada mallinnettua sekä teräsbetoniantura että teräskaari. Raudoituksiin ja muihin yksityiskohtiin ei ole tässä työssä paneuduttu. Eli kyseessä on esim. yleissuunnitteluvaiheeseen soveltuva tietomalli. Tämän suunnitteluvaiheen mallinnus vaatimukset on selvitetty aikaisemmin tässä työssä, kohdassa tietomallintaminen sillansuunnitteluvaiheissa.

5.1 Antura ja siipimuuri

Putkisillan mallintaminen aloitetaan anturan mallintamisella. Tarkoituksena oli luoda anturasta custom componentti. Mallinnus aloitettiin tuomalla anturasta CAD-poikkileikkaus kuvan (kuva 7) Teklan sketch editoriin. Sketch editorissa piirretään CAD-kuvasta anturan poikkileikkaus, jonka jälkeen annetaan anturalle pituus mitta ja määritetään materiaali, betoni. Näin on yksi antura Teklaan tehty kuva 8).



Kuva 7. CAD-poikkileikkaus anturasta

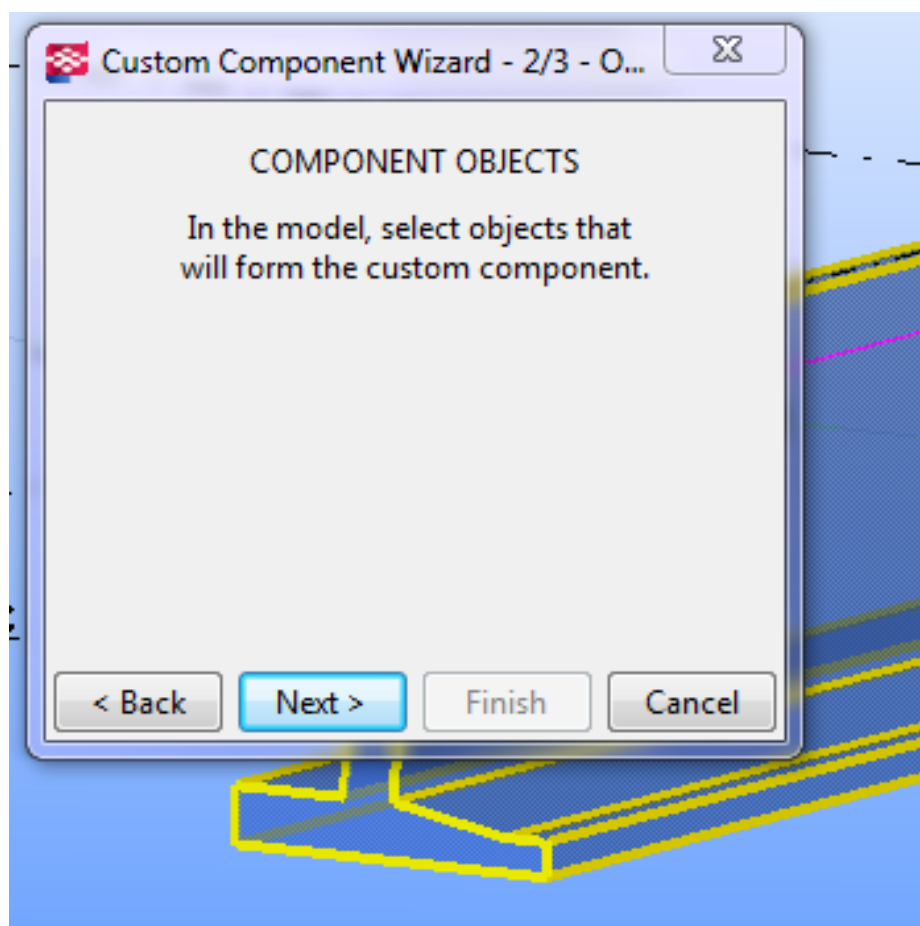


Kuva 8. Teklalla tehty antura

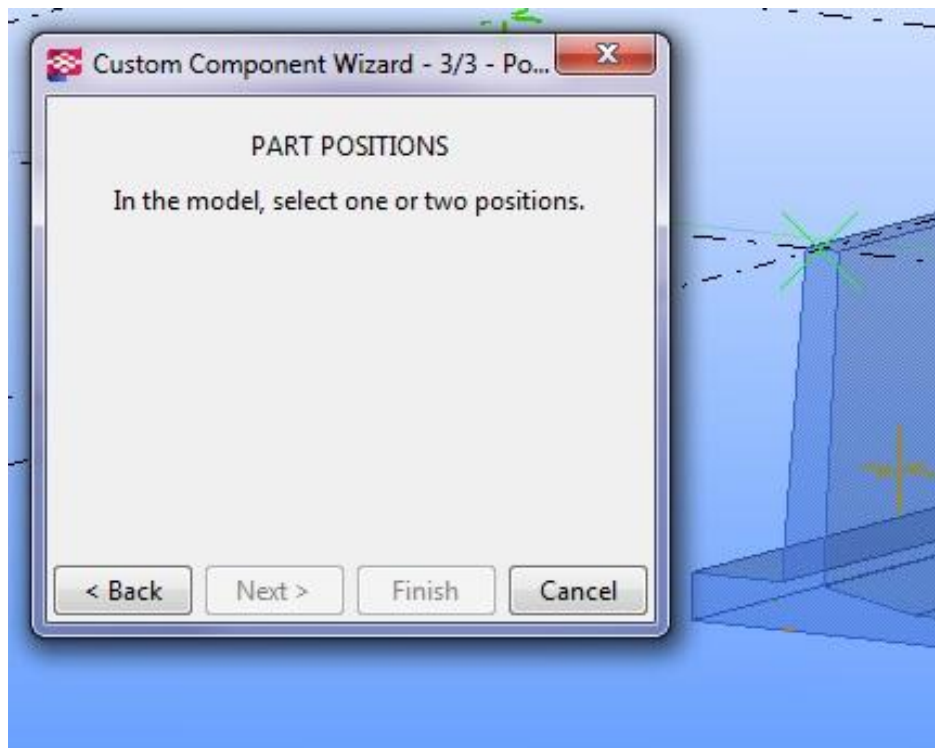
Valitaan tehty antura ja muutetaan se Teklan custom componentiksi. Eli valikosta Detailing -> Component -> Define Custom Component. Kun edellä mainitut on tehty aukeaa ikkuna Custom Component Wizard (kuvat 9-11). Valitaan tyyppi, tässä tapauksessa osa eli part ja annetaan nimi eli nyt antura. Tässä ikkunassa voi antaa tarkempiakin kuvauksia halutessaan. Valitaan kuvasta haluttu objekti. Ja tämän jälkeen valitaan kuvasta yksi tai useampi piste komponentille. Näiden pisteiden avulla anuralle määritetään sijainti. Pisteiksi valittiin anturan yläreunasta keskikohta molemmista päistä. Tämän jälkeen tehdään siitä peilikuva kopio, jolloin saadaan sillan molempien puolien antura valmiiksi.



Kuva 9. komponentin luontia



Kuva 10. komponentin luontia



Kuva 11. komponentin luontia

Siipimuuria varten tehdään samasta poikkileikkaus kuvasta komponentin muuttamalla alkuperäisen anturan mitan metrin pidemmäksi. Toisen puolen siipimuuuri tehdään myös tekemällä peilikuva kopiolla. Custom komponentin luonti samalla tavalla kuin anturan.

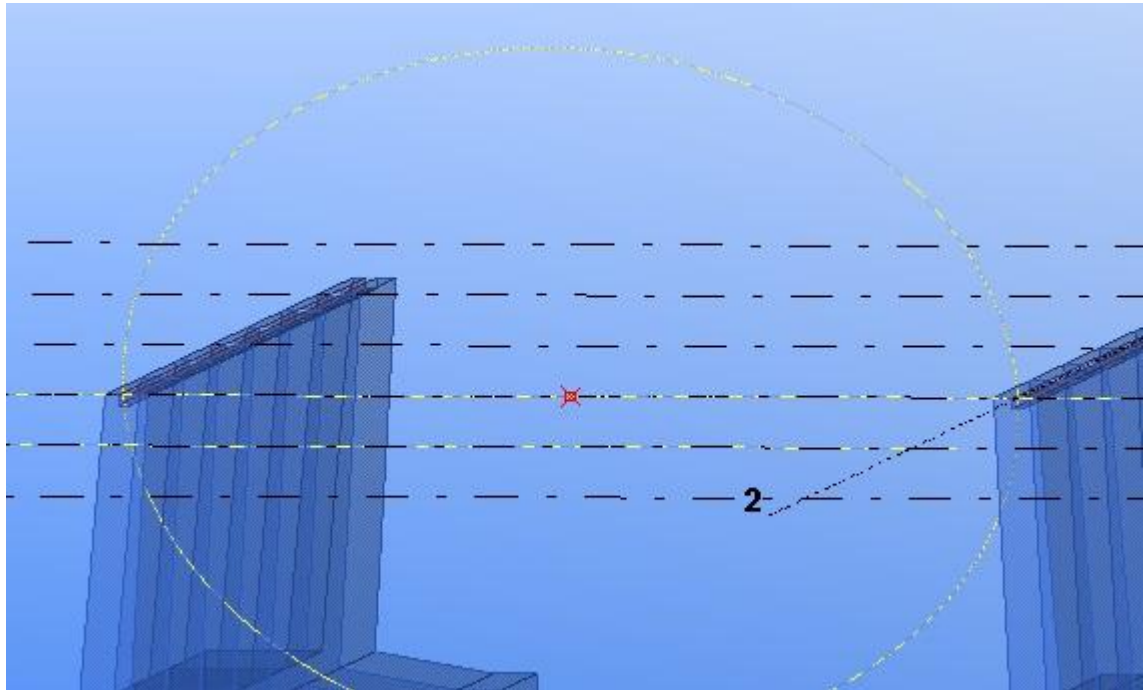
Teräskaari asettuu anturoiden päällä olevaan uraan. Ura tehdään anturoihin tekemällä uran kokoinen kappale. Kappale sijoitetaan anturan "sisään", anturan yläosaan oikealle kohdalle ja leikataan ura käyttämällä cut part with another part toimintoa.

Nyt on sillan molemmille puolille antura ja siipimuuuri valmiina. Anturoita kopioidaan riittävä määrän peräkkäin ja näin saadaan sillalle oikea pituus.

Raudoituksia ei tässä työssä anturoihin mallinnettu. Työn tilaajan kanssa sovittiin työtä aloittaessa, että raudoitukset jätetään pois. Osittain siitä syystä, että mallit oli tarkoitus olla vapaasti yrityksen nettisivuilta ladattavissa asiakkaille. Ja raudoitus tietoja ei haluttu sinne jakaa. Raudoitukset ovat myös jo hyväksytyjä vakio tavaraa ja anturat tulevat valmiina "palikoina" tilaajille, joten raudoitusten mallintamista tässä vaiheessa ei katsottu aiheelliseksi.

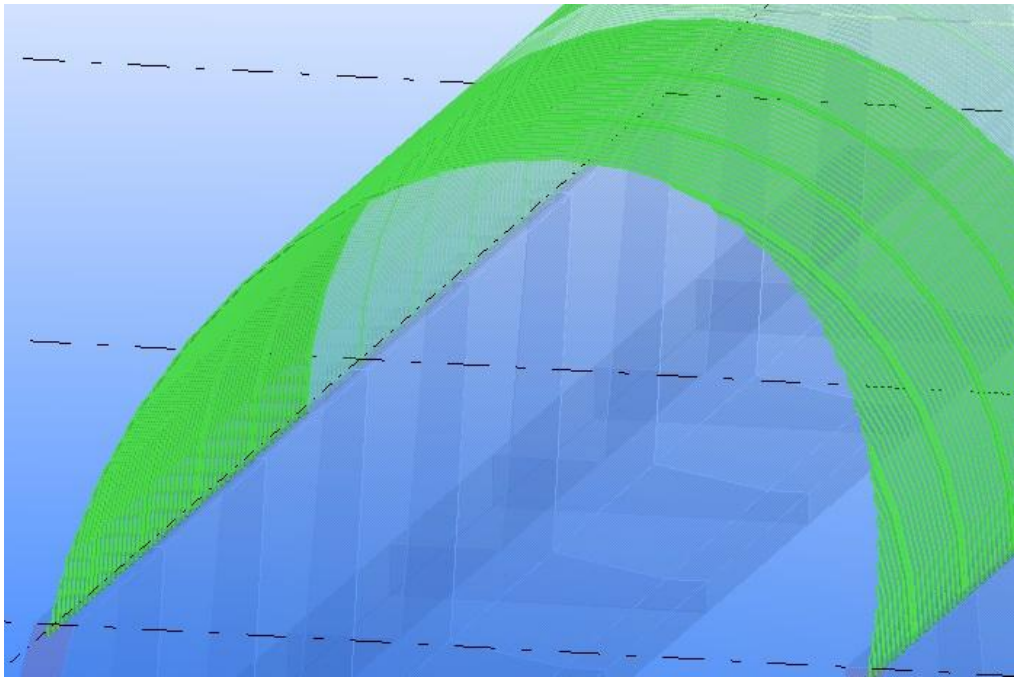
5.2 Teräskaari

Teräskaarta varten piirretään anturoiden päähän "apu ympyrä" (kuva12), jonka avulla sijoitetaan kaari oikeaan paikkaan ja oikeaan asentoon.

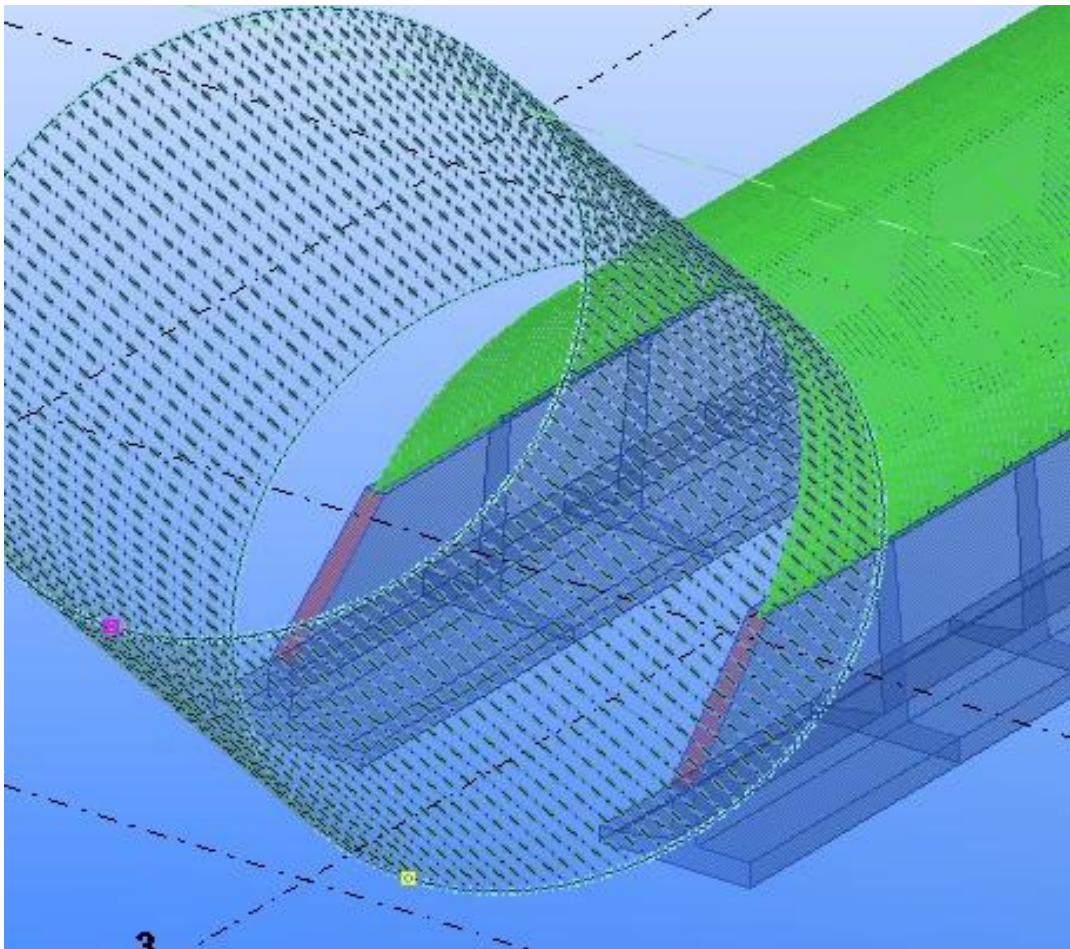


Kuva 12. apuympyrä teräskaarelle

Teräskaari mallinnetaan nyt Tekla Structuresista valmiina olevasta levyprofiilista. Valitaan valmiista profiileista sopivin ja piirretään curved beam anturoiden päälle. Properties valikossa syötetään kaaren säde ja lisätään kaareen "paloja" jotta kaari olisi mahdollisimman kaarimainen. Teräskaari kuva 13. Viisteet sillan päihin, sekä siipimuureihin että teräskaareen, tehdään cut part with another part toiminnon avulla. Tehdään sillan päihin "palikka" jonka käännetään oikeaan asentoon ja sillä leikataan viisteet, kuva 14. Viisteiden leikkaus näkyy mallin siipimuureissa punaisena, kuvat 15 ja 16.

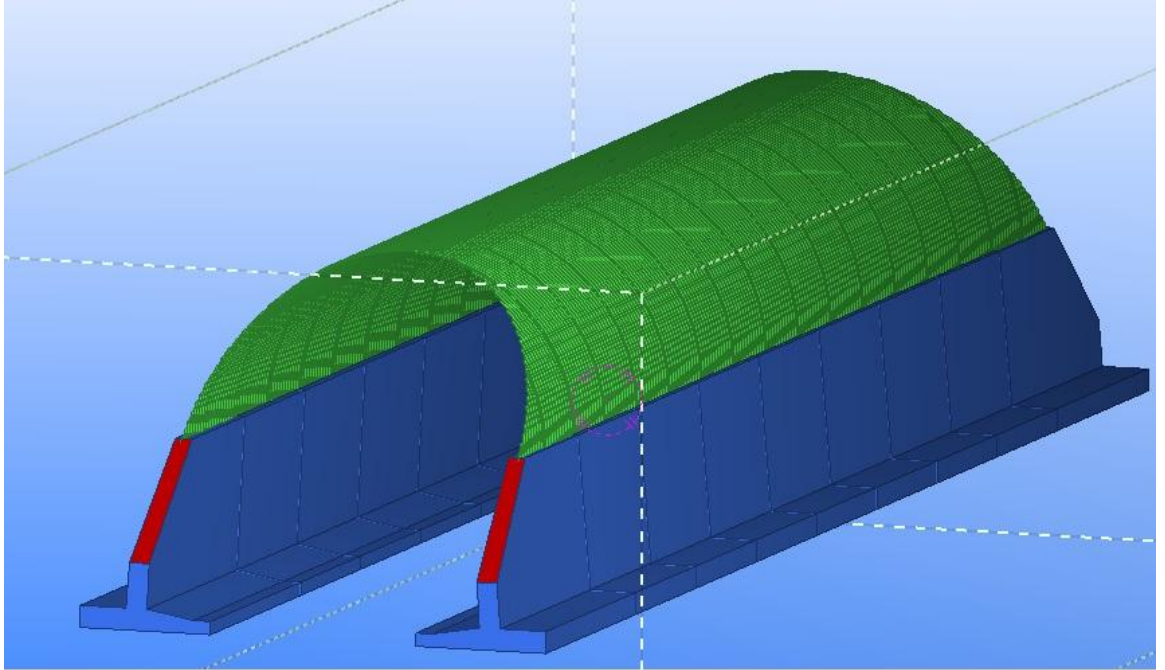


Kuva 13. Teräskaari mallinnettu

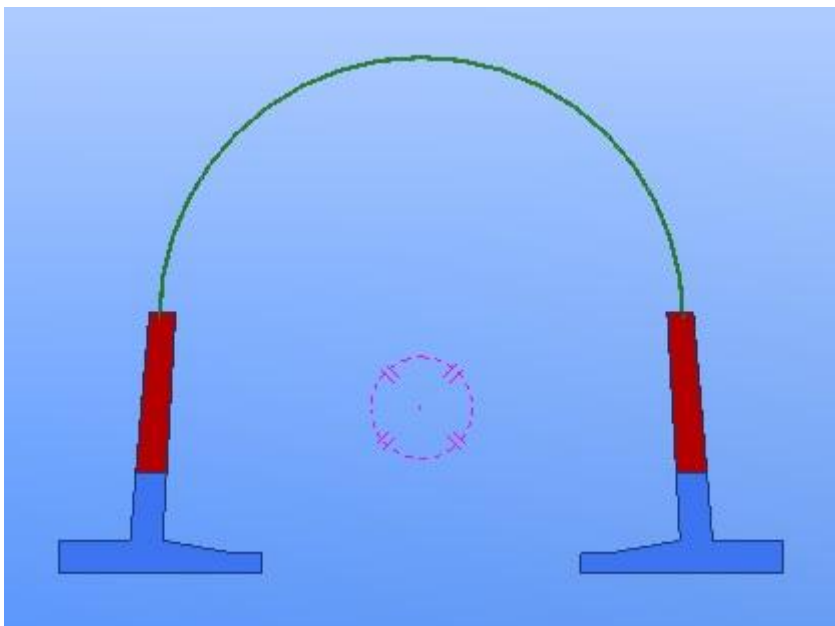


Kuva 14. viisteiden leikkaus

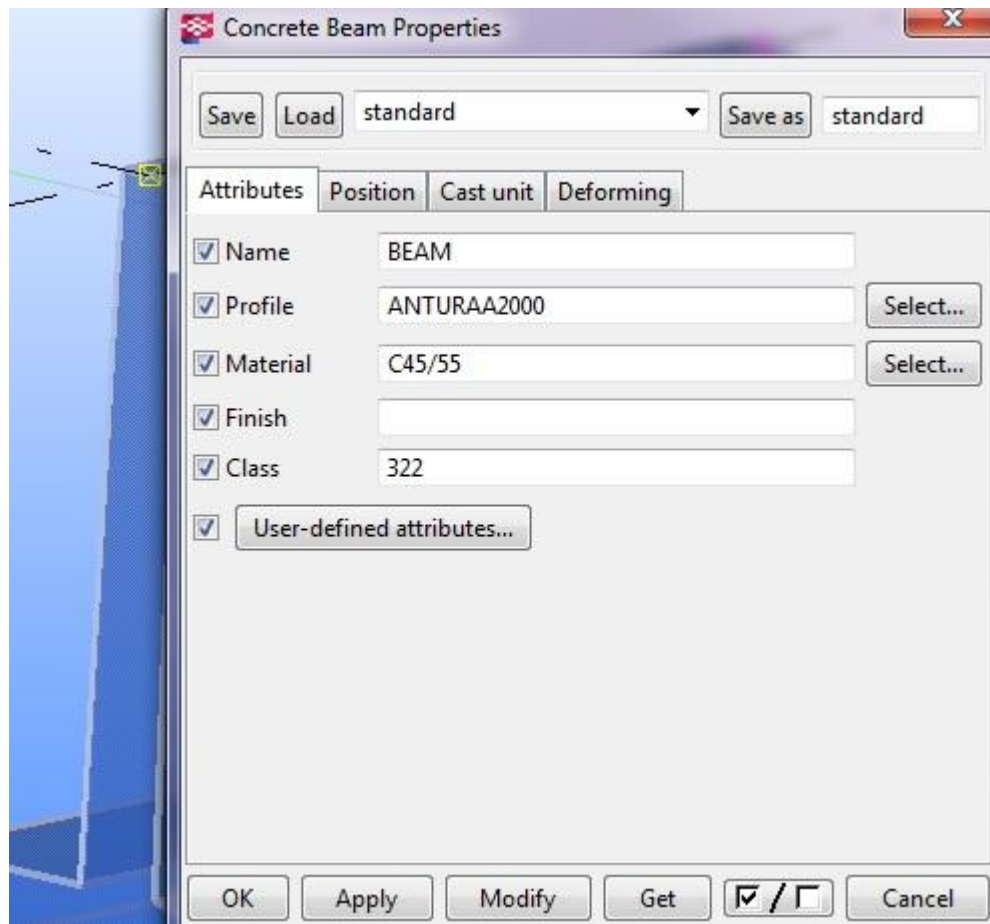
Putkisilta KASI mallinnettuna. (Kuva 15.) Tämän vaiheen malli, ilman raudoitusten mallintamista, on käytettävissä yleissuunnitteluvaiheessa. Mallia voidaan käyttää myös siltasuunnitteluvaiheessa, jolloin raudoitukset annetaan määrätietoina. Kuvassa 17 anturan dialogi boxi, mistä selviää nimi, materiaali, profiili, käyttöluokka ja sijainti. Näitä tietoja voidaan muokata tarpeen mukaan. Esimerkiksi betonin laatu ja käyttöluokka voi muuttua kohteen mukaan.



Kuva 15. Mallinnettu Holvisilta KASI



Kuva 16. Mallinnettu Holvisilta KASI. näkymä edestä



Kuva 17. anturan dialog box

6 TULOKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää putkisillan mallinnuksen vaatimukset sekä pohja tiedot ja saada kehitettyä putkisillasta tietomallia. Työn tuloksena saatiin pohjatiedot ja vaatimukset rumpusiltojen suunnitteluun ja tietomallintamiseen. Työssä saatiin yhden tyyppin rumpusillasta kevyt tietomalli tehtyä. Tehty tietomalli on Liikenneviraston vaatimuksiin peilaten yleissuunnitelma vaiheeseen sopiva tietomalli.

Tekla Structures ohjelma on erittäin sopiva ohjelma tämän tyyppiseen mallintamiseen. Se on ensinnäkin yleisesti käytössä siltasuunnittelussa ja mallintamisessa. Toiseksi sillä pystyy mallintamaan muutakin kuin ohjelmassa valmiina olevia komponentteja käyttäen. Ohjelmalla on mahdollista tehdä Custom komponentteja monenlaisista betoni ja teräs rakenteista.

7 MALLINNUSKOMPONENTTIEN JATKOKEHITTÄMINEN

Tästä eteenpäin mallia voidaan kehittää tarpeen mukaan. Anturoille luodaan dialogi-boxit. Dialogi-boxissa voidaan ilmoittaa komponentin nimi, profiili, materiaali (esim. betoni), käyttöluokka ja mitat. Lisäksi siinä voidaan määrittellä komponentin asentoa ja paikkaa. Sama dialogi-boxi luodaan myös teräskaarelle. Dialogi-boxi on luotava jokaiselle anturalle oma. Perusanturoilla muuttuvia tekiöitä ovat lähinnä mitat. Siipimuureille luodaan myös dialogi-boxit. Niiden tiedot ovat pitkälti samoja kuin perus anturoilla, mittoja ja viisteitä luukuunottamatta.

Dialogi-boxin tietoja voidaan muokata tarpeen mukaan. Esimerkiksi anturoiden betonin laatu vaihdetaan tietoihin sillan tulevan rasitusluokan mukaiseksi. Samoin teräskaaren mahdollinen maalaus tai muu käsittely tieto syötetään. Näin massat, materiaali, pinta-ala, yms. tiedot päivittyvät tietomalliin. Näin mallista saadaan eri menekit helposti ulos, mikä helpottaa oleellisesti esim. määrä- ja urakalaskentaa.

Kaaren ja anturan liitosta voidaan kehittää tietomallissa. Liitos tehdään kutistumattomalla juotosbetonilla, joka valetaan anturassa olevaan uraan kun kaari on asennettu siihen paikoilleen. Sisäpuoli viimeistellään saumanauhalla ja elastisella kitillä.

Tässä työssä on siis mallinnettu yhden mallinen perusantura, suora siipimuuri ja teräskaari. Kehitykseen jää dialogi-boxien lisäksi muiden anturatyyppeiden, siipimuurien ja teräskaarien mallintaminen. Eli kaikista erityyppisistä osista tehdään oma custom komponentti. Lisäksi valmistajan niin halutessaan, mallia voidaan kehittää raudoituksen osalta. Eli lisätään malliin myös raudoitus komponentti. Näin mallia voidaan käyttää suoraan myös myöhemmissä sillan suunnitteluvaiheissa, kuten rakennus-suunnitteluvaiheessa, jolloin raudoitukset on mallinnettava taivutustyypeittäin, katkoksineen, laatuineen ja jatkospituuksineen. Betonianturoita on saatavana myös erilaisilla erikoiskuvioinneilla. Näiden eri kuviointien mallinnustakin voidaan miettiä mallin jatkokehityksessä. Kuvassa 18 eläinaihesia kuviointeja anturassa.



Kuva 18. Anturan pintakuvionti (Rumtec Oy)

Putkisillan varusteisiin ei olla tässä työssä paneuduttu. Varusteiden osalta, kuten valaistus, kehitystyötä jää vielä tehtäväksi. Varusteista on mahdollista tehdä omat custom komponentit, jotka lisätään malliin. Myös erilaiset liitokset ja teräskaaren viistotun osan kumireunus voisivat olla huomioon otettavia asioita mallia ja putkisillan eri komponentteja jatkossa kehitettäessä.

LÄHTEET

A-KUPSU.COM. Kuva 2.

JARKKO SAVOLAINEN. 2009. Opinnäytetyö. Tekla Structures custom component: teräsbetoninen vinojalkainen laattakehäsilta.

JPNEWS.FI. 10.6.2013. Kuva1.

LIIKENNEVIRASTO. 2012. Liikenneviraston ohjeita. Teräsputkisillat

LIIKENNEVIRASTO. 2013. Liikenneviraston ohjeita. Siltojentietomalliohje. Luonnosversio.

RUMTEC OY. Nettisivut.

VIACON OY. Nettisivut.

YLE.FI. Kuva 3.