

Henri Koskenkorva

**TIEDONSIIRTO TEKLA STRUCTURESIN JA SOFISTIKIN VÄLIL-
LÄ**

TIEDONSIIRTO TEKLA STRUCTURESIN JA SOFISTIKIN VÄLIL- LÄ

Henri Koskenkorva
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Rakennesuunnittelu

Tekijä(t): Henri Koskenkorva
Opinnäytetyön nimi: Tiedonsiirto Tekla Structuresin ja Sofistikin välillä
Työn ohjaaja(t): Ari Oikarinen, Antti Karjalainen (WSP Finland Oy)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 54 + 1 liite

Rakennusalan suunnittelutyössä saataisiin suuria ajallisia ja kustannuksellisia säästöjä, mikäli rakennuksen tietomalli voitaisiin siirtää analyysiohjelmaan ilman tietojen menettämistä. Optimaalisin tilanne olisi se, että tiedot hankkeen yleisuunnitteluvaiheesta saataisiin esimerkiksi IFC-muodossa analyysiohjelmaan ja siitä edelleen rakennussuunnitteluvaiheen detaljointiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia DWG- ja IFC-tiedonsiirron toimivuutta ja hyödyllisyyttä Tekla Structures –mallinnusohjelman ja Sofistik-analyysiohjelman välillä. Tiedonsiirrossa tarkasteltiin materiaali-, poikkileikkaus- sekä geometria-tietojen siirtyvyyttä. Tarkasteltavina kohteina oli kaksi erilaista siltaa. Työn tilaajana toimi WSP Finland Oy.

Tiedonsiirto toteutettiin luomalla ensin Teklassa IFC-malli. Seuraavaksi valittiin, mitä tietoja IFC-tiedonsiirtoon haluttiin mukaan. IFC-tiedostosta jätettiin pois Tekla Structuresin moduulilinjat sekä betonisen maatuen raudoitukset. Tämän jälkeen IFC-malli tuotiin Sofistikiin. DWG-tiedonsiirrossa ensin Tekla Structuresissa luotiin DWG-tiedosto. Tämän jälkeen se tuotiin AutoCADiin ja siitä perinteisesti kopioimalla Sofistikin Sofiplussaan, joka toimii AutoCAD-pohjaisesti.

Tiedonsiirto IFC-muodossa ei toiminut edellä mainittujen ohjelmistojen välillä ollenkaan, sillä mikään Bergskär Bro –sillan rakenteista ei siirtynyt Teklasta Sofistikiin. Sofistik antoi virheilmoituksen siitä, että tuotu IFC-tiedosto ei sisällä analyysimallia. Tekla Structuresilla voidaan luoda analyysimalli, mutta se vaatii listalta valittavaksi kohdeohjelman, jossa itse analysointi tapahtuu. Tällä listalla Sofistikia ei kuitenkaan ole. Tiedonsiirrossa havaittiin, että Teklan tukema koordinaatioesitystapa ja Sofistikin tukema rakenneanalyysiesitystapa ovat teknisesti eri asioita. Jotta IFC-tiedonsiirto onnistuisi, tulisi ohjelmien tukea molempia esitystapoja. DWG-muodossa oleva geometriamalli siirtyi ongelmitta. Suurin hyöty saatiin sillan ristikon osalta, jossa ristikon sauvojen keskilinjat saatiin piirrettyä Sofiplussassa uudelleen olemassa olevien viivojen päälle. Sitä vastoin esimerkiksi laattarakenteissa ei keskilinjoista ollut hyötyä, sillä ne mallinnetaan laatan reunojen mukaan. Tiedonsiirto ohjelmien välillä toimii siis DWG-muodossa, mutta ei IFC-muodossa.

Asiasanat: BIM, FEM, IFC, tiedonsiirto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author(s): Henri Koskenkorva

Title of thesis: Data Exchange between Tekla Structures and Sofistik

Supervisor(s): Ari Oikarinen, Antti Karjalainen (WSP Finland Ltd.)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015 Pages: 54 + 1 appendix

A great amount of time and cost savings in engineering design (of construction business) would be achieved, if the building information model could be transferred to the analysis program without losing the information. The most optimal situation would be that data from the general planning of the project could be transferred to the analysis program via IFC data exchange standard and further to structural detailed designing.

The goal of this thesis was to study the functionality and utility of DWG and IFC data exchange between Tekla Structures modeling program and Sofistik analysis program. The issues under examining were material, cross-section and geometric information transferability. Two different types of bridges were examined. The client to the study was WSP Finland Ltd.

The data exchange was carried out by first creating an IFC model in Tekla. Next step was to choose what information was to be included in the IFC data exchange. The grid of Tekla Structures and reinforcement of a concrete abutments were left out. Hereafter, IFC model was brought to Sofistik. In DWG transferring a DWG file was created, which was brought to AutoCad. From Autocad it was copied to Sofistik Sofiplus which functions are based on Autocad.

Data exchange in IFC form between the above-mentioned programs did not work at all. Sofistik gave an error notice that the imported IFC file does not include an analysis model. An analysis model can be created with Tekla Structures but it requires a target program chosen, where the analysis takes place. However Sofistik is not supported applications. It was noticed in this thesis, that coordination view of Tekla and structural analysis view of Sofistik are technically different things. Geometric model in DWG format was transferred without problems. The biggest benefit was received from the bridge's truss. The centerlines of the truss rods were able to be redrawn using imported lines in Sofiplus. However the centerlines were useless for instance slab structures because they were modelled by the outlines of the slab. Data exchange between the programs works in DWG format but not in the IFC format.

Keywords: BIM, FEM, IFC, data exchange

ALKULAUSE

Haluan kiittää WSP Finland Oy:n yksikönpäällikköä Antti Karjalaista mielenkiintoisesta ja haastavasta opinnäytetyön aiheesta sekä kaikesta tuesta työn eri vaiheissa. Lisäksi kiitän työkavereitani Niko Rimpiläistä ja Atte Mikkosta sekä opinnäytetyön ohjaajana toiminutta tuntiopettaja Ari Oikarista avusta ja arvokkaista kommentteista työhön liittyen.

Oulussa 9.4.2015

Henri Koskenkorva

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
MERKINNÄT JA LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 TIETOMALLINNETTAVA RAKENNUSHANKE	10
2.1 Rakennuksen tietomallinnus (BIM)	10
2.1.1 Tietomalli	10
2.1.2 Tietomallintamisen keskeiset muutokset perinteiseen suunnittelukäytäntöön verrattuna	11
2.1.3 Tietomallintamisen etuja	13
2.1.4 Tietomallintamisen haasteita	14
2.2 OpenBIM	15
2.3 Tietomallintaminen siltasuunnittelussa	15
2.4 Tietomallinnusohjelma Tekla Structures (TS)	16
2.5 Elementtimenetelmä (FEM)	19
2.6 Elementtimenetelmään perustuva analyysiohjelma Sofistik	21
3 TIEDONSIIRTO MALLINNUS- JA LASKENTAOHJELMIEN VÄLILLÄ	24
3.1 IFC-tiedonsiirtostandardi	24
3.1.1 IFC:n historia	25
3.1.2 IFC-tiedonsiirron periaate	26
3.2 Tietomallin analysoiminen ja rajapinnat	26
4 TIEDONSIIRTOKOKEILU KAHDELLA ERI SILLALLA	28
4.1 Ongelman kuvaus	28
4.2 Aikaisempia tiedonsiirtokokeiluita	29
4.3 Bergskär Bro -sillan kuvaus	30
4.4 IFC-mallin luominen Tekla Structuresilla	32
4.5 IFC-mallin tuominen Sofistikiin	34
4.6 Analyysimallin luominen Teklassa	35
4.7 Geometriamallin luominen Teklassa	38

4.8 Laskentamallin vieminen Sofistikista Tekla Structuresiin	42
5 YHTEENVETO	47
LÄHTEET	50
LIITTEET	54

MERKINNÄT JA LYHENTEET

BIM	Building Information Modelling, Tietomallinnus
CAD	Computer Aided Design, Tietokoneavusteinen suunnittelu
DWG	Autodeskin lisensoima tiedostomuoto (tiedostotarkennin .dwg)
FEA	Finite Element Analysis, Elementtimenetelmään perustuva analysointi
FEM	Finite Element Method, Elementtimenetelmä
Formaatti	Digitaalisen tallentamisen tiedostomuoto
IFC	Industry Foundation Classes, Rakennusalan avoin standardi oliopohjaisen tiedon siirtoon ohjelmasta toiseen.
Natiivi tiedostomuoto	Tietomalli tallennettuna sen mallintamisessa käytetyn ohjelman omassa tiedostomuodossa.
Oliopohjainen	Tiettyä asiaa kuvaavien tietojen kooste, jota sovelluksissa käsitellään yhtenä kokonaisuutena.
Rakennuksen tietomalli	Rakennuksen ja rakennusprosessin tuotetietojen kokonaisuus.
Tuotetieto	Tuotetta ja siihen liittyviä asioita kuvaava tieto, joka on digitaalisessa, tietokonesovelluksilla tulkittavassa muodossa.

1 JOHDANTO

Viime aikoina tietomallintaminen on lisääntynyt voimakkaasti rakennussuunnittelussa. Perinteisestä kaksiulotteisesta suunnittelusta on siirrytty kohti kolmiulotteista suunnittelua. Tietomalli on kolmiulotteinen digitaalisessa muodossa oleva oliopohjainen malli, joka sisältää esimerkiksi rakennuksiin tai siltoihin sekä niiden rakennusprosesseihin liittyvää tietoa ja mahdollistaa koko elinkaaren tietojen esittämisen.

Rakennuksen tietomallintamisen (Building Information Modelling, BIM) ja elementtimenetelmällä analysoimisen (Finite Element Analysis, FEA) toimivuutta keskenään on tutkittu yleisimmillä mallinnus- ja analyysiohjelmissä. Tällä hetkellä tiedonsiirto edellä mainittujen ohjelmistojen välillä ei toimi täydellisesti, mutta sitä on kuitenkin kehitelty jo usean vuosikymmenen ajan. Jos tiedonsiirto esimerkiksi hankkeen yleissuunnitteluvaiheesta onnistuisi IFC-muodossa analyysiohjelmaan ja siitä edelleen rakennussuunnitteluvaiheen detaljointiin, se aiheuttaisi merkittäviä säästöjä rakennushankkeen aikatauluun ja kustannuksiin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Tekla Structures -mallinnusohjelman ja Sofistik-analyysiohjelman välistä tiedonsiirtoa. Tiedonsiirto ohjelmien välillä toteutetaan IFC- sekä DWG-tiedostomuodossa. Työssä selvitetään, mitä kahden erityyppisen sillan tietoja ohjelmien välillä siirtyy. Näitä tietoja ovat esimerkiksi geometria, profiilit sekä ominaisuudet. Lisäksi tarkastellaan tiedonsiirron käyttökelpoisuutta ja tehokkuutta tietomallinnettavassa rakennushankkeessa.

Tässä opinnäytetyössä tutkimus on rajattu yksiaukkoiseen kevyenliikenteen ristikkosiltaan, jossa betonisten maatumien raudoituksia ei ole huomioitu tiedonsiirrossa. Analyysimallin siirtäminen Teklaan toteutetaan Sofistikilla mallinnetulla jännitetyllä jatkuvalla palkkisillalla.

2 TIETOMALLINNETTAVA RAKENNUSHANKE

Tietomallinnus rakennushankkeessa luo edellytykset rakennuksen ja rakenteiden 3D-mallintamiseen sekä eri järjestelmien toiminnan simulointiin. Lisäksi hankkeen eri osapuolten, esimerkiksi arkkitehtien, suunnittelijoiden sekä urakoitsijoiden, välinen yhteistyö ja tiedonjako yksinkertaistuvat. (Valitse BIM-sovellus, johon voit luottaa myös tulevaisuudessa. 2014.)

2.1 Rakennuksen tietomallinnus (BIM)

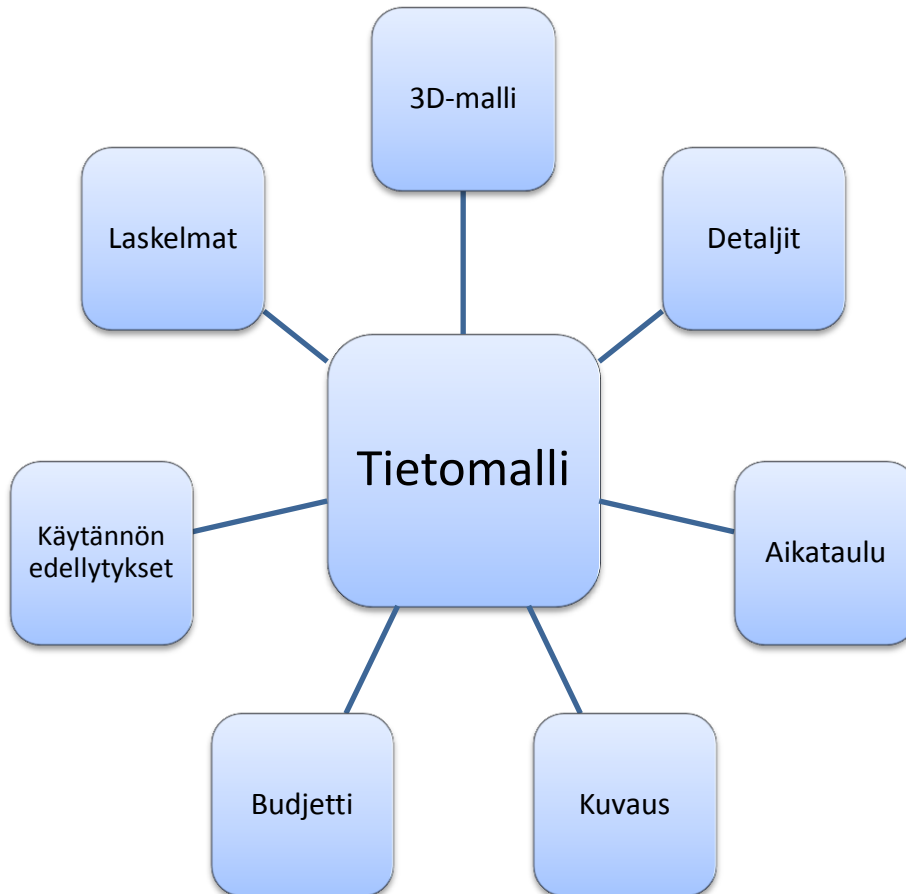
Tietomallinnus (Building Information Modelling) on vakiinnuttanut paikkansa rakennusalan suunnitteluprosesseissa. Tietomallinnuksessa rakennuksesta tai sillasta luodaan kolmiulotteinen virtuaalimalli, jonka objektit sisältävät tietoa niiden muodoista ja ominaisuuksista. (Penttilä – Nissinen – Niemioja 2006, 7.)

Keskeisimpänä etuna tietomallipohjaisessa suunnittelussa on se, että kaikki tarvittava tieto löytyy samasta mallista, jolloin tiedon hakeminen on nopeaa. Edellä mainittuihin tietoihin kuuluvat muun muassa rakennuksen tilat, rakennusosat, tekniset komponentit sekä niiden ominaisuudet. (Tuotemallitieto rakennusprosessissa. 2003; Penttilä ym. 2006, 8.)

2.1.1 Tietomalli

Tietomalli, joka liitetään myös usein sanoihin tuotemalli tai tuotetietomalli, voi sisältää esimerkiksi rakennuksen, sillan tai infrarakenteen sekä näiden rakennusprosessien tiedot ottaen huomioon koko niiden elinkaaren aina suunnittelusta käyttöön ja ylläpitoon sekä purkamiseen asti. Tietomalli on kolmiulotteinen malli, joka kokoaa kaikki kohdetta koskevat tiedot yhteen. Näin tiedon hyödyntämisestä tulee helppoa. Tietomallia voidaan hyödyntää rakentamisprosessissa alusta loppuun, sillä 3D-suunnitelmiin voidaan liittää myös hankkeen aikataulu- ja kustannustiedot. (Tietomallinnus; Mallintava suunnittelu.)

Tietomalli sisältää sekä graafista että ei-graafista tietoa rakennuksesta tai sillasta (Nielsen – Madsen 2010, 8). Joitakin keskeisiä tietomallin sisältämiä tietoja on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Tietomallin keskeinen sisältö

2.1.2 Tietomallintamisen keskeiset muutokset perinteiseen suunnittelukäytäntöön verrattuna

Tietomallintamisella pyritään saavuttamaan useita erilaisia hyötyjä. Sen käytön tarkoituksena on hallita rakennuksen tai sillan vaatimukset, suunnittelu, rakentaminen, käyttö ja ylläpito paremmin kuin perinteisillä menetelmillä. (Tietomallintaminen. 2015.)

Tietomallinnettavassa rakennushankkeessa kaikki tehtävämäärittelyt ja suunnittelutavoitteet sovitaan mahdollisimman aikaisin projektin alussa. Projektin sisäl-

lä lähtötietojen käsittelyt ja tehtävät sovitaan yksityiskohtaisesti. Näin tietomalli saadaan tuotettua mahdollisimman tehokkaasti. Suunnittelun painopiste tietomallinnettavassa rakennushankkeessa on hankkeen alussa, jotta voidaan tutkia eri vaihtoehtoja ja tehdä ennakkotarkasteluja. Luonnossuunnitteluvaiheessa tietomallintaminen tehdään suhteellisen kevyesti ja tutkitaan useita vaihtoehtoisia ratkaisuja. Suunnittelun alussa tulee ottaa huomioon tietomallista vaadittavat tietotarpeet, joita ovat muun muassa simulointi, visualisointi, kustannusvertailut, toiminnalliset tarkastelut, elinkaarikustannukset sekä rakennettavuus. (Penttilä ym. 2006, 9.)

Toteutus- ja tuotantosuunnitteluvaiheessa mallintavan suunnittelun alkuvaiheeseen tulee varata perinteistä piirustus- ja dokumenttikeskeistä hanketta enemmän aikaa, sillä tuolloin malliin syötetään kaikki toteutusta vaativat tiedot. Tämän vaiheen jälkeen tietomallinnettavassa hankkeessa säästetään aikaa perinteiseen suunnittelumenetelmiin verrattuna muun muassa tulosteiden tekemisessä, tiedonsiirron nopeutumisesta ja tehostumisesta sekä rutiinien ”automatoitumisesta”. (Penttilä ym. 2006, 9.)

Rakennesuunnittelija liittyy tietomallinnettavaan hankkeeseen jo aikaisessa vaiheessa, jolloin mallista saadaan alusta lähtien kaikki hyöty irti. Tietomallista on perinteiseen käytäntöön verrattuna helpompi luoda rakennuksesta tai rakenteesta staattinen malli, joka sisältää rakennusosat, liitokset ja kuormitukset. Tietomallinnettavassa hankkeessa kaikkien suunnitteluun osallistuvien osapuolten tulisi aloittaa mallintaminen samaan aikaan, jotta mallintava suunnittelu tuottaisi mahdollisimman paljon hyötyä ja välttyttäisiin ristiriidoilta. (Penttilä ym. 2006, 9-10.) Taulukossa 1 on esitetty joitakin perinteisen rakennushankkeen ja tietomallinnettavan rakennushankkeen eroja.

TAULUKKO 1. Perinteisen rakennushankkeen ja tietomallinnettavan rakennushankkeen eroja (RT 10-10992. 2010, 2)

	Perinteinen suunnittelu	Mallintava integroitu suunnittelu
Tiimit	<ul style="list-style-type: none"> • hajautuneita • perinteiseen hankeosapuolijakoon keskittyneitä • tottuneet toimittamaan ainoastaan pyydettyä tietoa (toimivat "pienimmän vaivan" periaattella) • painottavat toiminnassa osapuolten välistä työnjakoa • hierarkisesti johdettuja • perustuvat eriytyneeseen ammattitaitoon 	<ul style="list-style-type: none"> • aikaisempien hankkeiden perusteella muodostuneita • muodostetaan hankkeen keskeisistä toimijoista ja osajista • toimittavat tarvittavaa tietoa oikea-aikaisesti • painottavat toiminnassa yhteistyökykyä • parhaiden käytössä olevien kykyjen perusteella avoimesti johdettuja • perustuvat eri osapuolten osaamisen yhdistämiseen
Prosessit	<ul style="list-style-type: none"> • vaiheittaisia, erillisiä, eriytyneitä • tietoa "hamstrataan" ja se kootaan viime hetkellä • tietoa jaetaan vain pyytäjälle (maksajalle) ja vain pyydettyäessä 	<ul style="list-style-type: none"> • samanaikaisia, päällekkäisiä, monitasoisia • tiedon kokoamisessa ennakoidaan tulevia hankevaiheita • tietoa jaetaan avoimesti ja vapaasti tiedon tarvitsijoille
Riskit	<ul style="list-style-type: none"> • kohdistuvat yksittäisiin osapuoliin 	<ul style="list-style-type: none"> • kohdistuvat kaikkiin osapuoliin ja jaetaan tarkoituksenmukaisesti • pienenevät hankkeen hallittavuuden parantuessa
Hyödyt ja voitot	<ul style="list-style-type: none"> • mahdollisimman paljon hyötyä itselle mahdollisimman pienellä vaivalla • toiminta perustuu yleensä nopeimmin saavutettaviin voittoihin 	<ul style="list-style-type: none"> • mallintaminen hyödyttää kaikkia hankeosapuolia • suurimmat hyödyt koituvat hankkeen omistajalle ja keskeisille toimijoille • toiminta on arvoperusteista
Kommunikaatio	<ul style="list-style-type: none"> • piirustus pohjainen 	<ul style="list-style-type: none"> • tietomallipohjainen (3-, 4-, 5-ulotteinen)
Sopimukset	<ul style="list-style-type: none"> • kannustavat yksipuoliseen toimintaan • pyrkivät kohdentamaan riskejä 	<ul style="list-style-type: none"> • kannustavat yhteistyöhön • edistävät ja tukevat avointa tiedonjakoa

2.1.3 Tietomallintamisen etuja

Keskeisiä tietomallintamisesta saatavia etuja ovat muun muassa seuraavat:

- Suunnittelun lopputulos ja tietosisältö ovat tarkkoja ja monipuolisia.
- Suunnitteluvirheet voidaan havaita aikaisessa vaiheessa.
- Virtuaalisesta mallista ja sen tietokannasta voidaan poimia tarvittavia tietoja yksinkertaisesti.
- Tietomallin tietokanta päivittyy automaattisesti, kun mallia muutetaan.

- Eri suunnittelijoiden mallien yhdistäminen ja ristiriitojen tarkastaminen tulee mahdolliseksi.
- Vaihtoehtojen tarkastelu helpottuu.
- Mallista on helppo luoda 3D-näkymiä eri tilanteista.
- Mallin sisältämän tiedon jatkohyödyntäminen koko hankkeen elinkaaren aikana helpottuu.
- Muutosten tekeminen malliin helpottuu.
- Tietomallipohjainen suunnittelu luo hyvän pohjan koko elinkaaren huomioonottavalle päätöksenteolle kaikkien hankkeeseen osallistujien kannalta.

(Penttilä ym. 2006, 10; Eastman – Teicholz – Sacks - Liston 2011, 16.)

2.1.4 Tietomallintamisen haasteita

Tietomallintaminen sisältää myös haasteita, joita ovat muun muassa seuraavat:

- Tietomallinnusohjelmistojen käyttö aiheuttaa merkittäviä kuluja, jotka koostuvat ohjelmiston hankkimisesta, lisensoinnista sekä koulutuksesta ohjelmistojen käyttöön.
- Tietomallinnus vaatii enemmän vaivaa projektin alussa.
- Tietomallintamisessa tiedostot ovat suurempia kuin perinteisessä CAD-järjestelmässä ja mallinnusohjelmien käyttö on tietokonetta ”kuormittavampaa”, mikä tarkoittaa sitä, että tietokoneiden tulee olla korkealaatuisia.
- Tietomallinnukseen osallistuvien henkilöiden tulee kyetä toimimaan tietomallipohjaisesti.
- Tietomallinnus ja tietomallinnusohjelmat kehittyvät jatkuvasti, mikä luo haasteita käyttäjille sisäistää muuttuvat käytännöt.
- Tietomallinnus mahdollistaa muutosten teon helposti, joten asiakas voi tehdä muutoksia hankkeeseen helpommin ja tämä voi vaikuttaa suunnittelun ja rakentamisen kustannusten kasvuun.

(Penttilä ym. 2006, 17; Eastman ym. 2011, 16; Carlin 2010.)

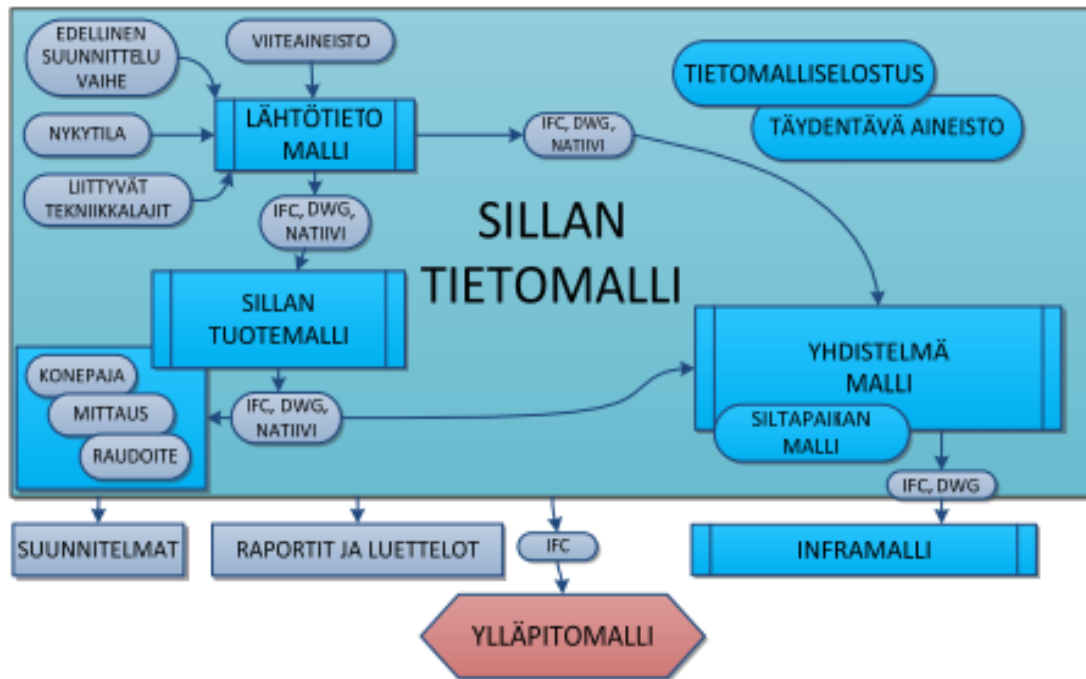
2.2 OpenBIM

OpenBIM on universaali lähestymistapa osapuolten väliseen tiedonsiirtoon, joka perustuu avoimiin standardeihin ja työnkulkuun. Yhteensopivuuden ideana on keskittyä prosessiin sekä tarkastella, miten hyvin eri BIM-työkalut toimivat keskenään yhden työkalun sijaan. OpenBIM mahdollistaa kaikkien osallistumisen projektiin riippumatta siitä, mitä ohjelmaa he käyttävät. Tällä tavoin jokaiseen projektiin voidaan valita parhaat hankeosapuolet. Tällä hetkellä toimivin tapa toteuttaa avointa tietomallinnusta on IFC-tiedostomuodon käyttäminen. Tarkemmin IFC-standardista on kerrottu luvussa 3.1. (Open BIM Overview. 2014; OPEN BIM. 2015.)

2.3 Tietomallintaminen siltasuunnittelussa

Tietomallien hyödyntäminen rakennusten suunnittelun ohella on lisääntynyt myös siltojen suunnittelussa. Silta on osa väylää, jolloin sen sopiminen tien geometriaan tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Vastaavasti yhtä tärkeitä huomioon otettavia seikkoja ovat myös maasto ja siltapaikan ympäristö. Tietomallin avulla edellä mainittujen asioiden tarkastaminen on perinteiseen suunnitteluun verrattuna helpompaa. (Heikkilä – Jaakkola – Pulkkinen – Karjalainen – Haapa-aho – Jokinen 2004, 13,17.)

Sillan tietomalli on mallipohjainen suunnitelmakokonaisuus. Se rakentuu lähtötietomallista ja kolmiulotteisista tuotemalleista, joita voi olla yksi tai useampia. Lähtötietomallin ja 3D-tuotemallin yhdistämisestä saadaan yhdistelmämalli, joka antaa mahdollisuuden muodostaa siltapaikkaa kuvaava malli. (Siltojen tietomalliohje. 2014, 12; Tietomallintaminen. 2015.) Kuvassa 2 on esitetty sillan tietomallin rakenne ja tiedonsiirrossa käytetyt formaatit.

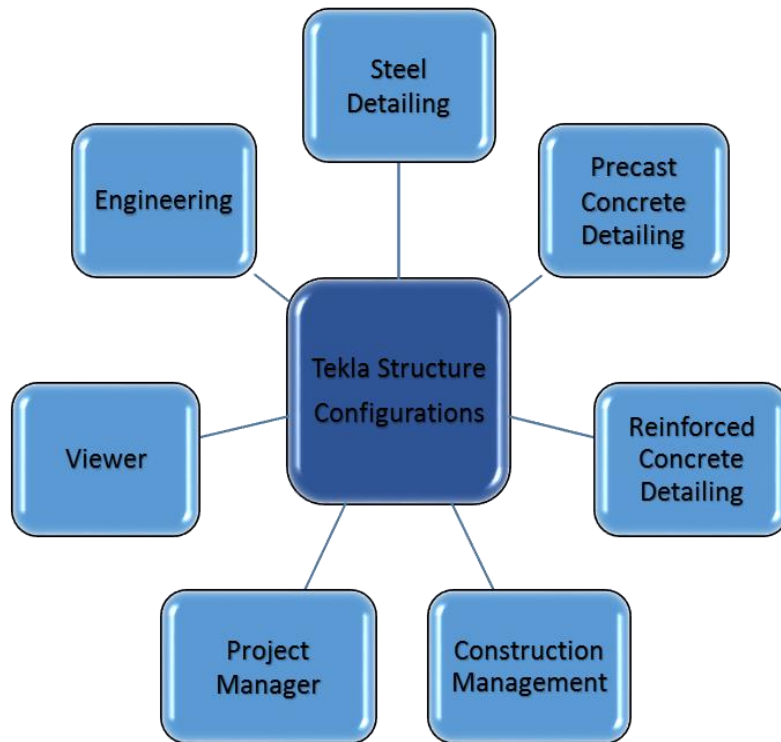


KUVA 2. Sillan tietomalli ja tiedon siirtoon käytetyt formaatit (Siltöjen tietomalli-ohje. 2014, 12)

2.4 Tietomallinnusohjelma Tekla Structures (TS)

Tekla Structures on yksi yleisimmin rakennusalalla käytetty rakennesuunnitteluohjelma, jolla voidaan mallintaa kaiken tyyppisiä rakenteita ja tuoda useista eri materiaaleista olevia rakenteita samaan malliin. Myös siltasuunnittelussa Teklalla voidaan mallintaa teräs-, betoni-, puu-, ja liittorakennesiltoja. Mallinnus Tekla Structuresilla tapahtuu kolmiulotteisesti, ja tätä kolmiulotteista tietomallia voi työstää useampi ihminen samaan aikaan. Teklalla voidaan tuottaa automaattisesti 3D-mallista piirustuksia ja raportteja. (Tekla Structures. 2015.)

Tekla Structuresin voi yhdistää analyysiohjelmiin joko Tekla Open API -ohjelmointirajapinnan avulla tai tiedostopohjaisesti. Tästä yleisin tiedonsiirtomuoto on IFC. (Tekla Structures. 2015.) Kuvassa 3 on esitetty Tekla Structuresin kokoonpanot.



KUVA 3. Tekla Structuresin kokoonpanot

Tekla Structuresin ominaisuudet:

Mallinnustoiminnallisuuksien avulla käyttäjä voi

- tarkastella Tekla–malleja kaikkine materiaali- ja profiilitietoineen
- luoda ja muokata moduuliverkkoa
- luoda hitsaussaumoja
- mallintaa osia (kaikki rakennusmateriaalit) ja pultteja
- lisätä erilaisia kuormia ja kuormitusyhdistelmiä
- luoda teräsosien kokoonpanoja
- luoda betoniosista elementtejä
- mallintaa raudoituksia
- luoda kokoonpanohierarkian tasoja
- luoda teräs- ja betoniliitoksia
- luoda automaattisesti esimääritettyjä liitoksia useille osille
- numeroida osat automaattisesti.

Workflow-työkaluilla käyttäjä voi

- aikatauluttaa mallin
- hallita yksittäisen rakennusosan statustietoa
- jäsentää ja luokitella mallin
- hallita törmäykset
- määrittää asennusjärjestyksiä
- tarkastella 4D-mallia (simuloitu aikataulu)
- määrittää ja hallita aikatauluja
- liittää aikataulutettuja tehtäviä mallin kohteisiin.

Piirustusten ja raporttien avulla käyttäjä voi

- luoda piirustukset paikallavaluraudoitteista taivutusluetteloineen
- räätälöidä raportit ja piirustusten nimiöt omiin tarpeisiin sopiviksi
- luoda yleispiirustuksia (taso, osa, asennus)
- luoda yksittäisen osan ja kokoonpanon piirustukset (teräs)
- luoda elementtipiirustukset (betonielementit)
- tulostaa piirustukset ja raportit
- luoda raportteja (kokoonpanoluettelot, osaluettelot)
- luoda raudoitusraportteja (taivutuskaaviot, painot, määrät).

Yhteistyötoiminnallisuuksien avulla käyttäjä voi

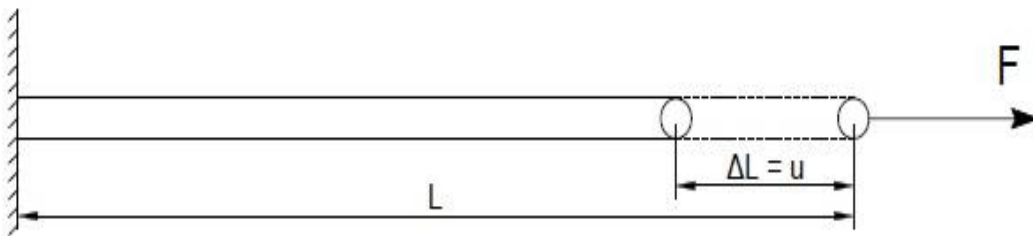
- työskennellä samassa mallissa yhtäaikaisesti muiden käyttäjien kanssa
- luoda IFC-mallin ja tarkastella sekä jakaa sitä ilmaisella Tekla BIMsightilla
- käsitellä mallin tietoja Tekla Open API™ -rajapinnan kautta
- kytkeytyä muiden projektiosapuolten työkaluihin
- suorittaa tuotannonohjausjärjestelmät.

Näiden lisäksi Tekla Structures sisältää seuraavat linkit ja tiedostomuodot: CNC-koneiden ohjaus (DSTV,CIS/2), IFC (2x2, 2x3), laskentaohjelmistot, FEM, XML, graafinen 2D- ja 3D-data (DXF, DGN ja DWG). (Tekla Structures Engineering – yleissuunnittelun toiminnallisuudet. 2015.)

2.5 Elementtimenetelmä (FEM)

Elementtimenetelmä (Finite Element Method, FEM) syntyi Yhdysvalloissa 1950-luvulla. Aluksi sitä käytettiin lentokoneiteollisuudessa, mutta hyvin pian sen käyttö laajeni myös kone- ja rakennustekniikan alueille. Jälkimmäisillä aloilla elementtimenetelmää käytettiin kantavien rakenteiden statiikan ja dynamiikan käsittelyyn. Elementtimenetelmään liittyen käytetään myös usein termiä FEA, joka tulee englanninkielisistä termeistä Finite Element Analysis. Se tarkoittaa elementtimenetelmällä suoritettavaa laskentaa. (Lähteenmäki 2009, 1.)

Elementtimenetelmän perusideana on jakaa geometrisesti mutkikas rakenne geometrisesti yksinkertaisiin osa-alueisiin (elementteihin), joissa tuntematonta suuretta kuvataan sopivilla likimääräisfunctioilla. Funktioiden tuntemattomat kertoimet ovat tutkittavan suureen arvoja elementtien ”solmupisteissä”. Muodoiltaan yksinkertaiset elementit ovat kytketty toisiinsa ainoastaan näiden solmupisteiden kautta. (Lähteenmäki 2009, 2.) Kuvassa 4 on esitetty yksinkertainen sauvarakenne, joka on tuettu täysin jäykästi vasemmasta päästään ja sauvan oikeaa päätä kuormittaa vetävä voima F .



KUVA 4. Jäykästi tuettu yksinkertainen sauvarakenne, jota kuormittaa vetävä voima F

Elementtimenetelmässä on joukko algebrallisia yhtälöitä, jotka vaikuttavat solmupisteissä. Voiman ja vastaavan siirtymän välinen riippuvuus saadaan joukoyhtälöstä, joka on esitetty kaavassa 1. (Hakala 1980, 15.)

$$F = ku$$

KAAVA 1

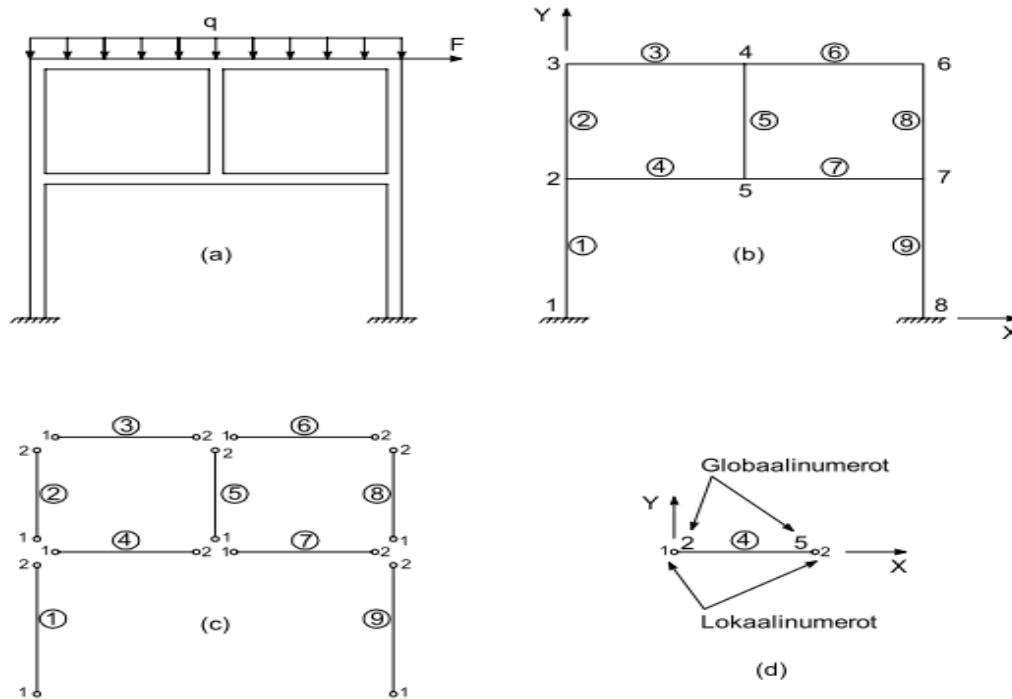
F = voima (N)

k = jousivakio (N/mm)

u = siirtymä (mm)

Edellä esitetyssä palkissa systeemin käyttäytyminen voidaan kuvata yhdellä siirtymällä. Tällöin kyseessä on yhden vapausasteen tapaus. Jos palkkia kuormittaisi yhtä aikaa useampi pistekuormitus alaspäin, se olisi useamman vapausasteen tapaus. Vapausasteita voi olla periaatteessa ääretön määrä, mutta riittävällä tarkkuudella rakenteet voidaan ratkaista käyttämällä äärellistä määrää vapausasteita, jotka sijaitsevat rakenteen tietyissä pisteissä. Tätä menetelmää kutsutaan diskretoinniksi, jolla on keskeinen merkitys elementtimenetelmässä. (Hakala 1980, 19.)

Elementtimenetelmässä tutkittavan rakenteen jako-osina käytettävien elementtien koko voi vaihdella tarkasteltavan rakenteen luonteesta riippuen. Rakenteessa voi eri osissa esiintyä suuriakin kokovaihteluja, jolloin on mielekästä käyttää geometrialtaan erilaisia elementtejä. Tämä tekee elementtimenetelmästä hyvin joustavan poikkileikkaukseltaan muuttuvien sekä yhdistettyjen rakenteiden käsittelyssä. Kappaleen jako elementteihin muodostaa elementtijoukon, joka tunnetaan nimellä elementtiverkko tai laskentamalli. Elementtiverkko ei anna täysin tarkkoja tuloksia, sillä se kuvaa rakennetta vain likimääräisesti. Kuvassa 5 on esitetty tasokehän elementtiverkko. (Lähteenmäki 2009, 2-3.)

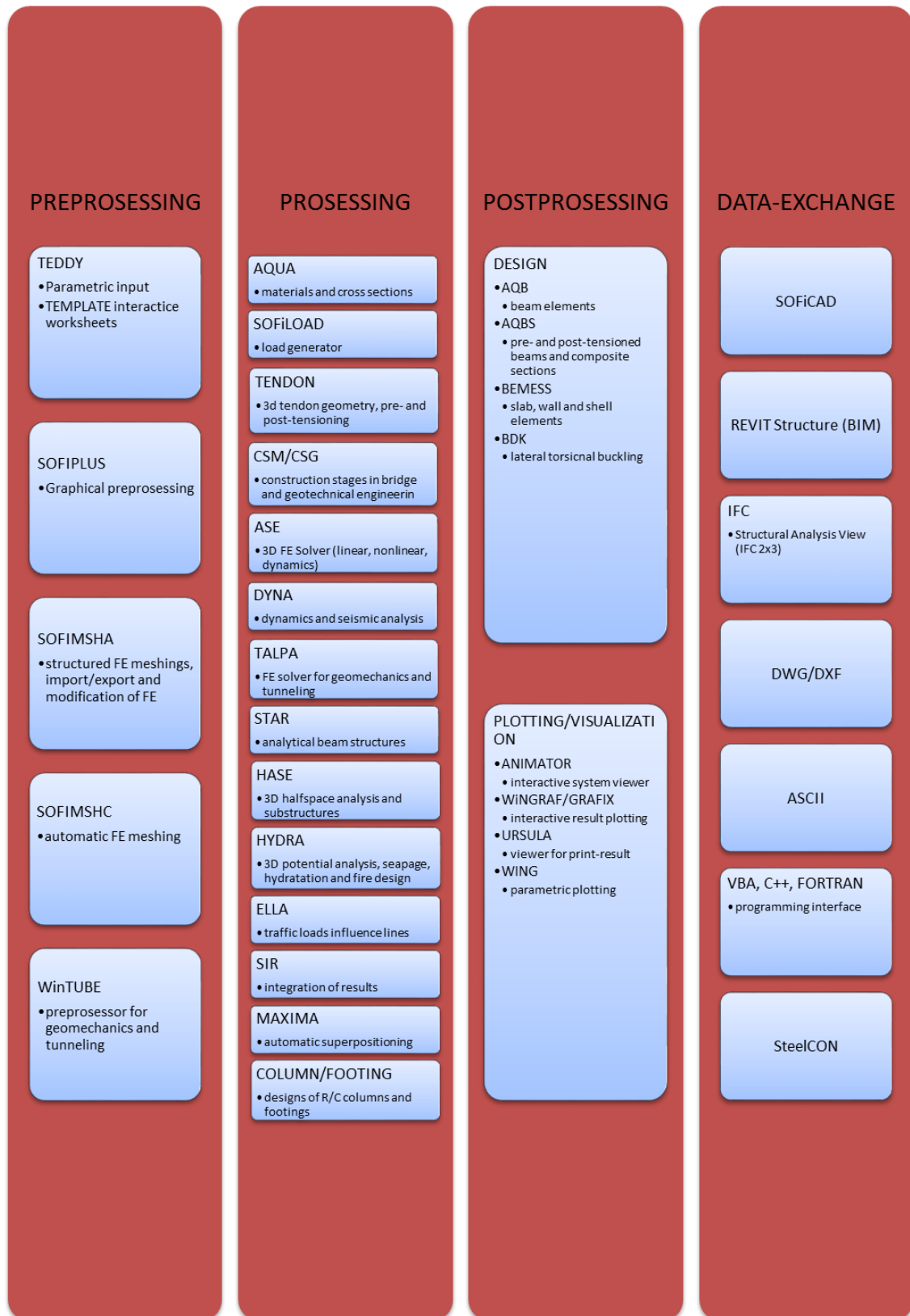


KUVA 5. Tasokehän elementtiverkko

Kuvassa 5 näkyvät esimerkit tasokehästä (a), eräs mahdollinen tasokehän elementtiverkko (b), kaikki elementit eriteltynä (c) sekä yksittäinen elementti 4 (d). Elementtien numerot on ympyröity. Kaikki kehän elementtiverkossa olevat elementit ovat tässä tapauksessa 2-solmuisia elementtejä.

2.6 Elementtimenetelmään perustuva analysohjelman Sofistik

Sofistik on Sofistik AG:n luoma FEA- ja CAD-pohjainen elementtimenetelmään perustuva ohjelmisto, joka on tarkoitettu rakennus- ja rakennetekniseen mallintamiseen, analysoimiseen, suunnitteluun sekä detaljointiin. Sofistik on yksi kattavimmista FE-paketeista. Se kattaa rakennukset, sillat, tunnelit, esijännitetyt rakenteet, kevytrakenteet, geotekniikan, teräsrakenteet, dynamiikan sekä virtauslaskennan. Sofistikin pääkäyttöliittymä on Sofistik Structural Desktop. Rakenteen alustava suunnittelu tapahtuu AutoCAD-pohjaisella Sofiplussalla sekä syöttämällä parametritietoja Teddyssä. (Sofistik. 2009; Finite Element Software. 2013, 1-2; Tutorial SSD/SOFIPLUS – A Quick Reference. 2010, 2.) Koko Sofistikin tietokanta on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Sofistikin tietokanta

Sofistikilla on mahdollista mallintaa kolmiulotteisesti erilaisia siltoja, jotka voivat koostua esimerkiksi palkeista, laatoista, jänneteräksistä, köysistä, paaluista sekä ristikoista. Se sisältää automaattiset rakennusvaiheen lineaariset ja epälineaarit analysoinnit. Ohjelman avulla voidaan määrittellä ajasta riippuvat vaikutukset, kuten viruma ja kutistuma. (Finite Element Software. 2013, 3.)

Siltojen suunnitteluun liittyen Sofistikissa on esijännittämisen kirjastoja koskien esimerkiksi palkkeja ja laattoja. Sofistikilla on mahdollista tarkastella sillan eri kuormitusyhdistelmiä sekä kuormaryhmiä. Myös lämpötilan, tuulen sekä törmäyksen aiheuttamat vaikutukset voidaan ottaa huomioon. (Finite Element Software. 2013, 3.)

Sofistikilla siltasuunnittelija pystyy tarkastelemaan erityisten vaatimusten omaavia rakenteita sekä vaikeita analyysejä. Tällaisia ovat esimerkiksi rakennusvaiheessa tapahtuvat laskennat, kuormien optimoinnit, sekamuotoiset laattapalkkimallit sekä integroidut maaperän kolmiulotteisen vuorovaikutuksen analysoinnit. (Computer Aided Bridge Design. 2012, 1.)

Sofistik mahdollistaa kolmiulotteisen geometrian määrittämisen taso-, sivu- ja poikkileikkausnäkymissä. Ohjelmisto sisältää lisäksi muun muassa jänteiden häviölaskelmat kolmiulotteisesti ja kaarevasti, jännittämisen ja rakentamisen sarjat, laattojen ja palkkien esijännittämisen sekä jänteiden rasitusdiagrammin. (Computer Aided Bridge Design. 2012, 2.)

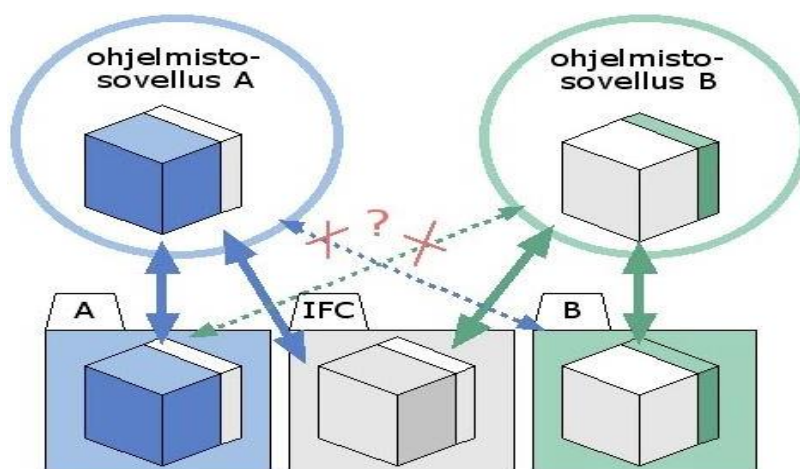
Liikennekuormiin liittyen ohjelmisto tarjoaa yksinkertaisen tietojen syötön, automaattisen sillan kannen liittämisen ympäröivään tiehen eri mitoitusnormien mukaan, pintojen ja vaikutusviivojen perustamisen sekä junakuormien arvioimisen eri mitoitusnormien mukaan. Maantie- ja rautatieliikenteen vakiokuormamalleja voidaan valita laajasta kirjastosta tai vaihtoehtoisesti määrittellä itse. (Computer Aided Bridge Design. 2012, 3-4.)

3 TIEDONSIIRTO MALLINNUS- JA LASKENTAOHJELMIEN VÄLILLÄ

Rakennusalalla hankkeet ovat usein monialahankkeita, joihin esimerkiksi silta-hankkeet kuuluvat. Eri alojen suunnittelijat käyttävät työssään erilaisia ohjelmistoja, joissa tallennus tapahtuu ohjelman omaan natiiviformaattiin. Formaattien erilaisuus voi aiheuttaa ongelmia suunnitelmia yhteen sovitettaessa sekä ohjelmien välisessä tiedonsiirrossa. Tiedonsiirto-ongelmaa on pyritty ratkaisemaan avoimen tiedonsiirron avulla, joka on ohjelmasta riippumatonta. Yleisin rakennusalalla käytetty avoin tiedonsiirtoformaatti on IFC, josta on tarkemmin kerrottu luvuissa 3.1 - 3.1.2.

3.1 IFC-tiedonsiirtostandardi

IFC-tiedonsiirtoformaatti (Industry Foundation Classes) on BuildingSMARTin kehittämä eri tietojärjestelmien väliseen tiedonsiirtoon tarkoitettu yhteinen siirtomuoto, joka mahdollistaa objektien älykkään tiedonsiirron. IFC mahdollistaa eri ohjelmistoista riippumattoman tavan siirtää kolmiulotteista tuotetietoa soveluksien välillä. IFC-formaatti sisältää tiedon rakennusosien muodoista ja ominaisuuksista. (Tietomallinnus; IFC-tiedonsiirto. 2013, 1.) Kuvassa 7 on esimerkki kahdesta eri ohjelmasta ja kolmesta tiedoston tallennusmuodosta. Kuvan tapauksessa IFC on ainoa tapa siirtää tietoa ohjelmien A ja B välillä.



KUVA 7. Kaksi eri ohjelmaa ja kolme tiedoston tallennusmuotoa (Penttilä 2009)

3.1.1 IFC:n historia

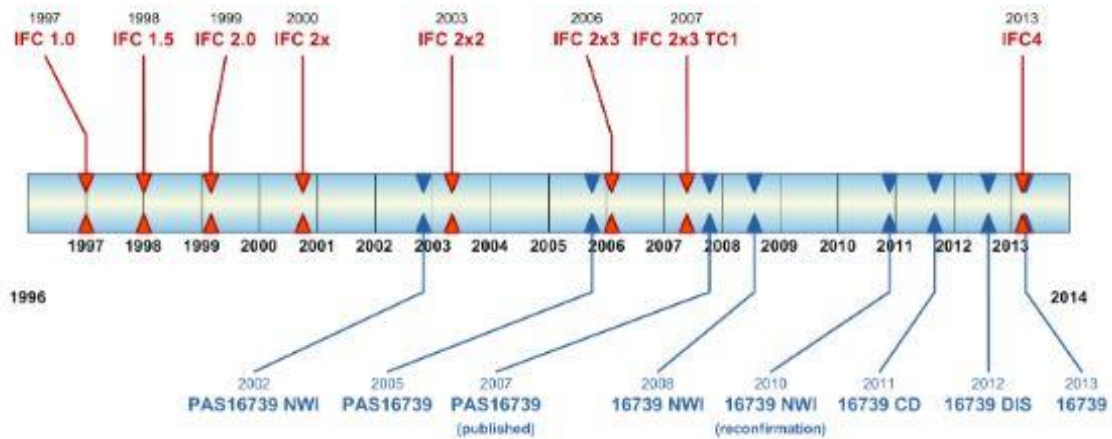
IFC 1.5.1 oli ensimmäinen kaupallisiin ohjelmistototeutuksiin tarkoitettu versio. Se sisälsi rakennuksen tilat ja rakennusosat sekä näiden geometriat. Seuraava versio oli IFC 2.0. Tässä versiossa oli huomattavasti edeltäjänsä laajempi sisältö erityisesti arkkitehtisuunnittelun, LVI-suunnittelun sekä kiinteistönpidon osa-alueilla. Syksyllä 2000 julkaistiin IFC 2x. Uusi versio oli laajuudeltaan kutaquinkin edellistä vastaava, mutta mallin rakenteesta tuli johdonmukaisempi. Jotakin lisäyksiä tehtiin lisäksi muun muassa mallin katselmoinnin ja kommentoinnin alueilla parantamaan sen laatua. (Karstila – Serén 2002, 10-11.)

Vuonna 2003 julkaistiin IFC 2x2, joka oli ensimmäinen seuraaja IFC 2x -alustalle. Ensimmäistä kertaa se toi IFC-alimallin rakenneanalyysiin sekä useisiin laajennuksiin LVIS- ja rakennusvalvonnan määrittäisiin. IFC 2x2 –versio mahdollisti myös kaksiulotteisten tietojen tuomisen BIM-malliin. (Summary of IFC Releases. 2014.)

Helmikuussa 2006 julkaistiin IFC 2x3, jossa edelliseen versioon verrattuna soveltamisala on pysynyt entisellään. Parannuksena edelliseen versioon verrattuna oli lähinnä vain laadun paraneminen. Nykyään jokaisessa julkisessa rakennushankkeessa käytettävien mallinnusohjelmistojen tulee olla vähintään IFC 2x3 –sertifikoituja. (Summary of IFC Releases. 2014; RT 11066 2012, 2.)

Uusin versio IFC 4 julkaistiin 2013. Se sisältää useita muutoksia edelliseen versioon verrattuna. IFC 4 mahdollistaa muun muassa lukuisia uusia BIM-työnkulkuja sisältäen esimerkiksi hankkeen aikataulutuksen. Tämän lisäksi IFC 4 mahdollistaa hankkeen aikataulutuksen sekä lämpösimulaatioihin tarvittavan tiedonsiirron. Uusimpaan versioon on korjattu myös IFC 2x3:sta löydetyt tekniset ongelmat. (Summary of IFC Releases. 2014.)

IFC 5 on tällä hetkellä varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Sen odotetaan sisältävän muun muassa täysi tuki eri infrastruktuurien alueella. (Summary of IFC Releases. 2014.) Kuvassa 8 on esitetty IFC-versioiden julkaisuvuodet aikajana-



KUVA 8. IFC-versioiden julkaisuvuodet (Liebich 2013)

3.1.2 IFC-tiedonsiirron periaate

Jotta tiedon siirtäminen sovellusten välillä olisi mahdollista IFC-muodossa, on eri sovellusten toteutettava siihen perustuvat tiedonsiirron rajapinnat. IFC-tiedonsiirtostandardi mahdollistaa siis tiedon siirtämisen standardia tukevien ohjelmistojen välillä. IFC toteuttaa tiedon jakamisen ja ylläpitämisen koko rakennushankkeen elinkaaren aikana. (Nemetschek North America Announces Public Beta for Upcoming IFC Version 2x3 Plug-ins and GSA-compliant Space Object. 2007; Penttilä ym. 2006, 37-38.)

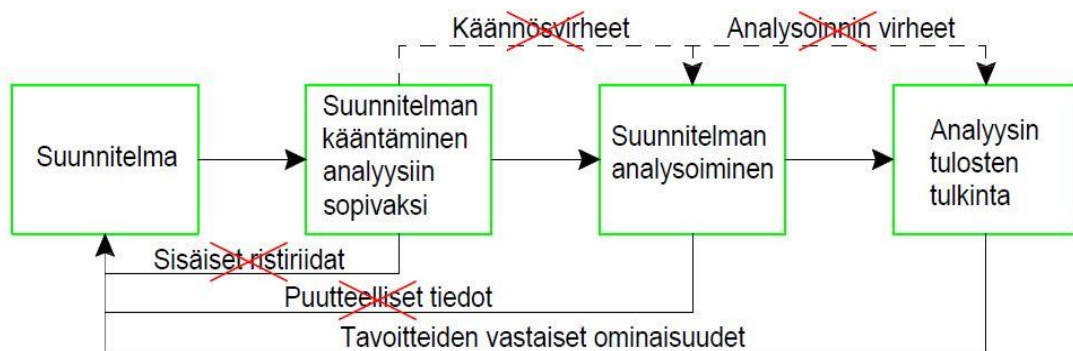
IFC-tiedonsiirto tarkoittaa sitä, että ohjelmasovellus, josta malli on tarkoitus viedä toiseen sovellukseen, esikäsittelee tiedot ohjelman omasta natiivitiedostomuodosta IFC-muotoon. Vastaanottava ohjelma taas mahdollisesti muuttaa IFC-muotoisen tiedon omaan natiivitiedostomuotoonsa. IFC-standardia kehitetään koko ajan, ja se sisältää paljon eri ominaisuuksia. IFC:n toimivuus riippuu kuitenkin siitä, kuinka kattavasti eri ohjelmistot tukevat sen vaatimia rajapintoja. (Penttilä ym. 2006, 37-38.)

3.2 Tietomallin analysoiminen ja rajapinnat

Jotta tietomalli pystytään analysoimaan, tulee kyseisen tietomallin sisältää kaikki tieto, joka tarvitaan analysointia varten. Lisäksi tiedon tulee olla analysointiohjelman ymmärtämässä muodossa. Harvoin sama tietomalli sisältää kaikkea

analyysiohjelman vaatimaa tietoa vaan tarvittava tieto kootaan useasta eri lähteestä. Tällöin tiedot kulkevat rajapintojen kautta. Esimerkiksi siltahankkeesta, jossa silta on mallinnettu mallinnusohjelmalla, ei voida analysoida maa- tai väli-tukien painumaa, jos kyseinen malli ei sisällä tietoa siltapaikalla olevan maa-aineksen ominaisuuksista. Suunnittelu- ja analyysiohjelmien välillä on aina ole-massa jonkinlainen rajapinta. (Hietanen 2005, 66-67.)

Ohjelmistojen välinen rajapinta on merkittävä tekijä, kun tarkastellaan, kuinka nopeasti ja luotettavasti tiedon siirtäminen analysoitavaan malliin onnistuu. Ana-lysoitavan mallin tekeminen on suunnitteluprosessissa varsin hidasta, minkä johdosta suurin osa suunnitteluajasta kuluu usein tämän mallin tekemiseen. Heikosti toteutettu rajapinta hidastaa mallin analysointivaihetta ja lisää tulkinta-virheiden määrää suunnitelmia tutkittaessa. (Hietanen 2005, 67-68.) Kuvassa 9 on esitetty rajapinnan vaikutus tietomallista tehtävän analyysin luotettavuuteen.



KUVA 9. Tietomalleihin perustuvan rajapinnan vaikutus analyysin luotettavuuteen

4 TIEDONSIIRTOKOKEILU KAHDELLA ERI SILLALLA

Kuten luvussa 1 mainittiin, tässä opinnäytetyössä selvitetään tiedonsiirron toimivuutta ja tehokkuutta Teklan ja Sofistikin välillä. Tiedonsiirrossa Teklasta Sofistikiin on käytetty yksiaukkoista kevyenliikenteen ristikkosiltaa Bergskär Brota. Tiedonsiirrossa Sofistikista Teklaan on käytetty 5-aukkoista jatkuvaa palkkisiltaa.

4.1 Ongelman kuvaus

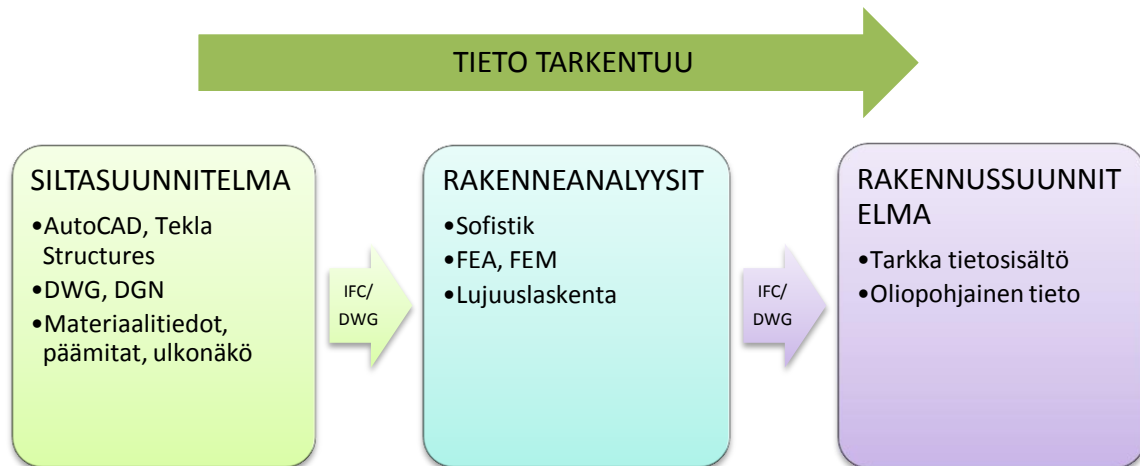
Siltahankkeen suunnitteluprosessi alkaa esisuunnitteluvaiheesta, jossa kohteesta luodaan maastomalli, väylämalli sekä siltavaihtoehdoista luodut yhdistelmämallit. Tässä vaiheessa suunnittelu tehdään luonnostelun tarkkuudella. (Siltojen tietomalliohje. 2014, 19.)

Seuraava suunnittelun vaihe on yleissuunnittelu, jossa sillasta mallinnetaan näkyvissä olevat rakenteet. Tämä malli sisältää materiaalitiedot, päämitat sekä sillan ulkonäön. (Siltojen tietomalliohje. 2014, 20.) Sillan yleissuunnitelma voidaan toteuttaa esimerkiksi DWG- tai DGN-muodossa AutoCADilla tai mallintamalla Teklassa. Tämän opinnäytetyön kohteista tehtiin yleissuunnittelu AutoCADilla.

Siirryttäessä rakennussuunnitteluun voidaan toteuttaa rakennuksen tai rakenteen rakenneanalyysit. Lujuuslaskentaan tarkoitettuja ohjelmia on useita. Niiden toiminta perustuu esimerkiksi elementtimenetelmään. DWG-mallin tuominen analyysiohjelmaan voidaan toteuttaa esimerkiksi suoran linkin kautta tai IFC-muodossa. Tässä työssä Teklalla luotu malli pyritään tuomaan Sofistikiin sekä IFC-muodossa että DWG-muodossa.

Rakenneanalyysin jälkeen laaditaan rakennussuunnitelmamalli. Tässä vaiheessa kohteesta mallinnetaan kaikki siihen kuuluvat osat, myös näkymättömiin jäävät osat. Rakennussuunnitteluvaiheessa malli on mittatarkka ja jokainen osa sisältää materiaali- ja profiilitiedot. (Siltojen tietomalliohje. 2014, 23.) Kun tietomalliin on saatu syötettyä kaikki tarvittavat tiedot, siitä voidaan luoda esimerkiksi piirustuksia tai raportteja sekä viedä malli erilaisiin katselu- tai visualisointioh-

jelmiin. Myös rakennustyömaalla mallia voidaan hyödyntää monella tavalla. Kuvassa 10 on esitettyä siltahankkeen yksi mahdollinen suunnitteluprosessi. Prosessissa käytettävät tiedonsiirtomuodot ja ohjelmat liittyvät tähän opinnäytetyöhön.



KUVA 10. Siltahankkeen suunnitteluprosessi sekä tiedonsiirtoon käytettävät ohjelmat ja tiedonsiirtomuodot

4.2 Aikaisempia tiedonsiirtokokeiluita

Tiedonsiirrosta Tekla Structuresin ja Sofistikin välillä ei ole paljonkaan olemassa olevaa tietoa. Teklan mukaan tiedonsiirtolinkejä on ladattavissa Teklan Extranetistä seuraaviin ohjelmiin: CSC Orion, ETABS, STAAD.Pro, SAP2000, Robot sekä ISM (Analysis and design direct links. 2015).

Tiedonsiirtoa Tekla Structuresista on kokeiltu aiemmin muun muassa Robotiin, Lusasiin sekä Sciään. Markus Marttinen tutkii Teklan ja Robotin välistä linkkiä opinnäytetyössään Teklan ja Robotin käyttö betonirakenteiden suunnittelussa. Tiedonsiirto Robotiin osoitti, että ohjelmat toimivat yksinkertaisissa rakenteissa hyvin ja laskennan tulokset olivat vertailukelpoisia eurokoodin mukaisten laskentojen kanssa. (Marttinen 2010, 58.)

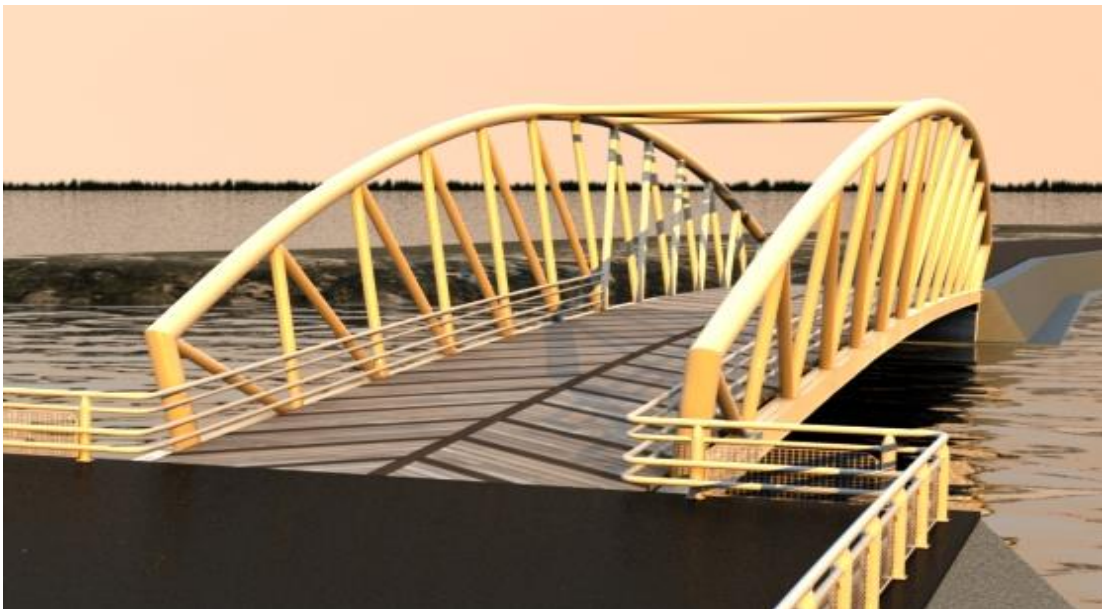
Hosai Saifi diplomityössään Integration of BIM and FEA Software in Bridge Engineering selvittää, että tiedonsiirto Lusasiin IFC-formaatin kautta ei ole tällä

hetkellä mahdollista. Ohjelma tukee tiedonsiirtoa Tekla Structuresiin vain DWG- ja DFX-muodossa. Hosai kertoo kuitenkin, että Lusas on kehittämässä lähitulevaisuudessa IFC-linkkiä ohjelmaansa. (Saifi 2012, 87.)

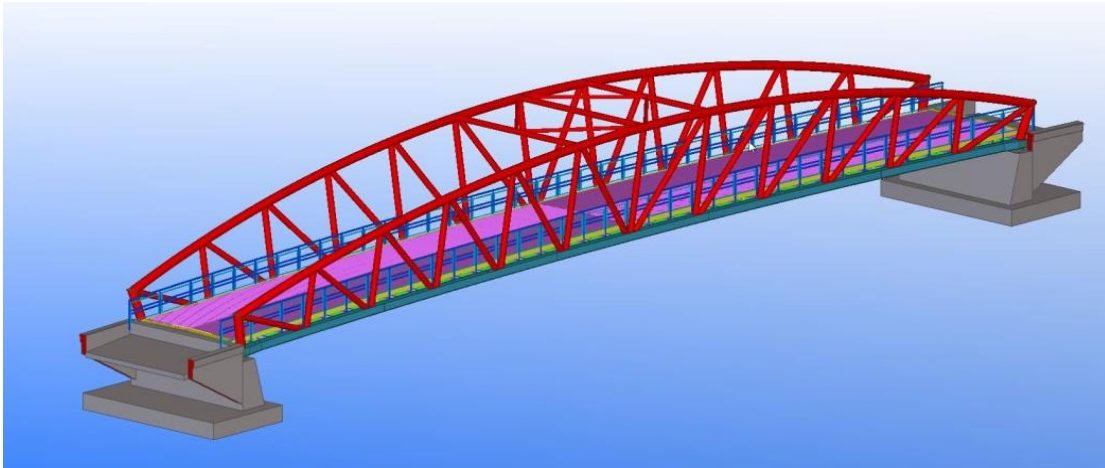
Myös Teklan ja Sciän välisessä tiedonsiirrossa Hosai Saifi osoittaa, että IFC-formaatin kautta tapahtuvassa siirrossa menetetään useita asioita, kuten kuorimituksia ja materiaalitietoja. Käyttämällä suoraa tiedonsiirtolinkkiä, jollin analyysimalli luodaan Teklassa, yksinkertaiset rakenteet siirtyivät hyvin näiden ohjelmistojen välillä, mutta monimutkaisissa rakenteissa ilmeni joitakin ongelmia. Esimerkiksi kaikki solmupisteet eivät liittyneet toisiinsa. (Hosai 2012, 71, 76-80.)

4.3 Bergskär Bro -sillan kuvaus

Tarkasteltavana kohteena on Bergskär Bro –silta. Se on puukantinen, teräksinen ristikkosilta. Silta on yksiaukkoinen kevyenliikenteen silta, jonka jännemitta on 51 metriä ja hyödyllinen leveys 5,3 metriä. Silta on suunniteltu Mustasaaren kuntaan lähelle Vaasaa. Kuvassa 11 näkyy sillan havainnekuva ja kuvassa 12 Tekla Structuresilla luotu kolmiulotteinen tuotemalli.



KUVA 11. Bergskär Bro –sillan havainnekuva (WSP Finland Oy)



KUVA 12. Bergskär Bro –sillan TS-malli (WSP Finland Oy)

Seuraavassa on listattu kantavien rakenteiden materiaalitiedot:

- Pitkittäispalkit: WB400 – 8 – 20 x 350/37,5
- Poikittaisjäykisteet: WI400 – 8 – 20 x 170
- Paarteet: PD406,4 x 12,5
- Uumasauvat: PD273 x 12,5; PD273 x 10; PD273 x 6.

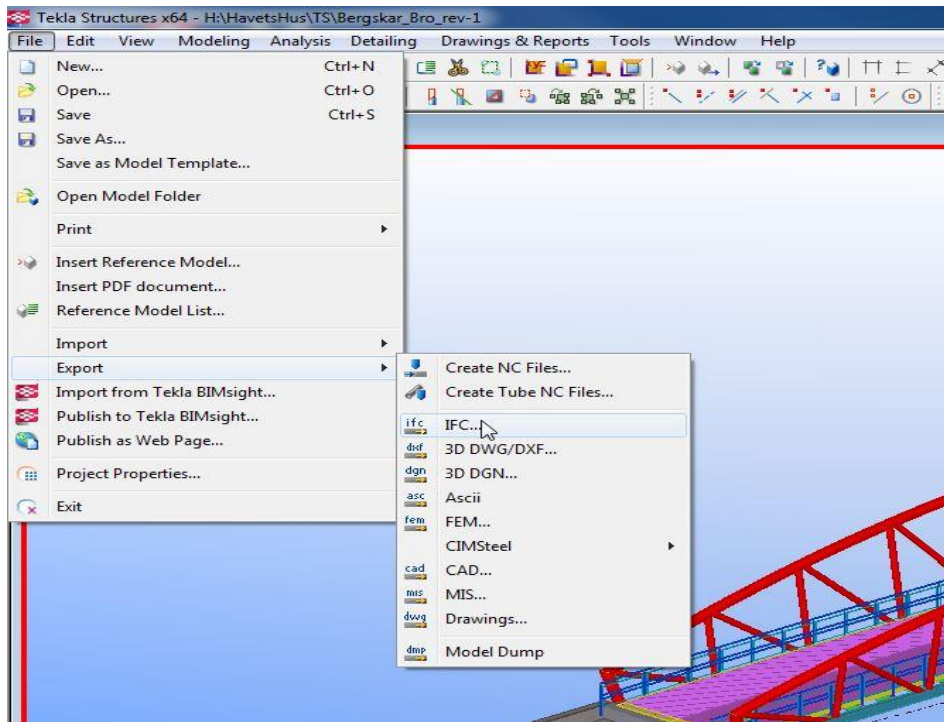
Ristikon paarteiden teräslaji on S460MH ja uumasauvojen teräslaji on S355J2H. Pitkittäis- ja poikittaisjäykisteet ovat teräslajia S355J2+N.

Bergskär Bro –silta suunniteltiin ottaen huomioon ohjelmistojen välinen tiedonsiirto. Ensin kohteesta luotiin AutoCADilla dwg-malli, joka tuotiin Autodeskin Robot Structural –ohjelmaan mitoitettavaksi. Koska AutoCAD tuottaa vain geometriaa ilman tietoja, annettiin viivoille materiaali- ja profiilitiedot, minkä jälkeen malli analysoitiin Robotissa.

Mallin lujuusanalyysin jälkeen se tuotiin Tekla Structuresiin IFC-muodossa, missä suoritettiin sillan detaljitason mallinnus. Tässä vaiheessa kaikille osille annettiin materiaali- ja profiilitiedot sekä tarkat mittatiedot. Detaljitason suunnittelun jälkeen oliopohjainen tietomalli vietiin Autodeskin 3DS Maxiin, jossa siltamalliin voidaan lisätä esimerkiksi ympäröivää maastoa ja vesistöä (näkyvä kuvassa 11).

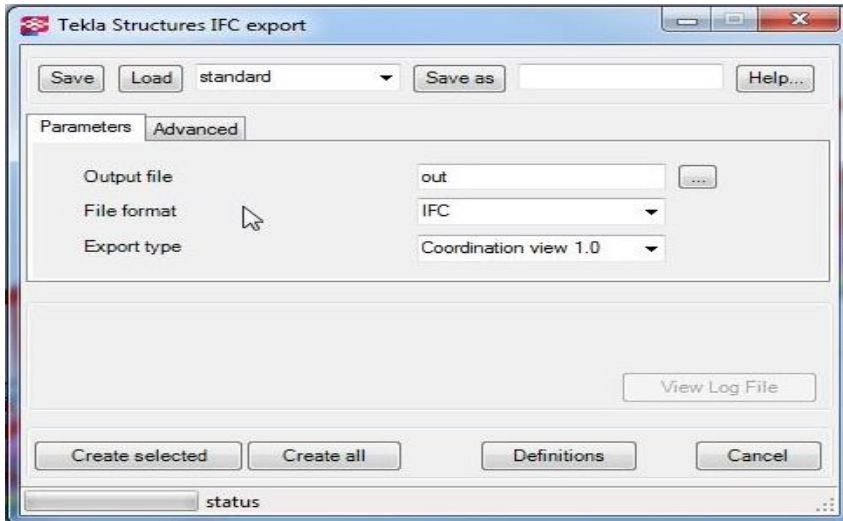
4.4 IFC-mallin luominen Tekla Structuresilla

Kuten aiemmin mainittiin, tiedonsiirtokokeilun ensimmäinen vaihe on luoda IFC-malli Tekla Structuresilla, minkä jälkeen se pyritään tuomaan Sofistikiin analysoitavaksi. Tekla tukee sekä IFC 2x2 että IFC 2x3 –formaatteja, joista se käyttää oletuksena IFC 2x3 –formaattia. IFC-mallin luominen Teklassa tapahtuu kuvan 13 mukaan.



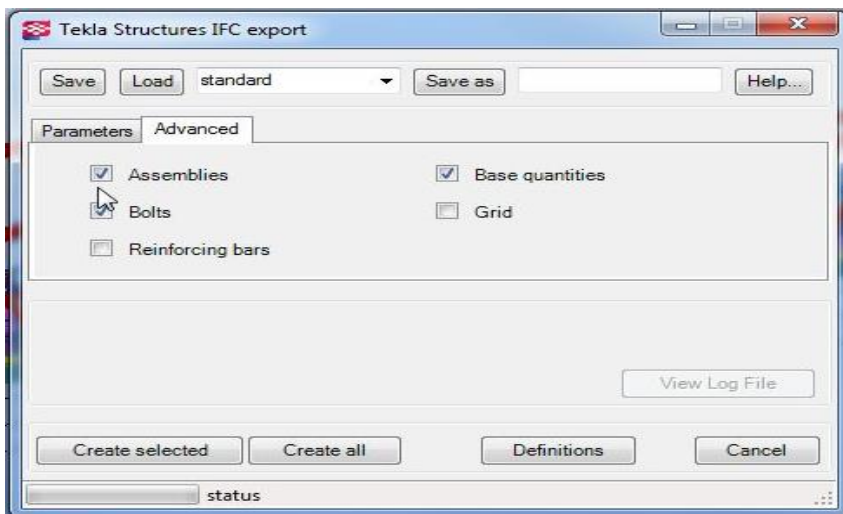
KUVA 13. IFC-mallin luominen Teklassa

Seuraavaksi aukeavassa ikkunassa voidaan määrittää IFC-mallin kohdekansio, tiedostomuoto (IFC, IFC XML, Zipped IFC, Zipped IFC XML) sekä viennin tyyppi. Mahdollisia vientityyppejä ovat Coordination view 1.0, Surface geometry sekä Coordination view 2.0. Perinteisessä viennissä, jossa dataa jaetaan muiden sovellusten kanssa, käytetään Coordination view 1.0. Tässä työssä tarkoituksena oli luoda perinteinen IFC-malli, joka vietiin toiseen sovellukseen. Näin ollen valittiin vientityypiksi Coordination view 1.0. Kuvassa 14 olevassa ikkunassa näkyvät edellä mainitut asetukset.



KUVA 14. Parametrien valinta

Seuraavaksi IFC-malliin valittiin siirrettävät asiat, jotka löytyivät "Advanced"-välilehdeltä. Kuvassa 15 on siirrettäväksi valittavien asioiden valintaikkuna.



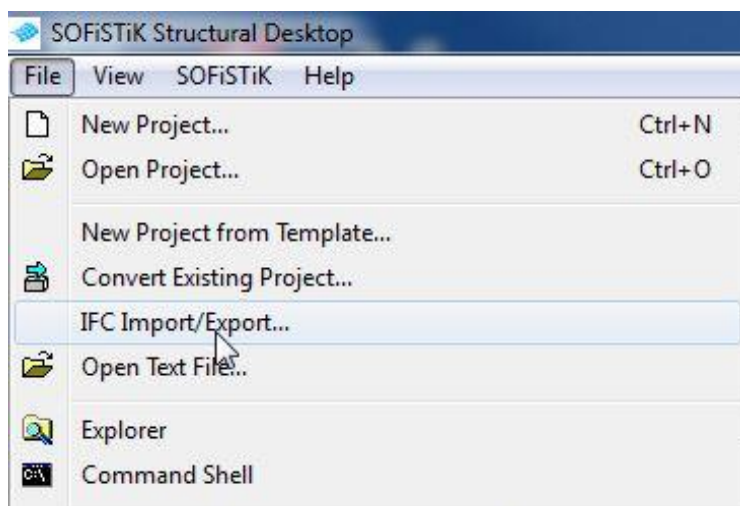
KUVA 15. Siirrettävien asioiden valintaikkuna

Kuten kuvassa 16 näkyy, betonisten maatuokien raudoituksia eikä moduuliverkkoa valittu siirrettäväksi. Tämän tiedonsiirtokokeilun kannalta ei ollut tarkoituksenmukaista siirtää moduuliverkkoa Sofistikiin. Raudoituksen siirtämistä ei tässä opinnäytetyössä kokeiltu työn rajauksen vuoksi.

Lopuksi mallin luomiseksi valittiin Create all –painike. On syytä huomata, että Tekla Structuresilla voidaan luoda IFC-malli myös erikseen valituista osista (Create selected). Esimerkiksi Bergskär Bro –sillan kaiteita eikä puukantta ole välttämättä tarkoituksenmukaista siirtää, jos halutaan tutkia vain kantavien rakenteiden tiedonsiirtoa. Kun sillasta luodaan kuormitusyhdistelmät, on kuitenkin kaikki siltaan kuuluvat rakenteet otettava huomioon esimerkiksi sillan oman painon osalta. Tästä johtuen työssä valittiin kaikki siltaan kuuluvat osat siirrettäväksi.

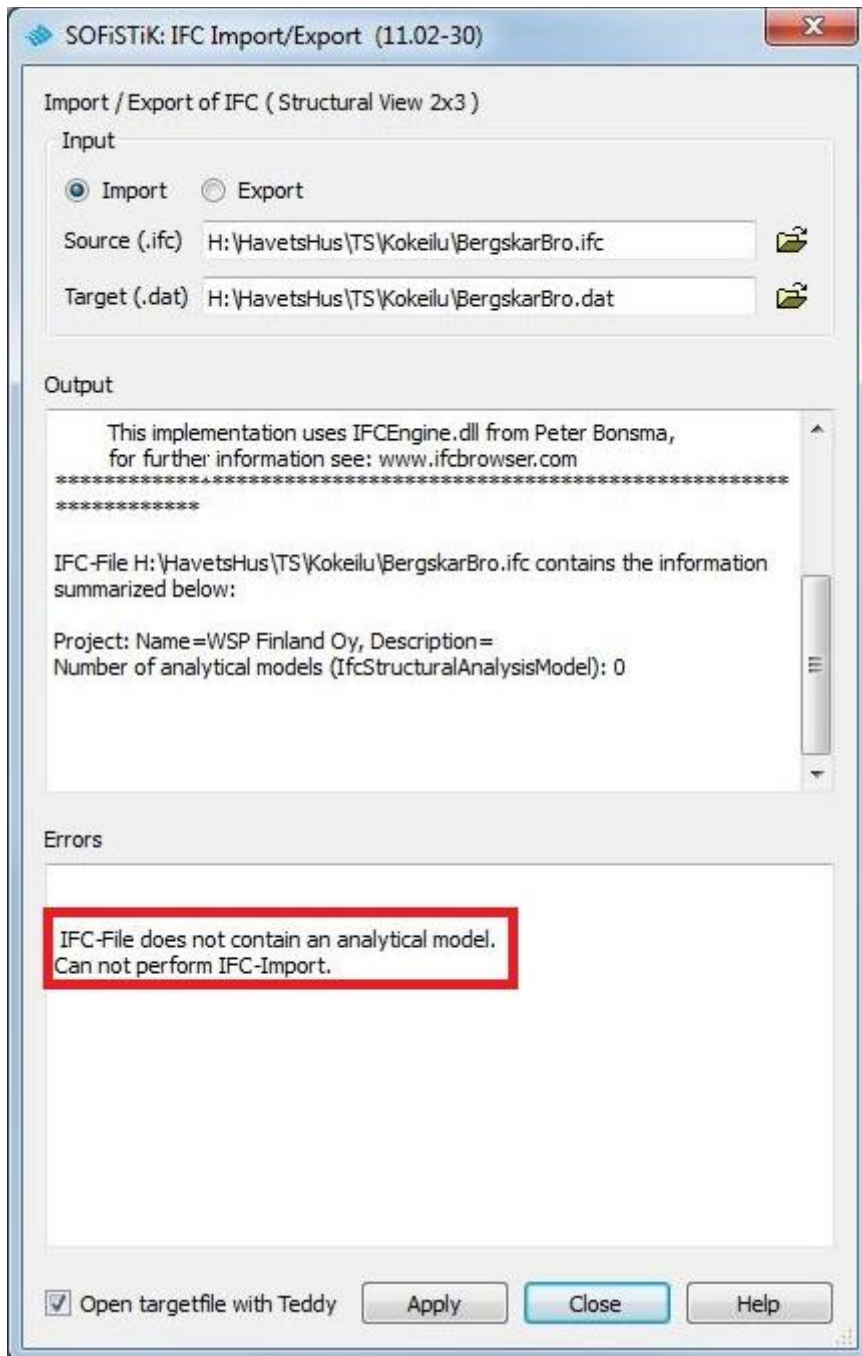
4.5 IFC-mallin tuominen Sofistikiin

Kun IFC-muodossa oleva tiedosto saatiin luotua Teklassa, se tuotiin seuraavaksi Sofistikiin IFC 2x3 –formaatin avulla kuvan 16 mukaisesti.



KUVA 16. IFC-mallin tuominen Sofistikiin

Seuraavaksi avautuvassa ikkunassa voidaan valita, tuodaanko IFC-tiedosto Sofistikiin vai viedäänkö se Sofistikista johonkin toiseen ohjelmistoon. Kun tuotava tiedosto oli valittu, painettiin hyväksy-komentoa. Kuvassa 17 on edellä mainittujen asioiden valintaikkuna. Kuvasta voidaan havaita, että kun tiedoston tuontikomento saatiin suoritettua, prosessi antoi virheilmoituksen siitä, ettei Teklassa luotu IFC-tiedosto sisältänyt analyysimallia. Tästä syystä tiedonsiirtoa ei voitu toteuttaa.

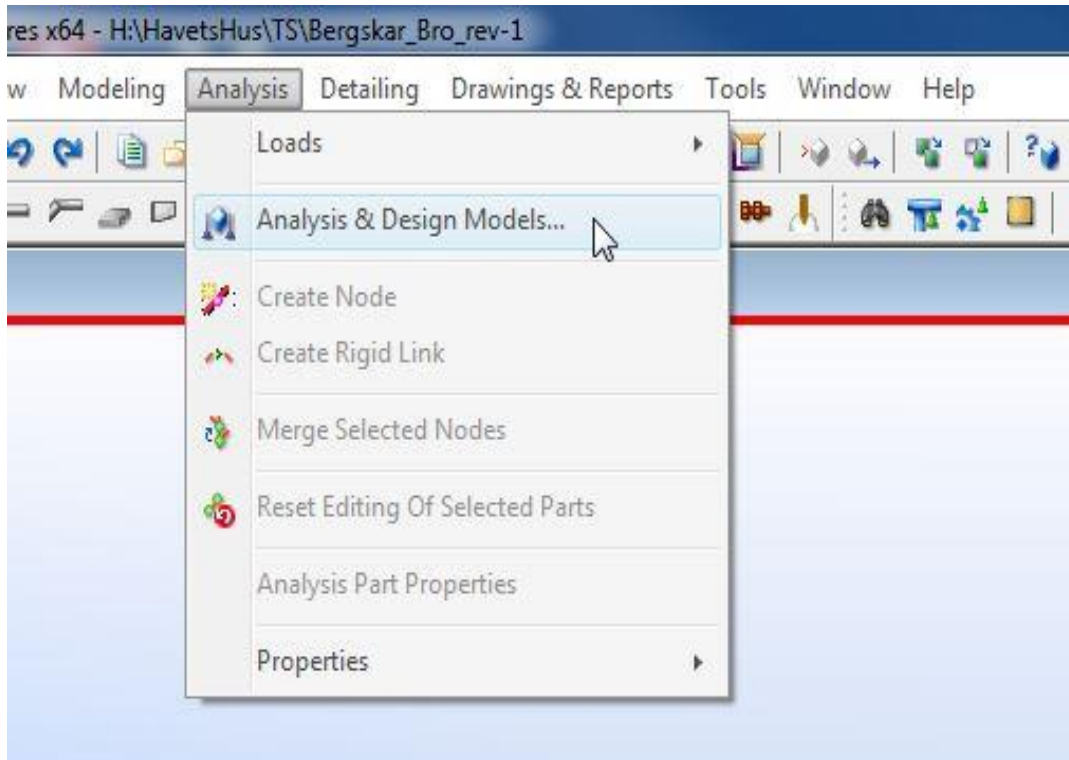


KUVA 17. IFC-mallin suorittaminen Sofistikissa keskeytyi virhesanomaan, ettei IFC-tiedosto sisällä analyysimallia

4.6 Analyysimallin luominen Teklassa

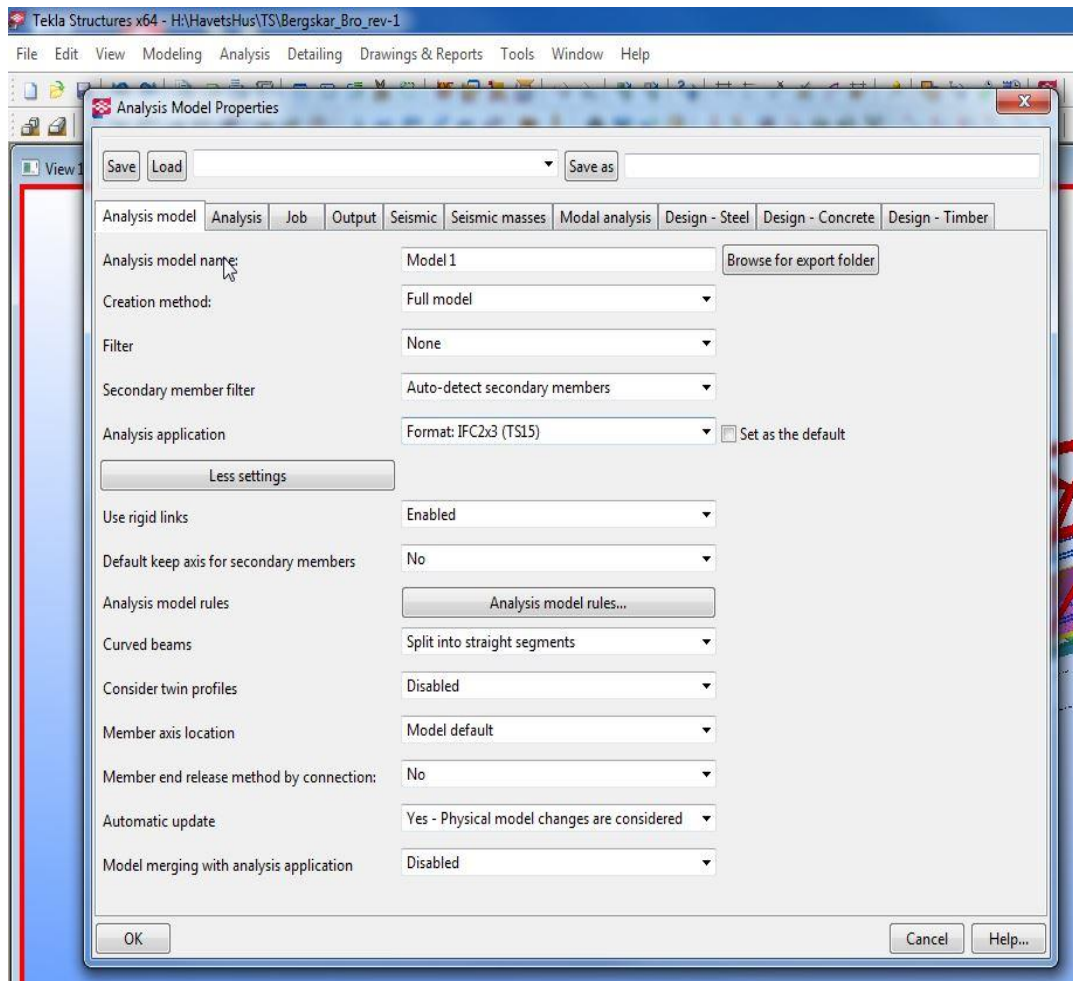
Tekla Structuresilla on mahdollista luoda analyysimalli ottaen esimerkiksi kuormat ja kuormitusyhdistelmät huomioon, jotka sitten kohdeohjelman on tarkoitus analysoida. Koska Sofistik antoi tiedonsiirrossa virheilmoituksen, ettei IFC-

tiedosto sisällä analyysimallia, kokeiltiin seuraavaksi analysoitavan mallin luomista Teklassa, jolloin kyseessä oli suoran linkin käyttäminen tiedonsiirrossa (kuva 18).



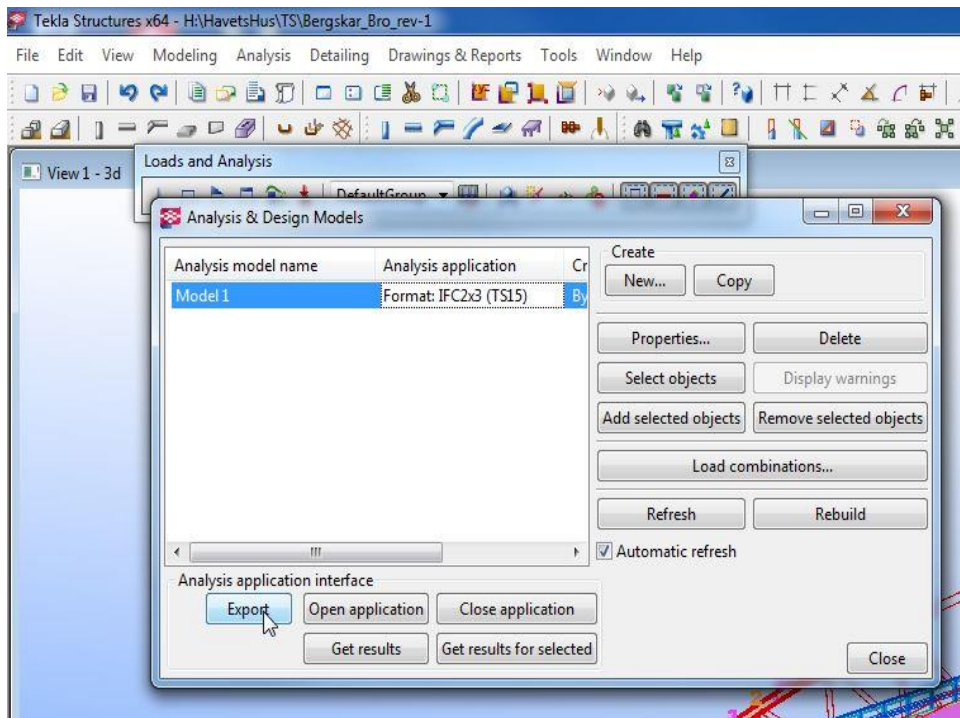
KUVA 18. Analyysimallin luominen Tekla Structuresilla

Kun uuden analyysimallin luominen Teklassa aloitetaan, aukeavassa ikkunassa voidaan määrittää analysointiasetuksia. Keskeisimmät asetukset löytyvät "Analysis model" –välilehdeltä. Tiedonsiirron kannalta keskeisin asetusta on kohdassa "Analysis application", sillä käytettäessä suoraa linkkiä tiedonsiirrossa kohdeohjelma tulee valita listalta. Kuten kuvassa 19 näkyy, tiedonsiirtoformaatti on IFC2x3, jota myös Sofistik tukee.



KUVA 19. Analyysimallin asetukset

Kun tarvittavat asetukset oli valittu, voitiin malli viedä kohdeohjelmaan. Listalta valittava ohjelma aukeaa automaattisesti. Koska Sofistik ei ollut oletusohjelmana listalla, luotiin tiedosto, joka myöhemmin pyrittiin erikseen aukaisemaan Sofistikissa. Kuvassa 20 näkyy valintaikkuna, josta analyysimalli voidaan viedä valittuun kohdeohjelmaan.



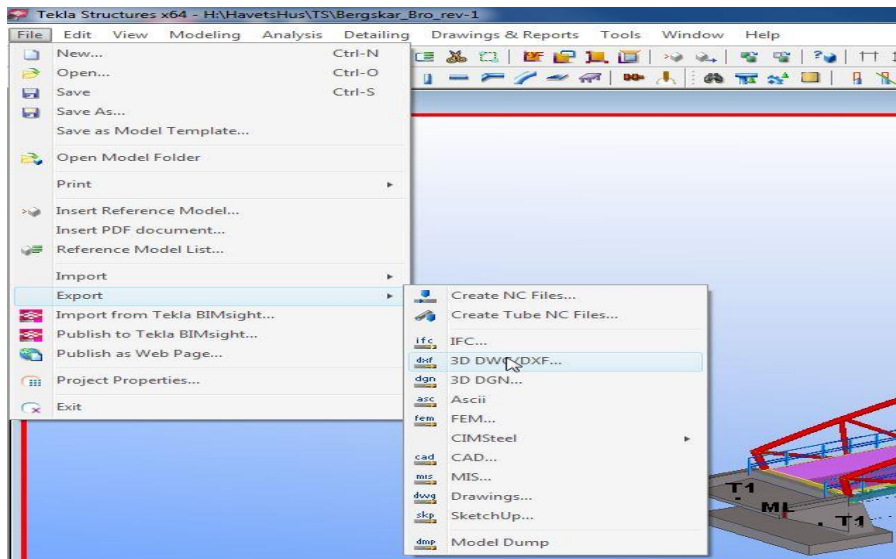
KUVA 20. Analyysimallin vieminen kohdeohjelmaan

Kun analyysidataa sisältävä tiedosto oli luotu, tuotiin se seuraavaksi Sofistikiin. Tiedoston tuominen Sofistikiin ei kuitenkaan onnistunut, sillä ohjelma antoi virheilmoituksen, ettei tiedosto ole ifc-päätteinen. Yhteydenotto Teklan tukihenkilöön osoitti, ettei Tekla Structuresista voi viedä analyysidataa IFC-formaatin kautta muihin ohjelmistoihin. Lisäksi ilmeni, että ohjelmasta ei ole olemassa suoraa linkkiä Sofistikiin.

Kuten aiemmin mainittiin, toisena tiedonsiirtokokeiluna on geometriamallin siirtäminen DWG-muodossa. Koska IFC-tiedonsiirto ei toiminut, kokeiltiin seuraavaksi tiedonsiirtoa DWG-muodossa.

4.7 Geometriamallin luominen Teklassa

Geometriamallin luomisen ideana on, että Teklasta luotu DWG-tiedosto avataan AutoCADissa, jonka jälkeen se kopioidaan Sofistikin Sofiplussaan. Sofiplus on AutoCAD-pohjainen. DWG-tiedostomuodossa oleva geometriamalli luotiin Teklassa kuvan 21 osoittamalla tavalla.



KUVA 21. DWG-mallin luominen Tekla Structuresilla

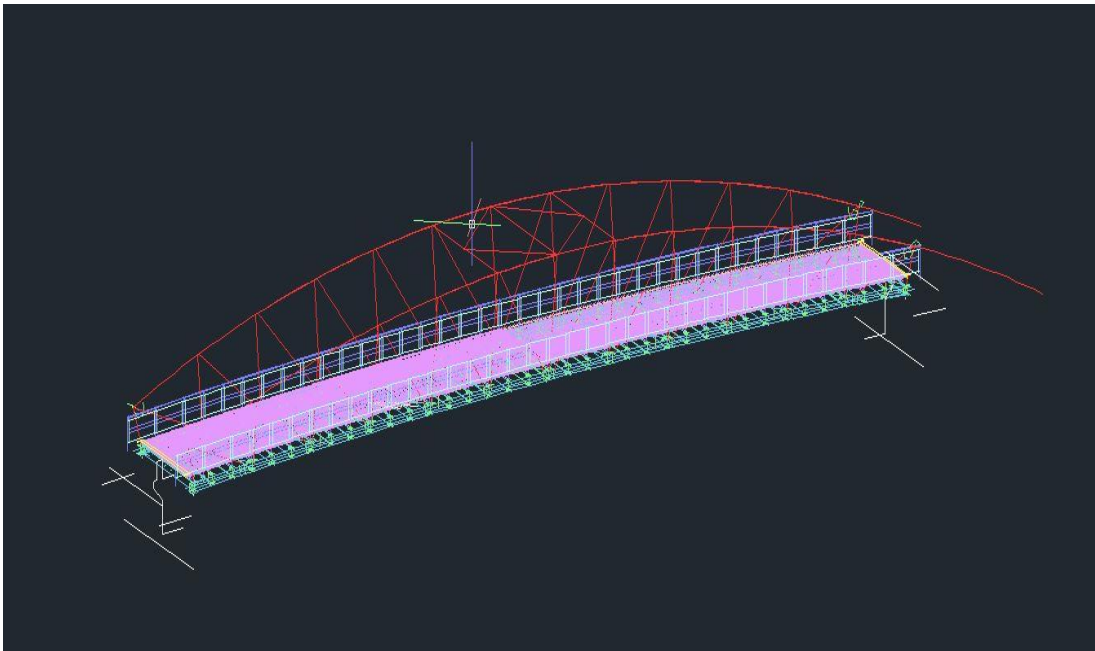
Kun kolmiulotteinen DWG-tiedosto oli valittu listalta, aukesi ikkuna, jossa voitiin valita tiedonsiirron asetukset. Sofistikissa mallinnus tapahtuu pääosin objektien keskilinjojen mallintamisella, joille annetaan geometria- ja materiaalitiedot. Tästä syystä valittiin tiedonsiirtoon objektien keskilinjat. Kuvassa 22 on edellä mainittujen asetusten valintaikkuna.



KUVA 22. DWG-tiedoston asetusten määrittäminen

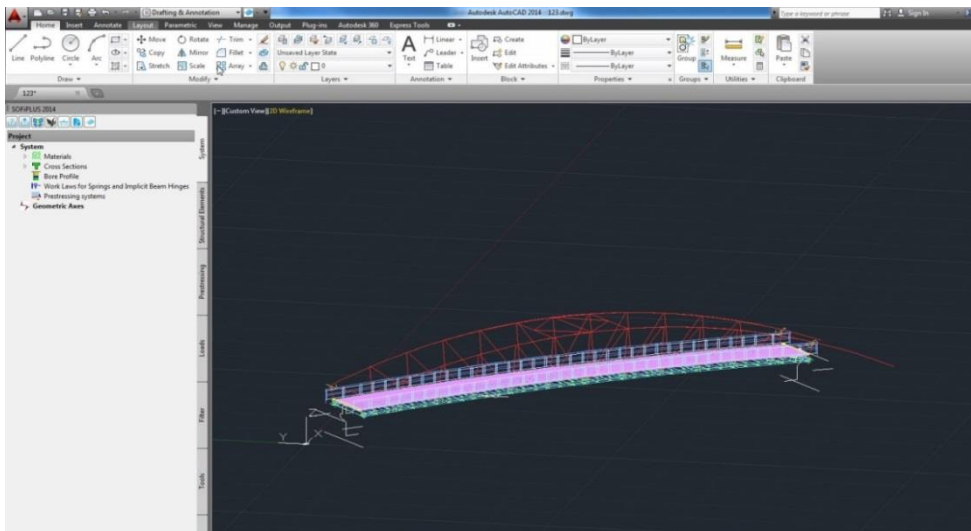
DWG-tiedoston tuominen Sofistikiin nopeuttaa sillan uudelleenmallintamista Sofistikissa. Tuotu malli sisältää sillan rakenteiden keskilinjat, joten esimerkiksi ristikon mittoja eikä sijainteja tarvitse uudelleen tarkastaa, vaan uudet viivat voidaan piirtää olemassa olevien päälle suoraan, minkä jälkeen niille voidaan syöttää materiaalitiedot ja poikkileikkausarvot.

Kuvassa 23 on luotu geometriamalli. Siitä voidaan havaita, että esimerkiksi sillan maatumki on kuitenkin mallinnettava Sofistikin puolella uudelleen, sillä se sisältää laattarakenteita ja epäsymmetrisiä rakenteita, joiden mallintamisessa keskilinjoista ei ole juurikaan hyötyä. Laattojen keskilinjat osoittavat kuitenkin mallinnettavan laatan sijainnin kolmiulotteisella pohjalla, mikä nopeuttaa niiden uudelleenmallintamista.



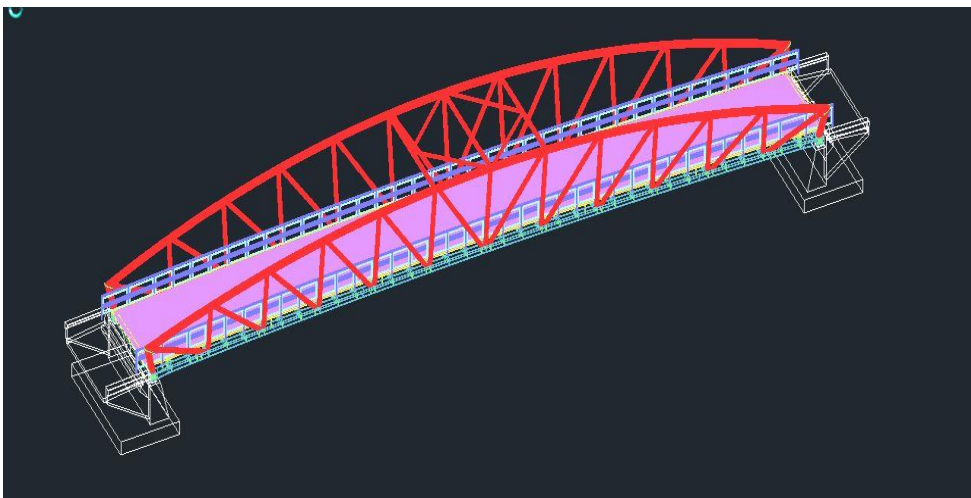
KUVA 23. Teklasta AutoCADiin tuotu geometriamalli

DWG-mallin tuomiseksi Sofistikiin riitti, että se kopioitiin AutoCADissa ja liitettiin suoraan Sofiplussaan, sillä Sofiplus toimii AutoCAD-pohjaisesti. Kuvassa 24 on Sofiplussaan liitetty geometriamalli.



KUVA 24. Geometriamalli Sofistikin Sofiplussassa

Geometriamalli voidaan Teklassa luoda myös objektien ulkolinjojen mukaan, jolloin kaikki sillan osat näkyvät todellisen muotoisina (kuva 25).



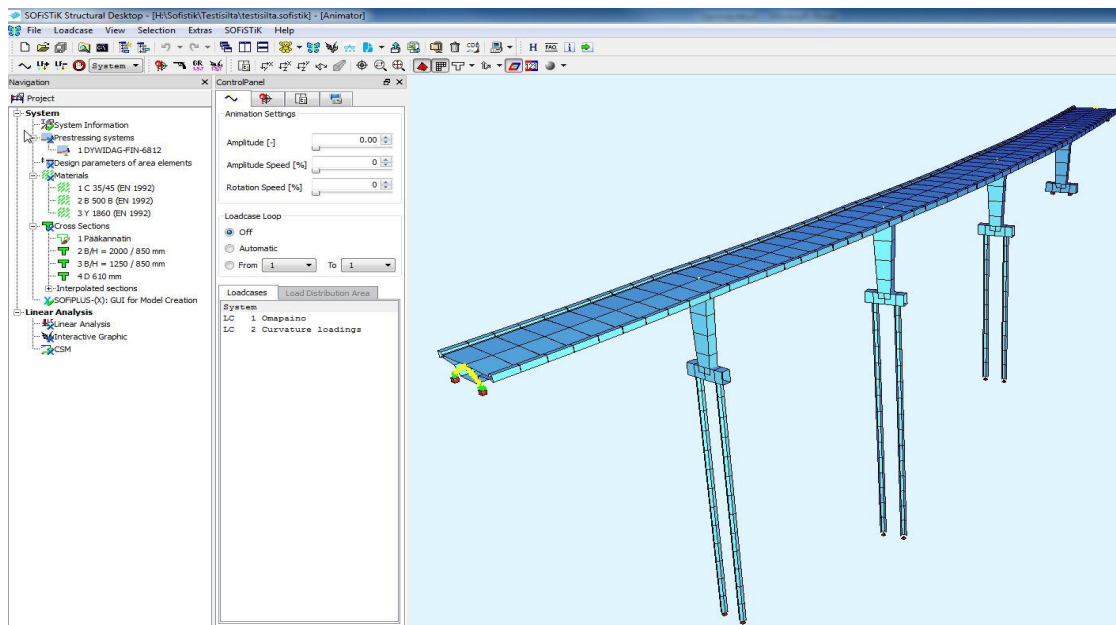
KUVA 25. Geometriamalli ulkolinjoilla

Vaikka ulkolinjoilla luotu geometriamalli näyttää täysin vastaavalta kuin Tekla Structuresilla luotu tuotemalli, ei siitä kuitenkaan tiedonsiirron kannalta ole juuri-kaan hyötyä. Kuten aiemmin mainittiin, Sofistikilla mallin luominen tapahtuu vii- vapiirroksena käsittäen objektien keskilinjat, joille annetaan poikkileikkausarvot sekä materiaalitiedot.

Myös Sofistikista luotiin geometriamalli, mikä tapahtuu Sofiplussassa mallin muuttamisella viivoiksi ja linjoiksi. Tämän jälkeen se on perinteinen DWG-tiedosto. Kun DWG-tiedosto saatiin luotua, se tuotiin Teklaan referenssimallina. Tutkimuksen kohteena olleen jännitetyn palkkisillan pilarit ovat alaspäin kapeenevia. Ne tehtiin kahdella eri tavalla: muuttujien avulla sekä ilman muuttujia. Tästä huomattiin, että jos poikkileikkaukseltaan muuttuva rakenne oli tehty muuttujien avulla, se ei näkynyt Teklassa muuttuvana vaan tasapaksuna poikkileikkauksena. Jos taas rakenne tehtiin ilman muuttujia, se näkyi tiedonsiirron jälkeen alkuperäisenkaltaisena Teklassa.

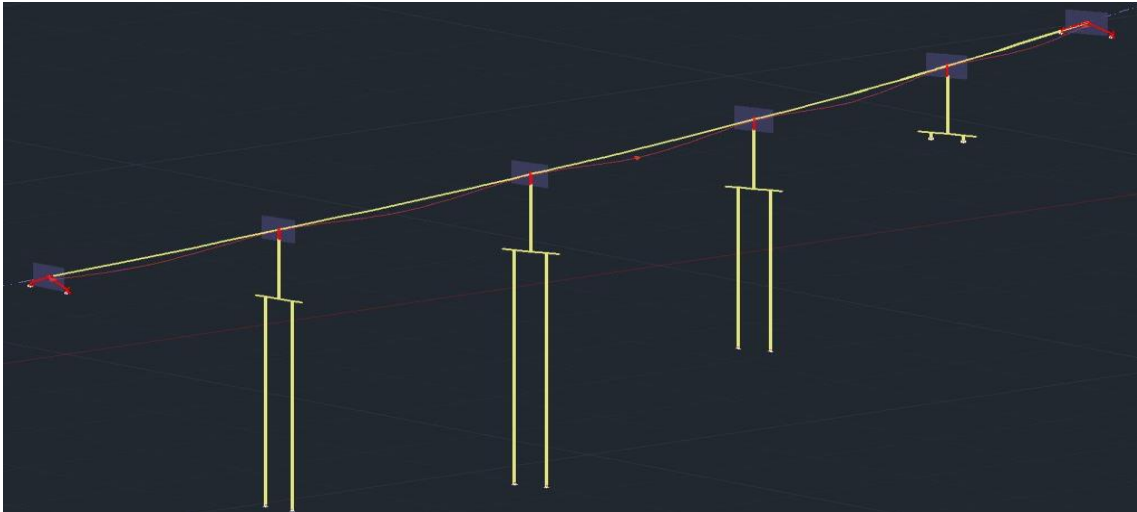
4.8 Laskentamallin vieminen Sofistikista Tekla Structuresiin

Toinen rakennushankkeen nopeuttamista edistävä tekijä on analyysimallin vieminen takaisin tietomallinnusohjelmaan, jolloin rakennussuunnitteluvaiheen detaljointi voidaan suorittaa. Seuraavaksi kokeiltiin analyysimallin tuomista Tekla Structuresiin. Kuvassa 26 on esitetty Sofistikilla mallinnettu jännitetty jatkuva palkkisilta, joka toimii tutkimuksen analyysimallina. Silta on 5-aukkoinen sekä lyönti- että porapaalujen varaan perustettu.



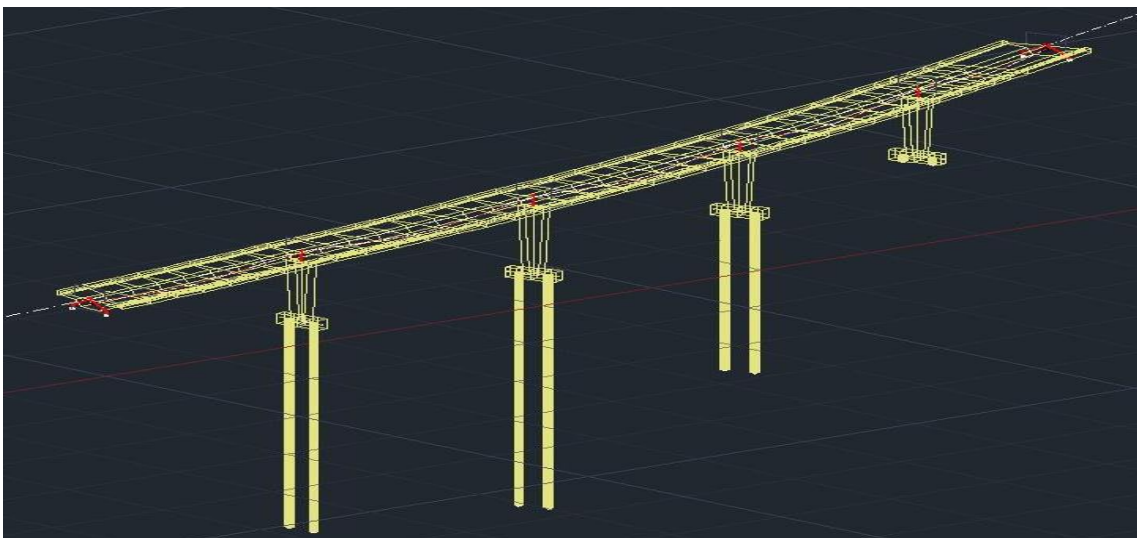
KUVA 26. Sofistikilla luotu jännitetty jatkuva palkkisilta

Sillan laskentamalli tehtiin Sofistikissa viivoilla ja tasoilla, joille annettiin materiaali- ja poikkileikkaustiedot. Laskentamallin luominen tapahtui Sofiplussassa. Kuvassa 27 on esitetty sillan laskentamalli, jossa näkyy myös siltakannen jänneteräksset (punainen aaltoileva käyrä).



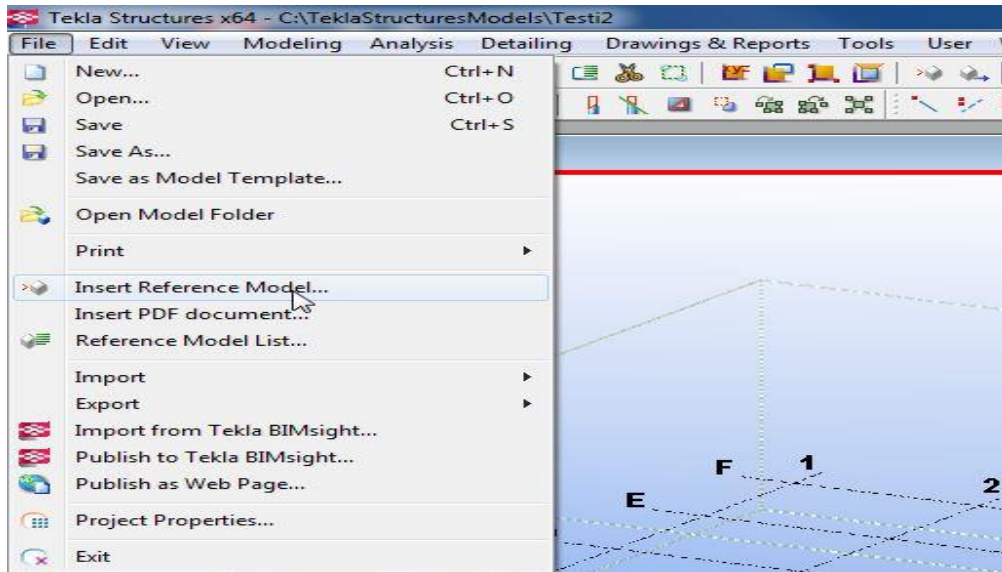
KUVA 27. Sillan laskentamalli ja jänneteräksset

Kun laskentamalli oli saatu luotua viivoista ja tasoista, voitiin sitä tarkastella rakenteiden ulkolinjoilla kuvattuna. Näin voitiin varmistaa rakenteiden oikeellisuus ennen mallin analysoimista (kuva 28).



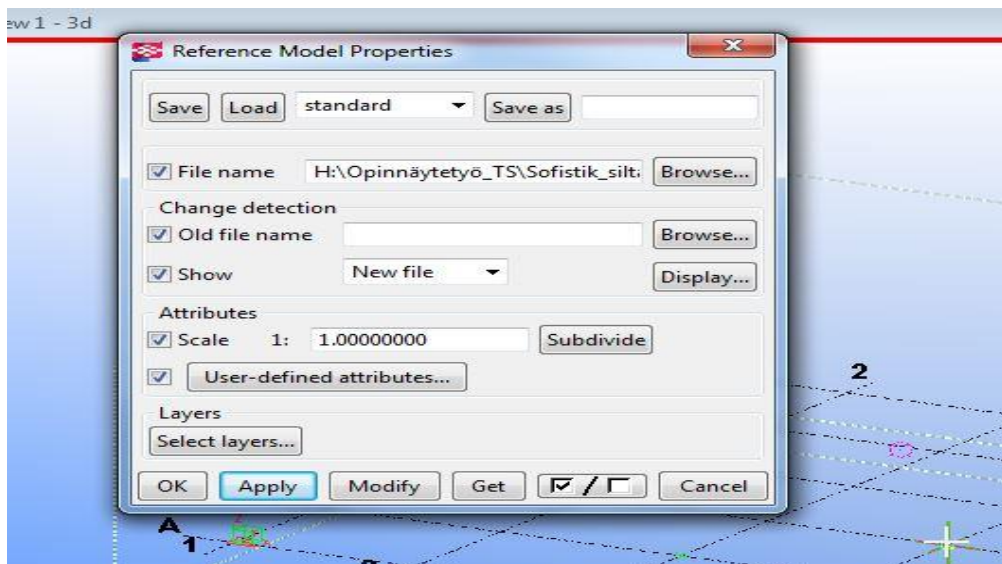
KUVA 28. Sillan geometria Sofiplussassa

Kun Sofistikilla oli saatu luotua ja tallennettua IFC-laskentamalli, se tuotiin Tekla Structuresiin referenssimallina kuvan 29 osoittamalla tavalla.



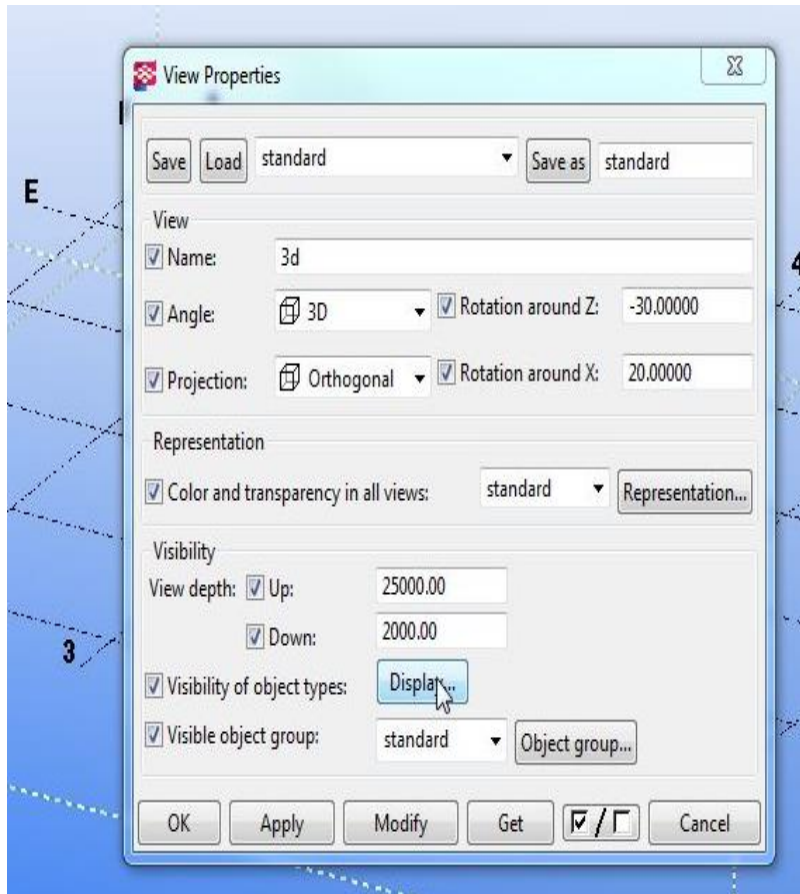
KUVA 29. Referenssimallin tuominen Tekla Structuresiin

Aukeavassa ikkunassa voidaan valita tuotava tiedosto ja tiedoston mittakaava. Kun tiedosto oli valittu, painettiin hyväksy-komentoa, minkä jälkeen ruudukosta voitiin valita piste, johon pilari haluttiin tuoda (kuva 30).



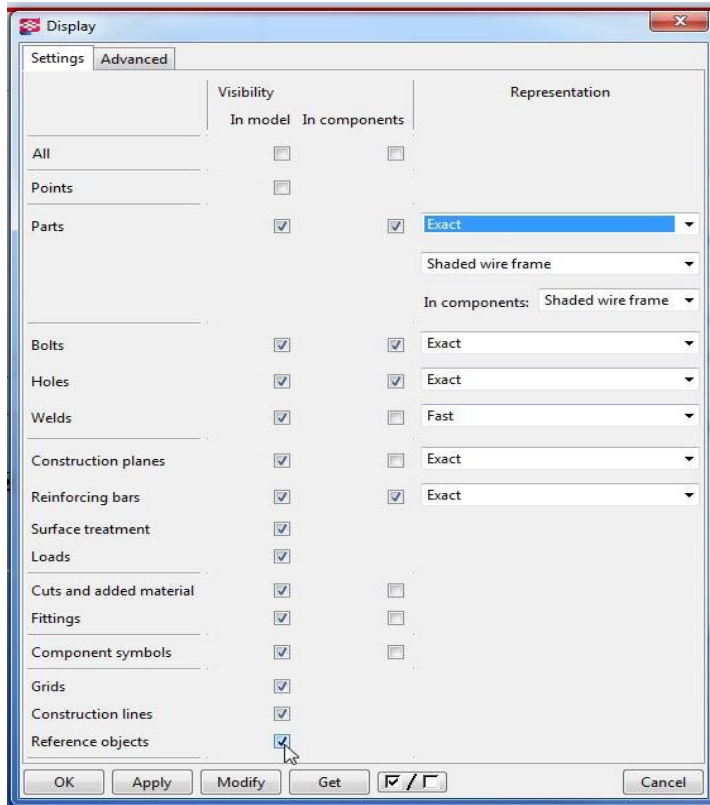
KUVA 30. Tuotava referenssimalli ja mittakaava

Koska pilari ei tullut Teklassa hyväksymiskomennon jälkeen näkyviin, tarkastettiin vielä, että referenssiobjektit olivat näkyvillä. Tuplaklikkaamalla taustaa avautui kuvassa 31 näkyvä ikkuna, jossa voitiin valita näkyvät objektit.

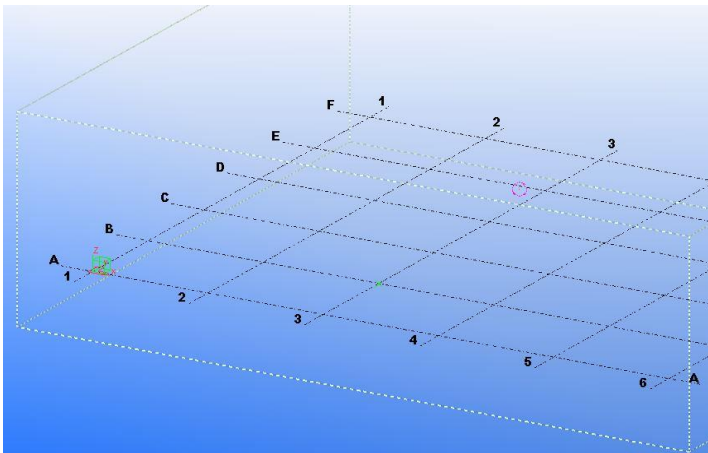


KUVA 31. Mallissa näkyvät objektit

Kuvassa 32 on havainnollistettu mallissa näkyvien objektien valinta. Alimmalta riviltä näkee, että vaikka referenssiobjektit oli valittu näkyviksi, mitään ei silti siirtynyt Sofistikista Tekla Structuresiin, kuten kuvasta 33



KUVA 32. Mallissa näkyvien objektien valinta



KUVA 33. Referenssiobjektien näkyviin valitsemisen jälkeenkään Teklassa ei näkynyt yhtään objektia

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Tekla Structuresin ja Sofistikin välisiä tiedonsiirtoa sekä IFC- että DWG-muodossa. Näiden lisäksi kokeiltiin Teklan suoraa tiedonsiirtolinkkiä Sofistikiin. Tämän opinnäytetyön aihealueen tuntemattomuus teki työskentelystä haastavaa ja aikaa kuluttavaa. Myös Sofistik-ohjelman sisäisen logiikan ymmärtäminen oli aluksi haastavaa, mutta pienen vaivannäön jälkeen sen käyttäminen helpottui.

Tiedonsiirtokohteena Teklasta Sofistikiin oli Teklalla mallinnettu yksiaukkoinen kevyenliikenteen ristikkosilta Bergskär Bro. Tiedonsiirto Sofistikista Teklaan toteutettiin 5-aukkoisella lyönti- ja porapaalujen varaan tuetulla sillalla. Silta on jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta.

IFC-tiedonsiirron osalta tutkimus osoitti, että edellä mainittujen ohjelmistojen välillä se ei vielä toimi tänä päivänä. Bergskär Bro –sillan rakenteista mitkään eivät siirtyneet Teklasta Sofistikiin, vaikka se koostuu useista sekä yksinkertaisista että monimutkaisista rakenteista. Silta sisältää puu-, betoni- sekä teräsraakenteita, joten se kattaa hyvin monta erilaista rakennusalalla käytettyä rakennetta. Myös Sofistikilla luodussa jatkuvassa palkkisillassa on useita erilaisia objekteja, mutta yksikään rakenne ei siirtynyt Sofistikista Teklaan IFC-muodossa.

Työhön liittyen oltiin yhteydessä sekä Teklan että Sofistikin tukihenkilöihin, jotka vahvistivat IFC:n toimimattomuuden ohjelmien välillä. Mahdollinen syy tähän on se, että Teklan IFC-tiedosto sisältää varsinaisen tuotemallin, joka käsittää rakennuksen tilat ja rakenteet materiaali- ja profiilitietoineen, jolloin voidaan puhua tietomallin koordinaatioesitystavasta (Coordination View). Sofistikin IFC-tiedosto taas sisältää laskentamallin, jossa visuaalisilla asioilla ei ole merkitystä vaan avainasemassa ovat kuormitukset, rakenteiden mitat ja liittymistavat toisiinsa. Tällöin kyseessä on rakenneanalyysiesitystapa (Structural Analysis View). Sekä Teklan että Sofistikin IFC-tiedostot avattiin tekstinkäsittelyohjelmalla, mikä vahvisti edellä mainitun asian.

Molemmilla ohjelmilla luodut IFC-tiedostot vietiin Autodeskin Navisworks Manageen ja Solibri Model Vieweriin, jotka ovat mallien tarkastelemiseen tarkoitettuja

IFC-formaattia tukevia tietomallien katseluohjelmia. Teklalla luotu IFC-tiedosto aukesi molemmissa katseluohjelmassa eikä tietojen menettämistä esimerkiksi materiaalien ja poikkileikkausten osalta huomattu, kun taas Sofistikilla luotu IFC-tiedosto ei auennut kummassakaan ohjelmassa. Tämä vahvistaa ajatusta siitä, että IFC-tiedostot ovat erilaisia tuotemallin ja laskentamallin osalta.

IFC-tiedonsiirto mallinnus- ja analyysiohjelmien välillä on mahdollisesti tulevaisuuden yksi merkittävimmistä asioista rakennusalan suunnittelussa, sillä aihe on herättänyt kiinnostusta usean rakennusalan ihmisen keskuudessa. IFC-tiedonsiirron toimivuus ei kuitenkaan tällä hetkellä ole vielä aikaa tai resursseja säästävää. Haasteita onnistuneeseenkin tiedonsiirtoon tuo se, että siirretty malli tulee tarkastaa, onko se enää alkuperäisessä muodossaan ja mitä tietoja siirron aikana on mahdollisesti hävinnyt. Rakenteet ovat usein hyvin monimutkaisia ja tulkinnanvaraisia, joten täydellisesti toimivaa IFC-formaattia on hyvin vaikea kehittää. Vaikka IFC-tiedonsiirtoa ohjelmistojen välillä kehitetään koko ajan, vaikeuttaa sen toimivuutta se, etteivät kaikki ohjelmatoimittajat ole täysillä mukana kehittämisessä IFC-rajapintojen osalta.

DWG-muodossa tiedonsiirto Teklasta Sofistikiin onnistui ilman ongelmia. Suurin hyöty saatiin sillan ristikon osalta, sillä ristikon sauvojen keskilinjat saatiin piirrettyä Sofistikissa uudelleen olemassa olevien viivojen päälle. Rakenteiden keskilinjojen mukaan toteutettu tiedonsiirto ei kuitenkaan ollut poikkileikkaukseltaan muuttuvien osien ja laattarakenteiden osilta hyödyllistä, sillä niiden mallintaminen tapahtuu kappaleen reunalinjojen mukaan. Myös Sofistikista saatiin geometriamalli vietyä Teklaan referenssinä, koska Sofiplussan tuottama tiedosto on DWG-muodossa ja Tekla tukee tätä tiedostomuotoa. Ongelmana tässä tiedonsiirrossa on kuitenkin se, että Tekla ei ymmärrä tuodun geometriamallin poikkileikkaukseltaan muuttuvia rakenteita, mikäli muuttuva poikkileikkaus on tehty muuttujien avulla. Tutkimuskohteen jännitetyssä palkkisillassa pilarit ovat alapäin kapenevia, mutta niitä ei ole tehty muuttujien avulla. Tästä syystä pilarit näkyivät alkuperäisen kaltaisina Teklassa.

Myöskään Teklan suoran tiedonsiirtolinkin käyttäminen ei tuottanut toivottua tulosta. Yhteydenotto Teklan tukihenkilöön osoitti, että Teklasta ei ole olemassa

suoraa linkkiä Sofistikiin. Myös Sofistikin tukihenkilö vahvisti asian. Keskustelussa Sofistikin tukihenkilön kanssa ilmeni, että he ovat vuosia yrittäneet saada Teklaa kehittämään suoraa linkkiä ohjelmien välille ilman tulosta. Sofistik on kuitenkin itse alkanut kehittää Teklan ja Sofistikin välistä suoraa tiedonsiirtolinkkiä, joka on tällä hetkellä gammatestausvaiheessa. Sofistikille lähetyn Teklamallin osalta tiedonsiirto toimi osittain. Kaikki rakenteet siirtyivät Teklasta Sofistikiin, mutta ongelman oli muodostanut se, että kaikki rakenteet eivät liittyneet toisiinsa, jolloin niiden siirtäminen oikeaan kohtaan tulee tehdä manuaalisesti.

Sofistikin mukaan nykyiset ongelmat ja rajoitukset tiedonsiirron kannalta ovat ne, että esimerkiksi seinän keskilinja ei pääty laatan reunaan tai keskilinjaan, jolloin niiden yhdistäminen tulee tehdä manuaalisesti. Lisäksi Teklalla luodun mallin poikkileikkaukset eivät siirry suoraan Sofistikiin. Sofistikin mukaan yksi tiedonsiirtoa haittaava tekijä on myös se, että kuormitusten vieminen Teklasta Sofistikiin on mahdotonta. Heidän mukaan kuormitusten tekeminen Sofistikilla onärkevin tapa toteuttaa suunnittelu ja laskenta aikaa ja resursseja säästäen.

Tämän tutkimuksen luotettavuutta rajoittaa esimerkiksi se, että tutkimukseen liittyen molempien ohjelmistojen omiin tukihenkilöihin oltiin yhteydessä, jolloin heiltä saatava informaatio voi olla puolueellista. On myös syytä huomata, että Sofistikin kehittämä suoran linkin kautta toimiva tiedonsiirtotapa on vasta kehitysvaiheessa eikä välttämättä toimi vielä tarkoitetulla tavalla.

IFC-tiedonsiirtoa voitaisiin kehittää tulevaisuudessa siten, että kaikki ohjelmistotoimittajat panostaisivat IFC-formaatin vaatimien rajapintojen luomiseen yhteinäisiksi. Se vaatisi kuitenkin paljon työtä osapuolten välillä ja mahdolliseksi ongelmaksi voisi osoittautua aika- ja kustannusresurssit. Jotkin ohjelmistotoimittajat voivat myös kokea IFC:n hyödyttömäksi tai jopa mahdottomaksi toteuttaa omassa ohjelmistossaan.

LÄHTEET

Analysis and design direct links. 2015. Tekla Corporation. Saatavissa: http://teklastructures.support.tekla.com/210/en/int_analysis_and_desing_direct_links. Hakupäivä 24.11.2014.

Bergskär Bro –sillan havainnekuva. 2014. WSP Finland Oy.

Bergskär Bro –sillan TS-malli. 2014. WSP Finland Oy.

Carlin, Elise M. 2010. The Legal Risks of Building Information Modeling (BIM). Saatavissa: <http://www.constructionlawsignal.com/by-subject/design-and-technology/the-legal-risks-of-building-information-modeling-bim/>. Hakupäivä 5.10.2014.

Computer Aided Bridge Design. 2012. Sofistik AG. Saatavissa: http://www.sofistik.com/fileadmin/FILES/Produkte/statik/brueckenbau/2010_cabd/Sofistik_CABD.pdf. Hakupäivä 15.12.2014.

Eastman, Chuck - Teicholz, Paul - Sacks, Rafael - Liston, Kathleen 2011. BIM Handbook 2nd edition: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. John Wiley & Sons, Inc.

Finite Element Software. 2013. Sofistik AG. Saatavissa: http://www.sofistik.com/fileadmin/FILES/Produkte/brochures2013/Flyer_EN_2013_www.pdf. Hakupäivä 24.11.2014.

Hakala, Matti 1980. Lujuusopin elementtimenetelmä. Espoo: Tekijä ja Otatieto Oy.

Heikkilä, Rauno – Jaakkola, Mika – Pulkkinen, Pekka – Karjalainen, Antti – Haapa-aho, Esa – Jokinen, Mauno 2004. Siltojen 3D-suunnittelu- ja mittausjärjestelmän kehittäminen (Älykäs silta). Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200886-vsiltojen3dsuunn.pdf>. Hakupäivä 20.10.2014.

Hietanen, Jiri 2005. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu. Filosofinen selvitys tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksista. Helsinki: Rakennustieto Oy.

IFC-tiedonsiirto. 2013. Micro Aided Design. Saatavissa:

http://www.mad.fi/mad/tiedostot/pdf/kasikirja16/YS.IFC_web.pdf. Hakupäivä 23.11.2014.

Karstila, Kari – Serén, Kalle 2002. OP1.1: Selvitys IFC-spesifikaation tilanteesta. Saatavissa:

http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_ifc_spesifikaatiot_selvitys.pdf. Hakupäivä 18.12.2014.

Liebich, Thomas 2013. IFC4 – the new buildingSMART Standard. Saatavissa:

http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases/ifc4-release/buildingSMART_IFC4_WhatisNew.pdf. Hakupäivä 18.12.2014.

Lähteenmäki, Matti 2009. Elementtimenetelmän perusteet. Saatavissa:

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/digma/5h5F5G0jJ/FES01.pdf>. Hakupäivä 22.10.2014.

Mallintava suunnittelu. Betoniteollisuus Ry. Saatavissa:

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/mallintava-suunnittelu>. Hakupäivä 28.9.2014.

Marttinen, Markus 2010. Teklan ja Robotin käyttö betonirakenteiden suunnittelussa. Opinnäytetyö. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu, talonrakennustekniikan osasto.

Nemetschek North America Announces Public Beta for Upcoming IFC Version 2x3 Plug-ins and GSA-compliant Space Object. 2007. Vectorworks. Saatavissa:

<http://planet.vectorworks.net/press-release/nemetschek-north-america-announces-public-beta-for-upcoming-ifc-version-2x3-plugin-ins-and-gsa-compliant-space-object/>. Hakupäivä 8.10.2014.

Nielsen, Anne Katherine - Madsen, Søren 2010. Structural modeling and analysis using BIM tools. Master's thesis. The School of Civil Engineering, Aalborg University. Saatavissa:

<http://projekter.aau.dk/projekter/files/32688467/structural-modelling-and-analysis-using-bim-tools.pdf>. Hakupäivä 26.11.2014.

OPEN BIM. 2015. Tekla Corporation. Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tietoa-teklasta/building-construction/open-bim>. Hakupäivä 2.3.2015.

Open BIM Overview. 2014. Vectorworks. Saatavissa: <http://www.vectorworks.net/openbim/>. Hakupäivä 2.3.2015.

Penttilä, Hannu 2009. Mikä tekee suunnitteluprojektsista BIM-projektin? Saatavissa: http://www.mittaviiva.fi/hannu/BIM_project/index_bim_basics.html. Hakupäivä 30.1.2015.

Penttilä, Hannu - Nissinen, Sampsa - Niemioja, Seppo 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 10-10992. 2010. Tietomallinnettava rakennushanke. Ohjeita rakennuttajalle. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/103680.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 5.10.2014.

RT 10-11066. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa1. Yleinen osuus. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/108093.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 18.12.2014.

Saifi, Hosai 2012. Integration of BIM and FEA Software in Bridge Engineering. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto, Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan osasto.

Siltojen tietomalliohje. 2014. Liikennevirasto. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf. Hakupäivä 23.11.2014.

Sofistik. 2009. Structural Wiki. Saatavissa: <http://www.structuralwiki.org/en/Sofistik>. Hakupäivä 23.11.2014.

Summary of IFC Releases. 2014. BuildingSMART. Saatavissa: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases>. Hakupäivä 18.12.2014.

Tekla Structures. 2015. Tekla Corporation. Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>. Hakupäivä 28.9.2014.

Tekla Structures Engineering – yleissuunnittelun toiminnallisuudet. 2015. Tekla Corporation. Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tekla-structures-engineering-%E2%80%93-yleissuunnittelun-toiminnallisuudet>. Hakupäivä 27.1.2015.

Tietomallinnus. RIL. Saatavissa: <http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>. Hakupäivä 28.9.2014.

Tietomallintaminen. 2015. Optiplan Oy. Saatavissa: http://www.optiplan.fi/tekemisen_tapa/tietomallintaminen/fi_FI/tietomallintaminen/. Hakupäivä 20.1.2015.

Tuotemallitieto rakennusprosessissa. 2003. Pro IT. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/tiedotteita/proit_esite_no1.pdf. Hakupäivä 1.10.2014.

Tutorial SSD/SOFiPLUS – A Quick Reference. 2010. Sofistik AG. Saatavissa: http://www.sofistik.com/uploads/tx_sofistik/Tutorial-SSD-SOFiPLUS-2010_1.pdf. Hakupäivä 24.11.2014.

Valitse BIM-sovellus, johon voit luottaa myös tulevaisuudessa. 2014. MagiCAD. Saatavissa: <http://www.magicad.com/fi/content/valitse-bim-sovellus-johon-voit-luottaa-myos-tulevaisuudessa>. Hakupäivä 3.2.2015.

LIITTEET

Liite 1

Lähtötietomuistio

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Henri Koskenkorva

Tilaaaja WSP Finland Oy

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot

Antti Karjalainen / antti.karjalainen@wspgroup.fi

Työn nimi Tiedonsiirto Tekla Structuresin ja Sofistikin välillä

Työn kuvaus Tiedonsiirrossa tarkastellaan materiaali-, poikkileikkaus- sekä geometriatietojen siirtyvyyttä IFC- ja DWG-muodossa Tekla Structuresista Sofistikiin ja takaisin. Lisäksi kokeillaan Teklan suoraa tiedonsiirtolinkkiä.

Työn tavoitteet

Tutkia DWG- ja IFC-tiedonsiirron toimivuutta ja hyödyllisyyttä Tekla Structures –mallinnusohjelman ja Sofistik-analyysiohjelman välillä.

Tavoiteaikataulu

Opinnäytetyö valmis keväällä 2015

Päiväys ja allekirjoitukset

9.4.2015