

Toni Stolt

Korjausrakentamisen tietomallintaminen ja Tekla Structures -komponentit

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

30.10.2015

Tekijä Otsikko	Toni Stolt Korjausrakentamisen tietomallintaminen ja Tekla Structures – komponentit
Sivumäärä Aika	39 sivua 30.10.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Heikki Aronen, Ryhmäpäällikkö Mervi Toivonen, Lehtori
<p>Rakennusalan tietomallipohjaista tiedonhallintaa on kehitetty aktiivisesti 2000-luvulla. Suomessaakin on tehty useita tietomallintamista edistäviä kehityshankkeita, joiden pohjalta on julkaistu Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -julkaisusarja, jossa selostetaan ja ohjeistetaan rakennushankkeen eri vaiheiden ja osapuolten tehtävät.</p> <p>Tässä insinööriyössä tutkittiin uudis- ja korjausrakentamishankkeiden tietomallintamisprosessien eroavaisuuksia, sekä minkälaisia erityispiirteitä korjausrakentamishankkeiden suunnittelussa ja toteutuksessa on. Tavoitteena oli selvittää minkälaisia hyötyjä ja haittoja tietomallin käyttö tuo mukanaan hankkeiden suunnitteluun ja toteutukseen. Lisäksi työn tavoitteena oli tutkia korjausrakentamisessa yleisesti käytössä olevia rakenne- ja liitostyyppisiä ja luoda tutkimusten pohjalta tietomallintamista helpottavia komponentteja Tekla Structures -ohjelmistoon.</p> <p>Tietomallintamisprosesseja ja tietomallintamisen hyötyjä ja haittoja tutkittiin kirjallisuus- sekä internetlähteiden avulla. Rakenne- ja liitostyyppisiä tutkittiin myös edellä mainittujen lähteiden avulla, mutta mallinnettavien rakenteiden valintaan vaikutti myös tilaajayrityksen ehdotukset mallinnettavista rakenteista.</p> <p>Tutkimuksissa havaittiin, että tietomallintaminen tarjoaa monia eri hyötyjä ja mahdollisuuksia, joiden avulla voidaan parantaa suunnittelun ja toteutuksen laatua, sekä vähentää näissä tulevien virheiden määrää. Kuitenkin hankkeen luonne ja sisältö määrittelevät sen, onko tietomallintamisen käyttäminen kokonaisuuden kannalta hyödyllistä.</p> <p>Työn tuloksena luotiin parametrisoidut komponentit pilarin teräsbetonimanttelista ja siihen tarvittavasta vaarnatappiliitoksesta sekä seinärakenteiden aukkojen vahvistuksista. Komponentit luotiin näistä rakenteista, koska niistä ei ollut olemassa valmiita komponentteja Tekla Structures -ohjelmiston komponenttikirjastossa. Lisäksi kyseiset rakenteet ovat yleisiä korjausrakentamisessa ja niihin törmätään usein, kun vanhaa rakennusta ryhdytään korjaamaan.</p>	
Avainsanat	korjausrakentaminen, tietomallintaminen, Tekla Structures

Author Title	Toni Stolt Building Information Modeling in Renovation and Custom Components in Tekla Structures
Number of Pages Date	39 pages 30 October 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Heikki Aronen, Group Leader, Structural Engineer Mervi Toivonen, Lecturer
<p>Building Information Modeling (BIM) based management of construction has been actively developed in the 21st century. There have been several BIM development projects also in Finland. Based on these projects in 2012, Common Building Information Modeling requirements 2012 -publication series were published. These publications describes the basic requirements and the concept of the use of BIM in construction projects.</p> <p>The objective of this thesis was to examine the differences between BIM processes in new construction and renovations projects. Furthermore, the aim was to research the special features of the design and implementation of the building renovation projects. As a result of this research the advantages and disadvantages of BIM usage were explored. In addition, the objective was to examine the commonly used structure and connection types in renovation. On the basis of these studies, selected structures were modeled for Tekla Structures BIM software.</p> <p>BIM processes together with advantages and disadvantages of BIM were studied with the help of professional literature and internet sources. Structure and connection types were also examined with the above mentioned sources but also the proposals of the subscriber company were taken into account when making the selection for the structures to be modeled.</p> <p>The study showed that BIM offers several advantages and opportunities which helps to increase the quality of design and implementation and it also reduces the number of defects. However, the nature and contents of the project defines whether it is overall beneficial to use BIM or not.</p> <p>As a result of the thesis parameterized components were created from column mantle structure and the related anchoring connection and additionally wall structure reinforcements in basic cases. Components were created to facilitate the modeling process and also because there were not yet components from these structures in the component catalog of Tekla Structures. In addition, these particular structures are very common in renovations.</p>	
Keywords	BIM, Tekla Structures, Renovation

Sisällysluettelo

Lyhenteet

1	JOHDANTO	1
2	TIETOMALLINTAMINEN	2
2.1	Tietomallinnus yleisesti	2
2.2	Suunnitteluprosessi	4
3	TIETOMALLINNUSOHJELMISTOT	7
4	KORJAUSRAKENTAMINEN	8
4.1	Korjausrakentaminen ja sen näkymät	8
4.2	Korjausrakentamisen tietomallintaminen	12
4.3	Tietomalli korjausrakennesuunnittelussa	15
5	MALLINNETTAVAKSI VALITUT RAKENTEET	16
6	TEKLA STRUCTURES	18
7	LUODUT KOMPONENTIT	22
7.1	Pilarin manttelointi	22
7.2	Vaarnatappiliitos	26
7.3	Aukon vahvistus	28
7.3.1	Aukon vahvistus paksussa seinärakenteessa	28
7.3.2	Aukon vahvistus ohuessa seinärakenteessa	32
8	LOPPUPÄÄTELMÄT / POHDINTAA	35
	Lähteet	38

Lyhenteet

BIM	<i>Building Information Model</i> . Tietomallin englanninkielinen termi.
IFC	Lyhenne sanoista <i>Industry Foundation Classes</i> . On erityisesti tietomallipohjaisessa rakennussuunnittelussa käytettävä tiedonsiirtomuoto oliopohjaisen tiedon siirtoon.
RT	Rakennusalan liittoyhdistys, joka toimii alan yritysten elinkeinopoliittisten, teknisten ja työmarkkina-asioiden edunvalvojana.
Tietomalli	Rakennuksen tai sen osan virtuaalimalli. Tunnetaan myös nimellä Tuotemalli.
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. On Pohjoismaiden johtava tutkimus- ja teknologiayhtiö.
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset.

1 JOHDANTO

Rakennusteollisuus RT ry käynnisti vuonna 2002 Pro IT -kehityshankkeen, jonka tavoitteena oli kehittää rakennushankkeiden tietomallipohjaista tiedonhallintaa eli suunnitella, toteuttaa ja ylläpitää. Pro IT -hanke julkaisi ensimmäisen tietomalliohjeistuksen vuonna 2003, jota päivitettiin vuonna 2005. Tämä ohjeistus oli suunnattu arkkitehdeille, mutta hankkeen aikana julkaistiin myös rakennesuunnittelijoille suunnattu ohjeistus. Hankkeeseen liittyi lisäksi myös useita pilottiprojekteja, jossa tietomallipohjaista prosessia testattiin. Pro IT -kehityshankkeen päätyttyä vuonna 2006 rakennushankkeiden tietomallipohjainen toteuttaminen alkoi yleistyä ja useat rakennuttajat alkoivat edellyttää tietomallin käyttöä projekteissaan. Vuonna 2012 RT julkaisi laajapohjaisen kehittämishankkeensa, COBIM:n tuloksena 14-osaisen ”Yleiset tietomallivaatimukset 2012” -julkaisusarjan, jossa selostetaan ja ohjeistetaan rakennushankkeen eri vaiheiden ja osapuolten tehtävät laajemmin kuin Pro IT -kehityshankkeen ohjeistoissa.

Työn tilaajayrityksessä on havaittu, että tietomallinnettavien hankkeiden lähtötiedoissa sekä inventointimalleissa on usein rakennesuunnittelun kannalta oleellisia puutteita. Tämä hidastaa ja hankaloittaa rakennesuunnitteluprosessia, kun lähtötietoja joudutaan täydentämään suunnittelutyön ohessa. Lisäksi mallinnusohjelmistojen komponenttikirjastot eivät täysin kata korjausrakentamisessa yleisesti käytössä olevia rakenteita.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan korjausrakennuskohteiden tietomallintamisen erityispiirteitä ja ongelmakohtia sekä luodaan tietomallintamista helpottavia ja nopeuttavia komponentteja Tekla Structures -tietomallinnusohjelmistoon. Komponentteja luodaan muutamasta korjausrakentamisessa käytössä olevasta erikoisrakenteesta. Komponentit tehdään työn tilaajayrityksen 2D-suunnitelmiin pohjautuen siten, että niitä voidaan helposti muokata soveltumaan erilaisiin tapauksiin.

Tekla Structuresissa on sisäänrakennettuna ominaisuus, jolla käyttäjä voi luoda omia komponentteja erilaisista rakenteista. Näitä komponentteja kutsutaan Custom Componenteiksi. Custom Componentien avulla käyttäjä luo yksilöllisen komponentin haluustaan rakenteesta ja tallettaa sen komponenttikirjastoon. Näin kyseistä rakennetta ei tarvitse luoda uudestaan, vaan voidaan hyödyntää valmiiksi luotua komponenttia. Ohjelmistosta löytyvä komponenttikirjasto ei sisällä korjausrakentamisessa käytettyjä erikoisrakenteita. Tämä hidastaa mallintamista sekä lisää virheiden riskiä, koska suunnittelijoilla ei välttämättä ole yhtenäisiä toimintatapoja näitä rakenteita mallintaessa.

2 TIETOMALLINTAMINEN

2.1 Tietomallinnus yleisesti

Tietomallintaminen on 2000-luvulla yleistynyt uusi suunnittelukäytäntö, josta käytetään lyhennettä BIM, joka tulee englanninkielisistä sanoista *Building Information Model*, joka suomennettuna tarkoittaa rakennuksen tietomallia. Tietomalli on tarkka digitaalisesti luotu oliopohjainen virtuaalimalli rakennuksesta ja sen osista. Se sisältää mallinnettavan rakennuksen ja sen osien geometrian sekä sijainnin. Näiden tietojen lisäksi tietomalliin sisällytetään hankkeen alussa sovitun laajuuden ja tarkkuuden mukaisesti erilaista tietoa rakennuksen osista ja yksityiskohdista. Näitä tietoja ovat muun muassa rakennuksen tilat ja niiden käyttötarkoitus, rakenneosien tyyppitiedot, joita ovat muun muassa U-arvot, suunnitellut käyttöiät sekä palonkesto- ja lujuusominaisuudet. Lisäksi tietomalliin voidaan lisätä rakennustuotteita kuvaavia tietoja, kuten materiaaleja, valmistajia, tuotetunnisteita. Tietomallissa oleva tieto on huomattavasti yksityiskohtaisempaa kuin perinteisissä viiva-
piirtomenetelmällä luoduissa suunnitelmissa. Kun tieto on yhdessä mallissa ja kaikki hankkeen osapuolet päivittävät muutoksensa siihen, tekee se tietomallissa olevasta tiedosta luotettavampaa sekä vähentää ristiriitaisuuksien ja päällekkäisyyksien määrää. [1.]

Merkittävin ero perinteisen 2D- ja 3D-suunnittelun ja tietomallintamisen välillä on juuri niiden sisältämän informaation määrä. Perinteiset 2D- ja 3D-suunnitelmat sisältävät ainoastaan viivoja ja niiden muodostamia geometrioita, näin ollen sitä voidaan käyttää ainoastaan graafiseen visualisointiin ja eri suunnittelualojen lähtötietona. Kuten aiemmassa kappaleessa jo mainittiin, niin tietomallissa olevat oliot eli objektit ovat tietopaketteja, jotka sisältävät geometrian lisäksi ennalta sovitun määrän erilaista informaatiota rakennuksesta ja sen osista. Näin ollen tietomallia voidaan hyödyntää huomattavasti laajemmin erilaisten tarkastelujen ja vertailujen tekemiseen. Käytetyimpiä mallin hyödyntämistapoja ovat: visuaalinen tarkastelu, mallien yhdisteleminen ja sitä kautta tehtävät törmäystarkastelut, määrälaskenta sekä työmaan ohjaus ja aikatauluttaminen. Lisäksi malleilla voidaan simuloida ja analysoida eri suunnittelualojen elinkaaritarkasteluja. Tämä mahdollistaa erilaisten ratkaisujen toimivuuden ja kustannusten tarkemman vertailun esimerkiksi investointipäätöstä tehdessä. [1.]

Tietomallintamisesta saatavat hyödyt ovat moninaisia ja ne vaikuttavat hankkeen kaikkiin osapuoliin. Tietomallin avulla hankkeen alkuvaiheessa luonnosten ja erilaisten ratkaisumallien visualisointi voidaan toteuttaa helpommin ja yksityiskohtaisemmin.

Lisäksi aiemmin mainittujen ratkaisumallien ja kustannusten vertailu helpottuu. Suunnitteluvaiheessa havaitaan mahdolliset virheet ja ristiriitaisuudet helpommin mallien yhdistelyn sekä törmäystarkastelujen avulla. Rakentamisen aikaiset virheet ja epäselvyydet vähenevät, kun suunnitelmat on tehty yksityiskohtaisemmin. Lisäksi tietomallia voidaan käyttää työmaan sekä valmisosien tuotannon suunnitteluun, eli tietomalliin voidaan esimerkiksi syöttää aikataulutietoa, jonka avulla voidaan luoda tuotantoaikatauluja. Suunnittelun tarkkuudella on kuitenkin haittapuolensa, sillä se muuttaa suunnittelun painopistettä aiemmaksi ja hyvin suurella todennäköisyydellä lisää suunnittelijoiden työtä. On kuitenkin syytä huomioida, että pääosa hankkeen kustannuksista määräytyy nimenomaan suunnitteluvaiheessa. Näin ollen, jos hankkeen suunnitteluun on kohdennettu resursseja, niin on todennäköistä, että sen avulla saadaan toteutuksen aikana säästöjä tai ainakin välttämään kustannusten nousulta. Tämä suunnittelutyön painottuminen on otettava huomioon hanketta valmisteltaessa ja hankkeen suunnittelijat on syytä lyödä lukkoon mahdollisimman aikaisin, jotta malliin saadaan kaikki tarvittavat osat heti hankkeen alusta lähtien. [1; 2; 4.]

Tietomallintamisen avulla pyritään parantamaan rakentamisen laatua ja tehokkuutta. Lisäksi tavoitteena on, ettei mallin käyttö rajoittuisi vain rakennushankkeen suunnitteluun ja toteutukseen, vaan sitä käytettäisiin koko rakennuksen elinkaaren ajan aina hankesuunnittelusta sen ylläpitoon saakka. Tarkasti tehtyä ja ajan tasalla pidettyä mallia voidaan käyttää kiinteistön ja rakennuksen ylläpidon sekä korjaus- ja muutostöiden suunnittelun työvälineenä. Jotta tietomallintamisesta saadaan mahdollisimman paljon sen tarjoamia hyötyjä irti, vaatii se käyttäjiltään laajaa osaamista. Perusedellytyksenä on tietenkin riittävä pohjakoulutus, jonka lisäksi käyttäjällä täytyy olla vahva tietotekninen osaaminen sekä kokemusta vastaavanlaisista tehtävistä. Tämän takia on erittäin tärkeää, että hankkeen alussa eri osapuolille määritetään roolit ja vaatimukset suorituksilleen. Pelkkä henkilökohtainen osaaminen ei kuitenkaan takaa onnistumista, vaan myös käytettävien ohjelmistojen sekä tiedonsiirtoformaattien täytyy olla yhteensopivia ja hankkeen vaatimuksen kannalta riittävän laadukkaita. Tämä vaatii siis hankkeen kaikilta osapuolilta, niin tilaajalta, suunnittelutoimistoilta sekä rakennusliikkeiltä, sitoutumista ja kiinnostusta tietomallintamiseen ja sen kehittämiseen. [1; 2; 4.]

2.2 Suunnitteluprosessi

Suunnitteluprosessi sisältää samat vaiheet huolimatta siitä tehdäänkö se perinteisellä viivapiirtomenetelmällä vai tietomallintamalla, ainoastaan vaiheista käytettävät nimet ja niissä käytettävät termit poikkeavat hieman toisistaan.

Taulukko 1. Suunnitteluprosessin vaiheet eri menetelmillä [5; 9; 21.]

Vaiheen päättävä tehtävä	RAK 12 mukainen tehtäväluettelo		YTV 2012, osa 1 mukainen
Hankepäättös	A	Tarveselvitys	Vaatusmalli
Investointipäättös	B	Hankesuunnittelu	Tila-/inventointimalli
Suunnittelupäättös	C/D	Suunnittelun valmistelu / Ehdotussuunnittelu	Alustava rakennusosamalli
Rakennuslupa	E/F	Yleissuunnittelu ja rakennuslupatehtävät	
Rakentamispäättös	G	Toteutussuunnittelu	Rakennusosamalli
	H	Rakentamisen valmistelu	Tuoteosamalli
Rakennus- ja vastaanotтоваihe	I/J	Rakentaminen ja käyttöönotto	Toteutusmalli / Toteumamalli
Takuuaika	K	Käytön aikainen suunnittelu	Ylläpitomalli

Perinteisellä tavalla toteutettavissa hankkeissa suunnitteluprosessi etenee ketjumaisesti eri suunnittelualalta toiselle eli jokainen suunnitteluala tekee kunkin hankevaiheen suunnitelmat valmiiksi ja jakaa ne vasta sitten seuraavalle suunnittelualalle. Prosessin ketjumuaisuudesta johtuen pienetkin viivästykset vaikuttavat merkittävästi suunnittelu-aikatauluihin, sillä viivästys vaikuttaa seuraavan suunnittelualan suunnittelun aloitukseen. Koska tietoa siirtyy vasta kunkin vaiheen suunnitelmien valmistuttua, on todennäköistä, että ketjut ovat kaksisuuntaisia eli ne palautuvat vielä edelliselle suunnittelualalle suunnitelmapuutteiden tai ristiriitaisuuksien takia (Kuva 1). [2; 4; 9.]



Kuva 1. Perinteinen suunnitteluprosessi

Tietomallipohjaisissa hankkeissa hankkeenvaiheistus ei etene samalla tavalla ketjumaisesti osapuolelta toiselle, vaan tietomalliin tuodaan lisää tietoa ja olemassa olevaa tietoa päivitetään hankkeen edetessä. Tämän lisäksi vanha tieto säilytetään historiatietona (Kuva 2). Tämän avulla hankkeen osapuolilla on koko ajan käytössään mahdollisimman ajantasaiset tiedot hankkeesta. Tämä helpottaa myös muutosten hallintaa ja samalla muutossuunnittelussa tulevien virheiden määrä vähenee, koska muutokset tehdään samaan mallitietokantaan, jossa ne päivittyvät kaikkien suunnitteliijaosapuolten nähtäväksi ja tarkastettavaksi. Tietomallin käyttö mahdollistaa eri suunnittelualojen työn yhtäaikaisuuden sekä aikaisemman aloituksen, sillä edeltävän suunnittelualan työn ei välttämättä tarvitse olla täysin valmis, vaan riittää, kun siellä on seuraavan suunnittelualan lähtötiedoiksi tarvittavat osiot valmiina. Mallipohjaisen suunnittelun kokonaissuunnittelu-aika lyhentyä eri suunnittelualojen suunnittelun yhtäaikaistumisen sekä eri suunnittelualojen suunnittelutyön aloitusvälien lyhentymisen ansiosta. Tietomallintamisen avulla myös tiedonkulku osapuolten välillä sekä suunnitelmien havainnollisuus paranevat. [4; 9.]



Kuva 2. Tietomallipohjainen suunnitteluprosessi

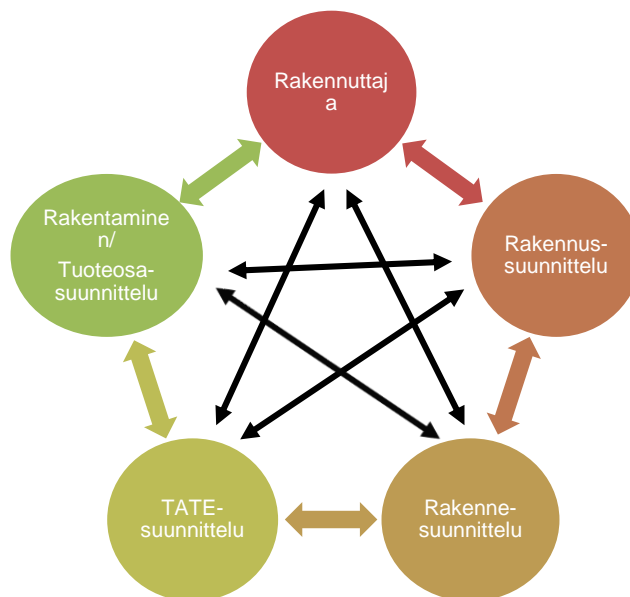
Tiedonsiirto on merkittävässä roolissa koko rakennushankkeen onnistumista ajatellen, sillä kokonaisuus koostuu eri osapuolten toteuttamista osakokonaisuuksista. Mikäli näitä osakokonaisuuksia yhdistettäessä jää joku osakokonaisuus puuttumaan tai se on puutteellinen, on sillä merkittävä vaikutus kokonaisuuden onnistumiseen.

Tästä johtuen on ensiarvoisen tärkeää, että hankkeen alussa sovitaan käytettävät tiedonsiirtotavat sekä tiedostojen tiedonsiirtomuodot. Hankkeen osapuolten välinen tiedonsiirto tapahtuu nykyisin pääasiassa keskitetysti verkossa olevan projektipankin tai hanketietokeskuksen välityksellä (Kuva 3). Näin saadaan varmistettua, että kaikilla osapuolilla on yhdenmukaiset ja ajan tasalla olevat suunnitelmatiedot käytettävissään. [2; 5.]



Kuva 3. Tiedonsiirto projektipankin avulla

Tietoja voidaan siirtää myös ristiin eri osapuolten välillä (Kuva 4) niin, että osapuolet lähettävät päivitettyjä dokumentteja ja tietoja toisilleen esimerkiksi sähköpostin välityksellä. Tämä tiedonsiirtotapa lisää tietokatkosten riskiä merkittävästi.



Kuva 4. Tiedonsiirto ristiin eri osapuolten välillä

Tietomallipohjaisesti suunniteltavien hankkeiden tiedonsiirto voidaan toteuttaa perinteisen suunnitteluprosessin tavoin joko hajautetusti tai keskitetysti palvelimen avulla. Hajautetussa tietomallissa kaikilla osapuolilla on omat tietomallit, jotka jaetaan toisille osapuolille ristiin (Kuva 4). Osapuolet käyttävät toistensa tietomalleja oman tietomallin pohjana ja saavat näin lähtötiedot omalle työlleen. Töiden valmistuttua kaikkien osapuolien tietomallit kootaan yhteen malliin ja niistä muodostetaan yhdistelmämalli. On erittäin tärkeää, että kaikki osapuolet käyttävät ja jakavat tietomallinsa samaa tiedonsiirtoformaattia käyttäen, jotta mallien yhdistäminen hankkeen eri vaiheessa onnistuu. Huomattavasti käytetympi ja tehokkaampi menetelmä tiedonsiirrolle on verkostoitunut tiedonsiirto eli projektipankin tai tietomallipalvelimen välityksellä tapahtuva tiedonsiirto. Projektipankkia käytettäessä tiedonsiirto voidaan tehdä kahdella tavalla, joko siten, että eri suunnittelu-ajat tekevät omat tietomallinsa, jotka sitten yhdistetään tietomallipalvelimella yhdeksi tietomalliksi, tai käyttämällä yhteistä tietomallia.

Yhteisen tietomallin käyttäminen edellyttää suunnitteluohjelmistojen yhteensopivuutta. Jotta yhteisen tietomallin käyttö olisi tehokasta, edellyttää se erityistä huomiota suunnittelun yhtäaikaaisuuteen; näin vältetään päällekkäiseltä työltä. Tiedonsiirtomuotoina perinteisellä tavalla suunniteltavissa hankkeissa käytetään yleisimmin pdf- ja dwg-tiedostoja. Tietomallipohjaisissa hankkeissa käytetään perinteisen dokumenttipohjaisissakin hankkeissa käytettyjen tiedonsiirtomuotojen lisäksi myös ifc- ja db1-tiedostoja, jotka ovat tietomallintamisen mukanaan tuomia tiedostomuotoja. [5; 14.]

3 TIETOMALLINNUSOHJELMISTOT

Tietomallinnusohjelmistot ovat oliopohjaisia, joka tarkoittaa sitä, että perinteisestä viiva- ja piirtomenetelmästä poiketen suunniteltavat oliot (tunnetaan paremmin nimellä objektit) sisältävät geometrian lisäksi ennalta sovitun määrän tietoa suunniteltavasta rakenteesta tai sen osasta. Ohjelmistot tunnistavat objekteille syötetyt tiedot ja sisällyttävät ne tietomalliin. Näin ollen rakennusosille voidaan muun muassa syöttää valmiiksi niiden lujuus- ja lämpötekniset ominaisuudet tai vaikkapa aikataulutietoja. Näiden avulla esimerkiksi rakennesuunnittelija pystyy viemään mallin suoraan FEM-laskentaohjelmaan ja määrittämään rakennukseen kohdistuvat kuormitukset ilman, että hänen tarvitsee syöttää tietoja useaan eri ohjelmaan. Toteutuksen aikana malliin syötettyjä tietoja voidaan käyttää määrälaskentaan, aikataulusuunnitteluun tai esivalmisteisten osien tuotannosuunnitteluun.

Lisäksi suunnitteluvaiheessa erilaisten vaihtoehtojen sekä simulaatioiden vertailu on helppompaa, koska oliopohjaisessa suunnittelussa käyttäjä määrittelee yksittäisen rakennusosan sijaan tuoteryhmän tai tason, johon kyseinen rakennusosa kuuluu. Tämän jälkeen kaikkia kyseiseen tuoteryhmään tai tasoon kuuluvia osia voidaan muokata muuttamalla kyseessä olevan tuoteryhmän tai tason tietoja. [1.]

Markkinoilla on useita eri suunnittelualoille suunnattuja ohjelmistoja, joista käytetyimpiä ovat ArchiCad, Tekla Structures sekä Autodeskin Revit. ArchiCad on nimensä mukaisesti suunnattu arkkitehtien käyttöön, kun taas Tekla Structures soveltuu parhaiten rakenne- sekä valmisosasuunnitteluun. Revitistä on saatavilla omat versionsa arkkitehti-, rakenne- sekä talotekniikkasuunnitteluun.

Tässä työssä tutustutaan ja käytetään Tekla Structures -ohjelmistoa, joka on suunniteltu nimenomaan rakennesuunnittelun työvälineeksi.

4 KORJAUSRAKENTAMINEN

4.1 Korjausrakentaminen ja sen näkymät

Rakennuksia korjataan kokoajan enenevässä määrin, koska ne eivät enää syystä tai toisesta palvele niiden käyttäjää tai omistajaa niille suunnittelussa käyttötarkoituksessa. Syyt tähän voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, joita ovat tavoitetason muutos, kuluminen ja vanheneminen sekä vaurioituminen. Tavoitetason muutoksella tarkoitetaan kehityksen ja uudistusten mukanaan tuomaa tarpeiden ja vaatimustason nousua tai muuttamista, joka voi johtaa rakennuksen muutostarpeeseen. Tämä on yleensä vahvasti sidoksissa rakennuksen omistajien sekä käyttäjien tiedostamiin ja kokemiin tarpeisiin, jonka takia se on hyvin aikaan ja trendeihin sidoksissa. Rakennusten ja niiden osien kulumisella ja vanhenemisella tarkoitetaan käyttökelpoisuuden alenemista normaalioloissa. Kulumista tapahtuu, kun rakennusta tai sen osia käytetään niille suunnitelluissa käyttötarkoituksissa. Vanheneminen taas aiheutuu rakenteiden ja rakennusosien sisäisten kemiallisten prosessien sekä niihin kohdistuvien ulkoisten rasitusten yhteisvaikutuksesta. Kulumiseen ja vanhenemiseen aiheuttamaa käyttökelpoisuuden alentumista voidaan tarkastella eri näkökulmista, kuten turvallisuudelle, taloudellisuudelle tai viihtyisyydelle asetettuiden tavoitteiden kautta.

Oikeastaan ainoat edellytykset, jotka aiheuttavat toimenpiteitä kiinteistönomistajalle ovat rakennuksen turvallisuus ja terveellisyys, joiden osalta kiinteistönomistaja on velvollinen saattamaan tilat määräysten vaatimalle vähimmäistasolle. Muutoin kiinteistönomistaja voi itse määrittää milloin rakennuksen tai sen osien korjaaminen on kannattavaa. Nämä edellä mainitut vauriot ja käyttökelpoisuuden alenemiset syntyvät yleensä suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä tai ylläpidossa tehdyn virheen tai laiminlyönnin tuloksena. Suunnittelussa tapahtuvat virheet liittyvät usein rakennusfysiikkaan tai rakenteiden mekaniikkaan, kun rakenteiden käytännötoimintaa ei tunneta tai sitä ei tunnisteta suunnittelussa. Rakennusaikana tapahtuvat virheet liittyvät yleensä virheellisiin toimintatapoihin tai ammattitaidon puutteeseen. Käytön ja ylläpidon virheet johtuvat yleensä käyttäjän osaamattomuudesta, korjaustarpeen pitkittämisestä tai laiminlyönnistä. Nämä virheet ilmenevät rakennuksen elinkaaren aikana erilaisina ongelmina ja ylimääräisinä korjaustarpeina. Näiden virheiden ja laiminlyöntien mahdollisia ilmentymiä voivat olla muun muassa rakenteiden halkeilu, kosteusvauriot ja sisäilmaongelmat. [15.]

Korjausrakentamisen osuus kaikesta rakentamisesta on viimeisten vuosikymmenten aikana kasvanut merkittävästi ja kasvun odotetaan jatkuvan tasaisena myös tulevaisuudessa. Arvioiden mukaan kunnossapitoa ja korjausinvestointeja asuinrakennusten sekä liikenneväylien osalta tulisi lähes kaksinkertaistaa ja vesihuoltoverkoissa jopa kolminkertaistaa. Tällainen kunnossapidon ja korjausinvestointien tarve kielii siitä, että näitä rakennusten ja muun rakennetun ympäristön korjaus- ja ylläpitotoimenpiteitä on lykätty jonkin aikaa ja korjausvelkaa on sen takia päässyt kertymään jo rutkasti. Korjausvelalla eli korjausvajeella tarkoitetaan investointien määrää, jotka rakennuksiin sekä muihin rakennetun ympäristön osa-alueisiin olisi pitänyt tehdä, jotta ne palvelisivat käyttötarkoituksessaan ongelmitta. Korjausvelan määrää voidaan arvioida useilla eri määritelmillä ja laskutavoilla. ROTI (Rakennetun Omaisuuden Tila) 2013-raportin mukaan korjausvelkaa oli tuolloin yhteensä noin 36,5 - 56,5 miljardia euroa, josta suurin osa tulee rakennusten korjausvelasta, jonka osuudeksi arvioitiin tuolloin 30 – 50 miljardia euroa. Korjausvelka sekä ikääntyvä rakennuskanta ovat merkittävimpiä syitä siihen miksi korjausrakentaminen ei ole niin suhdanneherkkää kuin uudisrakentaminen. [13.]

Vuonna 2002 julkaistussa VTT:n tekemässä REMO 2000 -tutkimuksessa esitettiin, että vuonna 2000 korjausrakentamisen osuus talonrakennustuotannosta oli noin 40 prosenttia ja tutkimuksessa ennustettiin, että korjausrakentamisen volyymin nousun jatkuvan myös tulevaisuudessa, mutta nousun odotettiin hidastuvan 3 - 4 prosentin vuosinousu-
tasosta 2,5 - 3,5 prosentin vuosinouslyn.

Tutkimuksessa ennustettiin, että kasvusta huolimatta korjausrakentamisen osuus koko talonrakentamisesta tulisi vuoteen 2010 mennessä jäämään alle 50 prosenttiin, vaikka sen osuus asuntorakentamisessa onkin joinain vuosina noussut jopa 50 prosenttiin. [10.] Jos vuonna 2002 tehdyn tutkimuksen tuloksia arvioidaan 2010 luvun toteumilla, voidaan todeta, että tutkimuksen tulokset ja tulevaisuuden ennusteet ovat olleet oikeanlaisia ja vieläpä melko tarkkoja.

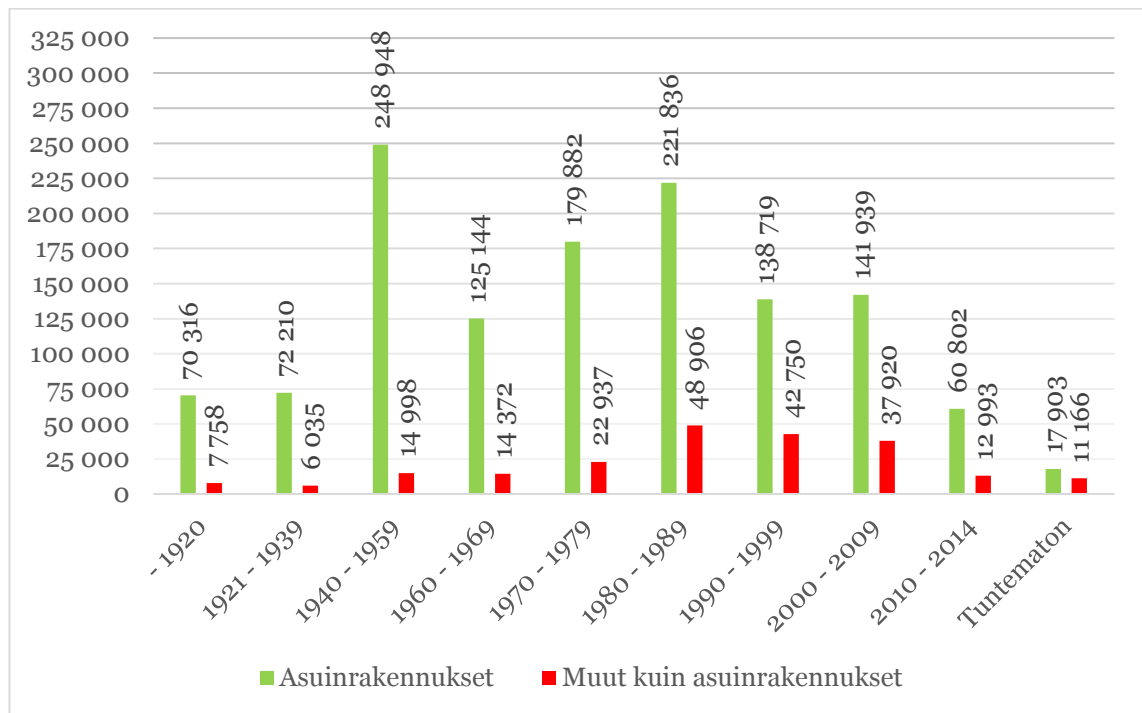
Taulukko 2. Rakennustuotannon arvot ja osuudet koko talonrakentamisessa vuosina 2011-2014. [12.]

Rakennustuotannon arvo		Vuosi							
		2011		2012		2013		2014	
		Uudis	Korjaus	Uudis	Korjaus	Uudis	Korjaus	Uudis	Korjaus
Talonrakentaminen	Asuinrakennukset, mrd €	6,0	5,9	5,8	6,3	5,4	6,5	4,7	6,8
	Muut rakennukset, mrd €	6,4	4,5	6,2	4,7	5,7	4,8	6,0	4,9
	Yhteensä, mrd €	12,4	10,4	12,0	11,0	11,1	11,3	10,7	11,7
	Muutos edelliseen vuoteen verrattuna %:eina	-	-	-3,23 %	5,77 %	-7,50 %	2,73 %	-3,60 %	3,54 %
	Asuinrakennusten euromääräinen osuus %:eina	48,39 %	56,73 %	48,33 %	57,27 %	48,65 %	57,52 %	43,93 %	58,12 %
	Asuinrakennusten osuuden muutos edelliseen vuoteen verrattuna %	-	-	-0,11 %	0,96 %	0,65 %	0,44 %	-9,71 %	1,04 %
	Euromääräinen osuus koko talonrakentamisesta %	54,39 %	45,61 %	52,17 %	47,83 %	49,55 %	50,45 %	47,77 %	52,23 %
Koko talonrakentaminen	Asuinrakennukset, mrd €	11,9		12,1		11,9		11,5	
	Muut rakennukset, mrd €	10,9		10,9		10,5		10,9	
	Yhteensä, mrd €	22,8		23,0		22,4		22,4	
	Muutos edelliseen vuoteen %	-		0,88 %		-2,61 %		0,00 %	
Lähde: Rakennusteollisuus RT Ry, suhdannekatsaukset		30.12.2012		22.10.2013		21.10.2014		29.5.2015	

Edeltävässä taulukossa on esitetty kuinka rakennustuotannon arvot sekä uudis- ja korjausrakentamisen osuudet ovat kehittyneet vuosien 2011 ja 2014 välisenä aikana. Taulukosta ilmenee, että talonrakentamisessa korjausrakentamisen euromääräinen volyyymi on kasvanut vuodesta 2011 keskimäärin noin 4 prosenttia vuodessa ja lisäksi muutos on ollut jokaisena vuonna positiivista. Jos sitä verrataan uudisrakentamisen euromääräiseen volyyymiin, joka on ollut laskussa vuodesta 2011 lähtien keskimäärin lähes 5 prosenttia vuodessa, voidaan selkeästi havaita se, kuinka Suomen heikko taloudellinen tilanne näkyy talonrakentamisessa. Talonrakentaminen kokonaisuudessaan on laskenut jonkin verran, mutta uudisrakentamisen osuus koko talonrakentamisesta on laskenut jopa reippaammin. Erityisesti heikossa taloustilanteessa korjausrakentaminen kannattelee koko rakentamista.

REMO 2000 -tutkimuksen ennuste siitä, että korjausrakentamisen osuus talonrakennustuotannosta ei nouse yli 50 prosenttiin 2010 vuoteen mennessä osui sekään oikeaan, sillä korjausrakentamisen osuus talonrakennustuotannossa ylitti 50 prosenttia vasta vuonna 2013, vaikkakin se on ollut asuinrakennusten osalta osuudeltaan suurempi jo vuodesta 2009 lähtien. [10; 13; 14.]

Taulukko 3. Suomen rakennuskannan ikäjakauma lukumäärittäin. [11.]



Vuonna 2013 julkaistun Työterveyslaitoksen teettämän selvityksen mukaan Suomen rakennuskanta vuonna 2010 oli noin 434 miljoonaa neliometriä, josta noin puolet oli rakennettu ennen vuotta 1980. Tämä tarkoittaa sitä, että jos ajatellaan rakennuksen tekniseksi korjauksiäksi 30 - 50 vuotta, niin tällä hetkellä Suomen rakennuskannasta jo yli puolet on tullut korjauksiin. Näistä rakennuksista 1960-luvun alkupuolen ja sitä vanhempia rakennuksia on jo korjattu paljon, mutta esimerkiksi linjasaneerausten eli putkiremonttien määrä tulee lähitulevaisuudessa lisääntymään merkittävästi, kun korjausvuoroon tulevat 1960-1980-luvun rakennukset. Monissa 1960-1980-luvun rakennuksissa on jouduttu jo tekemään julkisivuihin ja salaojiin liittyviä korjauksia. Tämä johtuu tuon aikakauden rakennusratkaisusta sekä rakennusmateriaalien laadusta, jotka eivät käyttöikänsä olleet sitä mitä yleisesti näiltä rakennusosilta on totuttu näkemään. Lisäksi tuon aikakauden heikkoon rakentamisen laatuun vaikuttivat myös uudenlainen elementtirakentaminen sekä projektien nopeat läpimenoajat. [10; 13; 14.]

Vaikka korjausrakentamisen markkinat ovat näin suuret, on ala uudisrakentamiseen verrattuna vielä melko kehittymätöntä. Ongelmia aiheuttaa sen yksilöllisyydestä johtuva palveluiden tuotteistamisen vaikeus sekä toimijoiden pieni koko. Tämä on johtanut vaihtelevaan laatuun ja asiakaslähtöisyyden heikentymiseen. Näissä asioissa on kyllä havaittavissa muutosta, sillä alalle on tullut uusia toimijoita. Kiinnostusta alan kehittämiseksi löytyy myös vanhemmilla toimijoilla, jotka ovat huomanneet korjausrakentamisen potentiaalin sekä kasvavat markkinat. Korjausrakentamisen houkuttelevuutta lisää myös se, että vaikka uusia rakennuspaikkoja ja -alueita kehitetään jatkuvasti, niin parhaat rakennuspaikat alkavat olla täyteen rakennettuja. Tämä tarkoittaa sitä, että jos toimintoja ja palveluita halutaan sijoittaa näille alueille, on oltava kykyä ja halukkuutta korjausrakentamiseen sekä hybridihankkeisiin eli hankkeisiin, joissa yhdistetään uudis- ja korjausrakentamista. Niin kuin rakentamisessa yleisesti, myös korjausrakentamisessa urakat ovat erittäin tiukasti kilpailtuvia. Näin ollen mikäli alalla mieltä pärjätä, täytyy toimintaa kehittää jatkuvasti. Eniten panostusta ja voimavaroja on viime vuosina laitettu asiakaslähtöisyyden ja asiakaspalvelun kehittämiseen. Parantamisen ja kehittämisen varaa toki on esimerkiksi laadun osalta vielä melko paljon. Kehittämistarpeita on toteutuspuolen lisäksi myös suunnittelu- ja tilaajapuolella, jossa osaamisen taso on vähintään yhtä vaihtelevaa kuin toteutuspuolella. [10.]

4.2 Korjausrakentamisen tietomallintaminen

Korjausrakentamisen osuuden kasvaessa myös niiden tietomallintaminen tulee lisääntymään. Uudis- ja korjausrakentamishankkeiden tietomallinnusprosessit ovat pääosin samoja. Merkittävimpänä erona on olemassa oleva rakennus ja sen aiheuttamat vaatimukset ja rajoitteet. Lähtötilanteen mallintamisen merkitys koko hankkeen mallinnuksen onnistumisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää. Korjausrakentamishankkeiden tietomallinnuksessa lähtötilanteen tarkka mallintaminen on usein hankalaa ja työlästä; lisäksi se vie huomattavasti enemmän aikaa kuin uudiskohteissa. Lähtötilanteen mallinnusta hankaloittaa se, että rakennuspaikalla oleva rakennus on yleensä käytössä, kun hankkeen suunnittelu aloitetaan. Tämä voi olla esteenä esimerkiksi rakenteiden avaukselle ja näin ollen piilossa olevia rakenteita ei saada mallinnettua lähtötietomalliin. Lisäksi lisääntynyt suunnittelutyö sekä rakennuspaikalla tehtävät mittaukset johtavat lähes poikkeuksetta kustannusten lisääntymiseen, joka osaltaan hidastaa tietomallintamisen yleistymistä korjausrakentamishankkeissa. [1; 6; 16.]

Korjausrakentamishankkeissa olemassa olevasta rakennuksesta luodaan hankkeen alussa sovittu tarkkuustason perusteella lähtötietomalli eli inventointimalli. Inventointimalli voidaan tehdä joko vanhojen suunnitelmien pohjalta tai rakennuspaikalla tehtävien mittausten avulla. Yleisesti inventointimallia tehtäessä käytetään molempia tapoja, jotta saadaan riittävän kattavat ja tarkat lähtötiedot projektin suunnittelua varten. Rakennuspaikalla käytettäviä mittausten menetelmiä ovat muun muassa laseretäisyys- ja takymetri-mittaukset sekä laserkeilaus. Ensimmäisenä mainitut mittausmenetelmät eivät yksin sovellu inventointimallin lähtötiedoksi, vaan niiden tueksi tarvitaan vähintään vanhat suunnitelmat, eivätkä ne silloinkaan sovellu kuin geometrialtaan yksinkertaisten kohteiden mallintamiseen. Näitä menetelmiä suositellaankin käytettäväksi vain yksittäisten rakenteiden ja rakennusosien mallintamiseen tai laserkeilauksen täydentämiseen. Laserkeilausmittausten avulla saadaan tehtyä erittäin tarkkoja ja havainnollisia malleja rakennuksen näkyvillä olevista osista. Mittausten tekeminen ei kuitenkaan ole aivan ongelmattonta. Kuten jo aiemmin mainittiin, olemassa oleva rakennus on yleensä suunnitteluvaiheen alkaessa normaalissa käytössä. Tämä asettaa rajoituksia muun muassa rakenteiden avauksille sekä joidenkin tilojen tai rakennusosien mittaukselle. Laserkeilauksen kannalta ongelmia aiheuttavat myös mitattavalla alueella olevat esteet, kuten kalusteet ja kasvillisuus, jotka luovat kuvaan katvealueita. Lisäksi mittaushetkellä vallitsevat olosuhteet sekä mittauksia suorittavan henkilön rakennusalan tuntemus vaikuttavat mallin laatuun ja sen sisältämän informaation tasoon. [6; 16.]

Tietomallinnettavissa hankkeissa tiedonsiirto sekä tarkkuustaso ovat merkittävässä roolissa mallinnuksen onnistumisen ja siitä saatavan hyödyn kannalta. On tärkeää, että eri osapuolten tekemät mallit ovat yhteensopivia ja, että kohde mallinnetaan riittävän tarkasti alusta lähtien. Inventointimallin tarkkuustason valintaan ja sen laadukkaaseen toteuttamiseen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, sillä se toimii pohjana kaikelle muulle mallintamiselle. Yleisissä tietomallivaatimuksissa inventointimallille on määritetty vähimmäistarkkuustaso, mutta korjausrakentamishankkeiden yksilöllisyydestä johtuen on mallinnustarkkuus aina syytä määritellä hankekohtaisesti. Näin malliin saadaan yksilöityä nimenomaan ne rakennuksen osat ja rakenteet, johon merkittävimmät muutokset kohdistuvat. Jos mallia aiotaan korjaushankkeen jälkeen käyttää ylläpidon työvälineenä, on syytä määritellä myös ne osat ja tilat, jotka ovat ylläpidon ja käytön kannalta oleellisia. Tiedonsiirtoformaatteja ja käytettäviä ohjelmistoja valittaessa on niiden yhteensopivuuden tarkastaminen ensi arvoisen tärkeää. Jos yhteensopivuudesta ei ole varmuutta, on riskinä, että mallista toiseen tietoa siirrettäessä voivat jotkin mallin sisältämät tiedot siirtyä vain osittain tai jäädä siirtymättä kokonaan.

Tällöin tietoja joudutaan muokkaamaan tai lisäämään manuaalisesti. Tämä lisää suunnittelijoiden työtä sekä malliin tulevien virheiden riskiä. Yleisissä tietomallivaatimuksissa suositellaankin, että inventointimalli tehtäisiin samalla ohjelmistolla, jolla arkkitehti aikoo kohteen mallintaa. Tämä on kuitenkin monessa tapauksessa hankalaa, sillä hankkeen suunnittelijoita ei välttämättä ole vielä inventointimallia tehtäessä valittu, joten käytettävää ohjelmistoa ei tiedetä. [6.]

Kun ajatellaan hankkeen suunnitteluprosessia siitä näkökulmasta, että onko sitä kannattavaa toteuttaa tietomallinnusta apuna käyttäen tai kuinka siitä saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä irti, törmätään usein siihen, että tietomallintaminen nostaa hankkeen kustannuksia hyötyensä nähden liian paljon. Tähän vaikuttaa merkittävästi se, että rakennushankkeissa, niin uudis- kuin korjausrakennushankkeissakin, on paljon eri osapuolia, joiden työmäärä ja resurssien tarve vaihtelee huomattavasti kohteesta riippuen. Lisäksi asiaan vaikuttaa myös se, että hankkeen osapuolet sitoutetaan hankkeeseen sen eri vaiheissa. Esimerkiksi korjausrakentamishankkeissa on melko harvinaista, että hankkeen päätoteuttaja valittaisiin jo suunnitteluvaiheessa. Näin ollen merkittävä osa toteutuksen kannalta tärkeistä näkemyksistä ja kokemuksista jää saamatta tai ne saadaan vasta toteutusvaiheessa, jolloin jo olemassa olevia suunnitelmia joudutaan muokkaamaan tai tekemään kokonaan uudestaan. Tämä sama ongelma pätee myös eri suunnittelijoiden hankekohtaisen sitouttamisen ajankohdan kanssa. Myös tietomallien omistussuhteet saattavat aiheuttaa ongelmia, sillä eri suunnittelualojen suunnittelijat eivät välttämättä ole halukkaita luovuttamaan malliaan muiden käyttöön, jos hankkeelle on tiedossa jatkoa tulevaisuudessa, eikä heidän osallistumisestaan jatkoon ole varmuutta. [17.]

Toinen hankkeen kustannuksiin vaikuttava seikka on eri osapuolten väliset sopimukset. Perinteisessä hankkeessa tilaajalla on omat erilliset sopimukset hankkeen eri osapuolten kanssa, joka ikään kuin pirstaloi hankkeen eri osa-alueisiin, ja joista sitten niiden valmistuessa syntyy lopputuote. Tämän sopimus- ja toteutusmallin ongelma ja vaikutus hankkeen kustannuksiin on se, että jokaisella sopijaosapuolella on omat erilliset tavoitteet ja riskit, eivätkä ne yleensä ole sidoksissa toisten osapuolten vastaaviin eli jokaisen osa-alueen onnistumista mitataan omilla mittareillaan. Onnistuminen arvioidaan kokonaisuutena hankkeen loputtua. Tällaista pirstaleisuutta vastaan on kehitetty ja kehitetään jatkuvasti erilaisia hankemalleja, joiden avulla luodaan hankkeen eri osapuolille yksi yhteinen tavoite ja sopimus, jossa mahdollisuudet ja riskit jaetaan kaikkien osapuolten kesken.

Tämän kaltaisilla sopimus- ja toteutusmalleilla hankkeen kustannuksia pyritään pienentämään ja työn tuottavuutta lisäämään sillä, että eri osapuolet toimivat yhdessä, jolloin niin sanottu turha työ saadaan kitkettyä pois. Tällaiset sopimus- ja toteutusmallit toki vaativat sen, että eri osapuolet voivat luottaa toisiinsa ja tuntevat toistensa toimintatavat riittävän hyvin. [17.]

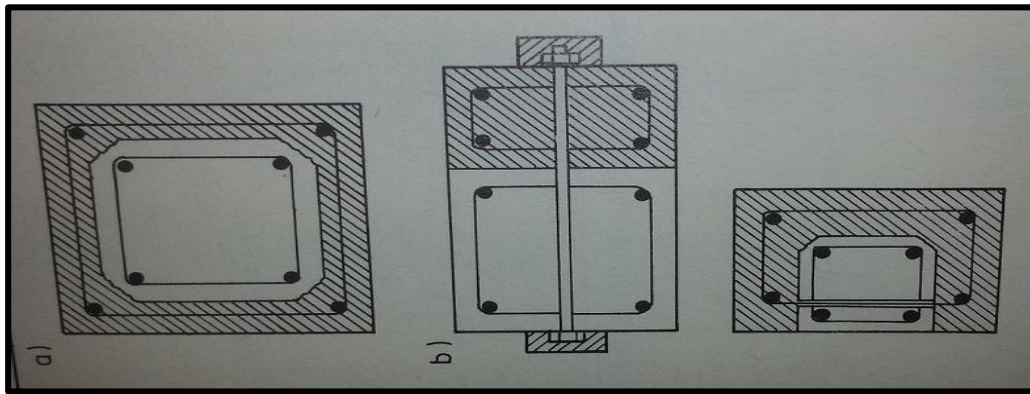
4.3 Tietomalli korjausrakennesuunnittelussa

Rakennesuunnittelussa tietomallia voidaan hyödyntää monella eri tavalla, sitä käytetään muun muassa törmäys- sekä geometriatarkasteluiden tekemiseen, erilaisiin simulaatioihin sekä määrätietojen laskentaan. Rakennesuunnittelun kannalta merkittävää on se, että tietomalli voidaan integroida eri analysointiohjelmiin esimerkiksi rakennemallia luotaessa. Tämä nopeuttaa luonnosvaiheessa eri ratkaisuvaihtoehtojen vertailua sekä varsinaisen suunnitteluvaiheen muutosten tarkastelua. Lisäksi malliin tehtävät muutokset päivittyvät automaattisesti piirustuksiin eikä niitä tarvitse manuaalisesti syöttää leikkaus- ja detaljipiirroksiin. Kuitenkin, vaikka mallintamalla suunniteltaessa saataisiin edellä mainittuja hyötyjä, vaatii se muutoksiltaan ja kooltaan suuren tai erittäin haastavan kohteen ollakseen kannattavaa. Kuten jo aiemmin mainittiin, mallintaminen lisää suunnitteluun tarvittavien esitietojen tarvetta sekä suunnittelijan työtä, ja näin ollen se tuo hankkeelle lisäkustannuksia. Lisäksi yksinkertaisten kohteiden mallintaminen ei tuo paljoa lisäarvoa tilaajalle ellei mallia aiota käyttää rakennuksen käytön ja ylläpidon työvälineenä. Korjausrakentamisen rakennesuunnittelun kannalta merkittävimmät ongelmat liittyvät lähtötietomallin mittatietojen tarkkuustasoon sekä mallien yhteensovittamiseen. Rakennesuunnittelun onnistumisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että mittatiedot ovat paikkaansa pitäviä, ja että olemassa olevat rakenteet on tutkittu tarkoin. Tämä tarkoittaa sitä, että korjattavan rakennuksen lähtötietomalli on luotava erityisen tarkasti. Lisäksi suunnittelu-aika pidentyy, kun suunnitelmien tarkkuustaso viedään näin pitkälle. On tietenkin otettava huomioon myös kääntöpuoli tarkasti tehdyistä suunnitelmista. Silloin, kun suunnitelmat on tehty tarkasti ja tarkemittatuihin rakenteisiin, niin voidaan olettaa, että työt voidaan toteuttaa suunnitelmien mukaisesti, ja että kaikki rakenteet mahtuvat niille suunniteltuihin paikkoihin. Tämän pitäisi vähentää työnaikaista suunnittelua ja sitä kautta myös kustannuksia. Näiden kustannusten ja hyötyjen vertailun kautta voidaan hankesuunnitteluvaiheessa päättää kannattaako kohteen suunnittelussa käyttää tietomallintamista ja millä tasolla siitä saadaan eniten hyötyjä irti.

Korjaushankkeissa on yleisesti ongelmia uusien talotekniikkajärjestelmien mahduttamisessa ja sijoittamisessa vanhoihin rakenteisiin. Tämän takia ei ole välttämättä kannattavaa mallintaa ainoastaan rakenneteknisiä osuuksia, vaan myös talotekniikka kannattaisi mallintaa, jotta törmäystarkastelut sekä suunnitelmien havainnollistaminen saataisiin tehtyä mahdollisimman tehokkaasti. Tämän onnistuminen vaatii eri osapuolten sitoutumista tietomallintamiseen, muutoin mallintamisen hyödyt saattavat olla kyseenalaisia. [1; 17.]

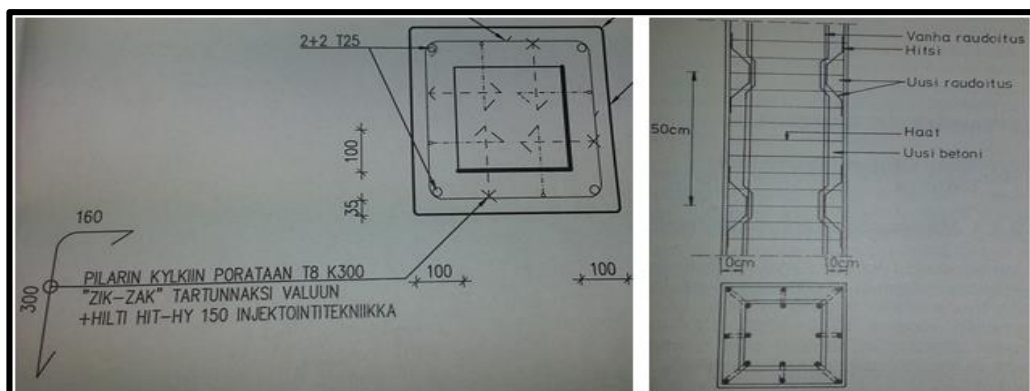
5 MALLINNETTAVAKSI VALITUT RAKENTEET

Rakenteita valittaessa huomio ei kiinnittynyt rakenteiden suunnittelun haastavuuteen, vaan siihen kuinka työläistä niiden mallintaminen on. Valitut rakenteet sisältävät useita eri variaatioita, materiaaleja sekä muuttujia, jonka takia niiden mallintaminen on erittäin työlästä ilman tarkoitukseen soveltuvaa komponenttia. Hankalia näistä rakenteista tekee se, että niitä on usein yhdessä kohteessa monta ja ne poikkeavat yleensä toisistaan geometrialtaan tai ominaisuuksiltaan; näin ollen niitä ei voida kopioida, vaan jokainen rakenne on määriteltävä erikseen. Tutkittaviksi rakenteiksi valikoituivat pilarin vahvistaminen mantteloimalla sekä seinien paikallinen vahvistaminen aukkojen kohdalla. Edellä mainitut vahvistusmenetelmät valittiin siitä syystä, että niihin törmätään usein, kun vanhaa rakennusta lähdetään korjaamaan tai muuttamaan. Rakenteiden vahvistuksia joudutaan tekemään muun muassa silloin, kun rakennuksen käyttötarkoitusta tai tilaohjelmaa muutetaan tai korjaustöiden edetessä havaitaan, että vanhat rakenteet ovat vaurioituneet tai ne eivät täytä niille asetettuja vaatimuksia. Manttelointi on yleisin betoni- ja tiilipilarien vahvistamismenetelmä. Manttelointi voidaan toteuttaa usealla eri tavalla sekä materiaaleilla, kuten esimerkiksi betonoimalla, teräsmanttelilla sekä muovi- ja hiilikuituvahvikkeiden avulla. Tässä työssä tutkitaan teräsbetonimanttelointia. Teräsbetonimantteloinnissa vanhan pilarin poikkileikkausta kasvatetaan valamalla tai ruiskuttamalla olemassa olevan pilarin päälle uusi betonipinta. Uusi betoniosuus raudoitetaan kestämään lisääntyneet kuormitukset. [15.]



Kuva 5. Pilarin manttelointi [15, s.116.]

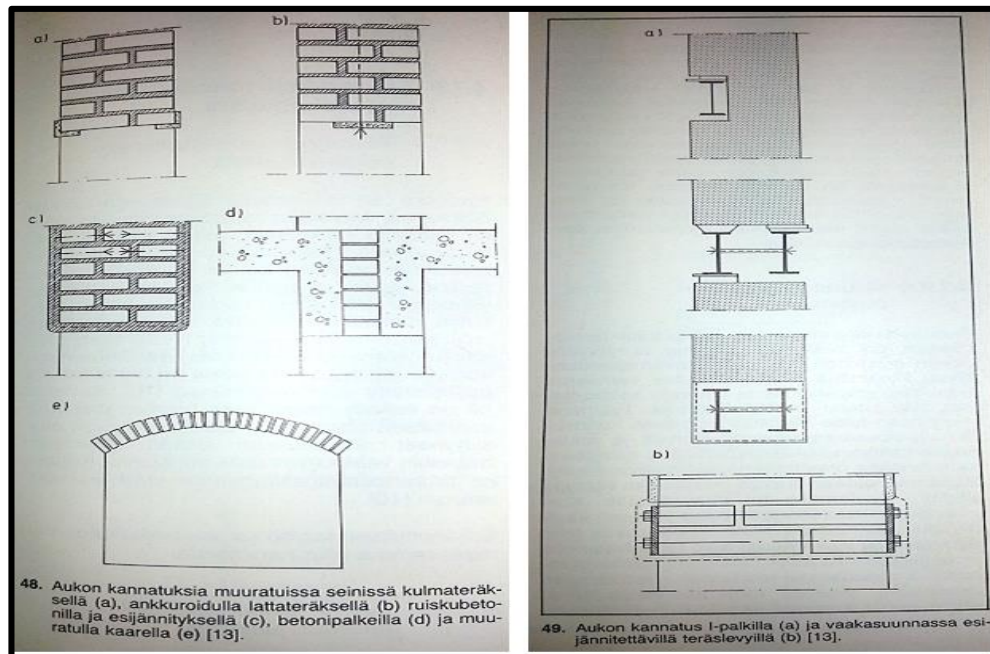
Manttelin ja vanhan pilarin välille tarvitaan jonkinlainen liitos, jonka avulla saadaan varmistettua näiden kahden rakenneosan välinen yhteistoiminta. Manttelin ja pilarin välinen liitos voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Mantteli voidaan joko ankkuroida eli liittää olemassa olevaan pilariin, kiinnittämällä vahvistettavan pilarin kylkiin tartuntoja eli vaarnatappeja, jotka yhdistyvät manttelin vanhaan pilariin ja muodostavat näin liitoksen rakenneosien välille. Toinen vaihtoehto on ottaa olemassa olevan pilarin raudoitukset piikkaamalla tai muulla soveltuvalla tavalla esille, ja liittää manttelin raudoitteet vahvistettavan pilarin raudoitteisiin hitsaamalla. [15.]



Kuva 6. Manttelin liitos vanhaan pilariin vaarnatapein ja hitsaamalla. [15, s.117; Optiplan Oy, detaljipiirros.]

Toinen tutkimuksen kohteeksi valittu rakenne oli seinärakenteiden aukkojen tuenta. Korjausrakentamisessa on erittäin yleistä, että vanhoja seinärakenteita puretaan tai niiden aukotuksia suurennetaan tai tehdään kokonaan uusia aukotuksia, esimerkiksi ovia ja ikkunoita varten. Lisäksi on myös mahdollista, että olemassa olevan aukon yläpuolinen kuormitus kasvaa esimerkiksi rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen takia tai vanha rakenne on vaurioitunut niin, ettei se enää kestä sille tulevia kuormituksia. Seinärakenteita purettaessa tai aukotettaessa tulee varmistaa, että sille tulevat kuormitukset siirtyvät jäävien seinän osien tai korvaavien rakenneosien avulla alapuolisille rakenteille.

Vahvistus- ja korjaustoimenpiteet voidaan jakaa kahteen erilaiseen ryhmään: korjauksiin, joissa hyödynnetään olemassa olevien rakenteiden lujuutta tai korjauksiin, joissa olemassa olevaa rakennetta vahvistetaan uudella rakenneosalla. Tässä työssä tutkitaan teräsosilla toteuttavia aukkojen vahvistuksia ohuissa sekä paksuissa seinärakenteissa. [15.]



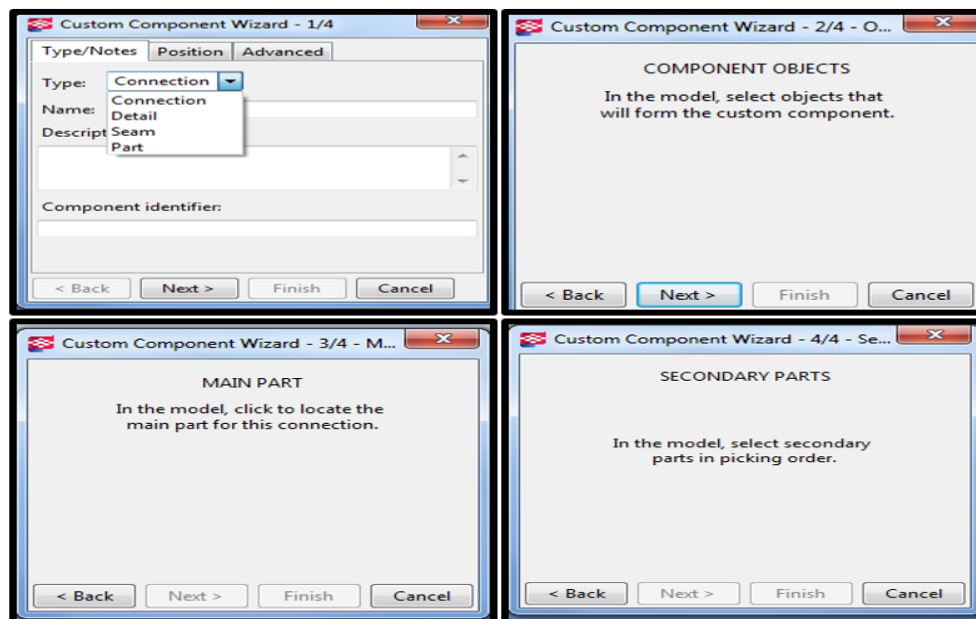
Kuva 7. Aukon kannatusmenetelmiä. [15, s.127.]

6 TEKLA STRUCTURES

Tekla Structures on rakennuksen tietomallinnusohjelmisto, joka on suunniteltu rakennaja tuoteosasuunnittelijoiden sekä valmisosavalmistajien työkaluksi. Tekla Structuresiin voidaan mallintaa kaiken tyyppisiä rakenteita materiaalista riippumatta. Se soveltuu hyvin myös hankalampien rakenteiden ja geometrioiden mallintamiseen. Tekla Structuresin hyvät liitännä- ja tiedonsiirto-ominaisuudet, merkittävimpien laskenta-, mallinnus-, tuotantokoneiden sekä projektihallintaohjelmistojen kanssa, helpottavat projektien tiedonkulkua eri osapuolten välillä, sillä kaikki osapuolet voivat hallita ja muokata tietoja mallissa. Myös muutosten hallinta ja piirustusten päivitys helpottuu, kun piirustukset voidaan hakea suoraan mallista ja ne päivittyvät automaattisesti, kun mallia muokataan. Tekla Structuresia voidaan käyttää myös tuotannonohjauksen työvälineenä esimerkiksi työmaan aikataulujen sekä valmisosien tuotantoaikataulujen suunnitteluun. Lisäksi Tekla tarjoaa ilmaista BIMsight-ohjelmistoa, joka on projektiyhteistyön työväline.


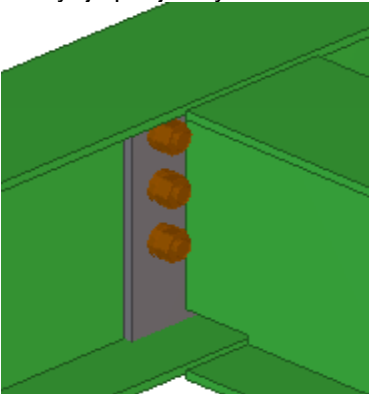

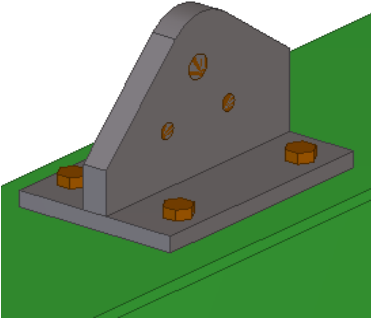
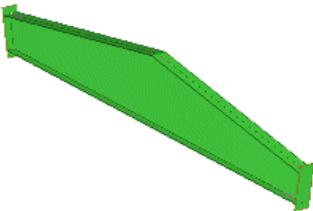

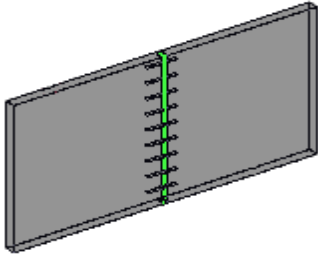
BIMsight-ohjelmiston avulla projektin osapuolet voivat yhdistellä mallejaan, tehdä törmäystarkasteluja ja jakaa tietoa. Tämä helpottaa virheiden ja ristiriitaisuuksien havaitsemista ja ongelmien ratkaisua jo suunnitteluvaiheessa. [18.]

Tekla Structuresin perustyökaluilla voidaan luoda yksittäisiä rakenneosia, kuten esimerkiksi pilareita ja palkkeja. Ohjelmassa on myös työkalu, jonka avulla käyttäjä voi luoda omia komponentteja haluamistaan rakenteista; näitä komponentteja kutsutaan Custom Componenteiksi. Custom Componenttien avulla voidaan tehdä esimerkiksi liitoksia, saumoja tai osia. Tekla Structuresista löytyy kattava komponenttikirjasto perusosista ja liitoksista, mutta nämä komponentit on tehty yleisistä tapauksista ja rakenteista. Mallinnuksessa tuleekin usein vastaan monimutkaisia kokonaisuuksia, joissa joudutaan muokkaamaan ja yhdistelemään perusosia, jotta haluttu rakenne saadaan mallinnettua. Custom Componenttien ansiosta näitä monimutkaisia rakenteita ei tarvitse mallintaa kuin yhden kerran, jonka jälkeen ne tallennetaan komponenttikirjastoon, josta niitä voidaan käyttää aina tarvittaessa. Custom Componenttia luotaessa on kaikki siihen tulevat osat oltava mallinnettuina ennen, kun niistä voidaan tehdä komponentti. Helpoin tapa luoda uusi komponentti on käyttää samantyyppistä jo olemassa olevaa komponenttia uuden pohjana. Toinen tapa on luoda komponentti niin sanotusti tyhjästä, jolloin kaikki siihen tulevat osat on tehtävä malliin ennen, kun niistä voidaan luoda komponentti. Kun kaikki komponentin osat on mallinnettu, avataan Custom Component Wizard, jossa määritellään komponentin tyyppi ja siihen kuuluvat osat. [19; 20.]



Kuva 8. Komponentin määrittelyn vaiheet Custom Component Wizardissa [19; 20.]

Taulukko 4. Custom Component -tyypit [19; 20.]

Tyyppi	Kuvaus	Esimerkkejä
Connection (Liitos)	<p>Luo liitos objektit ja liittää sekundääri osan/osat primääri osaan. Komponentin symboli on vihreä</p> 	<p>Pääty- ja pohjalevyliitokset</p> 
Detail (Detalji)	<p>Luo detaljin osat ja liittää ne yksittäiseen osaan. Komponentin symboli on vihreä</p> 	<p>Jäykisteet, reiät, nastat, tapit sekä nostolenkit ja -osat</p> 
Part (Osa)	<p>Luo joukon objekteja, jotka voivat sisältää liitoksia sekä detaljeja. Ei saa komponentti symbolia</p>	<p>Kehät, ristikkorakenteet, kerrokselliset elementit</p> 
Seam (Sauma)	<p>Luo sauman objektit ja liittää osat kahden valitun pisteen välillä. Yleensä osat ovat yhdensuuntaisia. Komponentin symboli on vihreä</p> 	<p>Elementtien väliset saumat</p> 

Kun komponentti on luotu ja tallennettu komponenttikirjastoon, päästään sen ominaisuuksia ja muuttujia muokkaamaan Custom Component Editorissa. Editorissa komponentti voidaan parametrisoida eli sille voidaan määrittää erilaisia riippuvuuksia ja muuttujia, joiden avulla komponentti mukautuu mallin muutosten mukaan. Editorissa voidaan esimerkiksi määrittää, että jäykistelevyn paksuus on riippuvainen palkin uuman paksuudesta. Lisäksi etäisyysmuuttujien avulla voidaan sitoa tasojen tai osien keskinäisiä etäisyyksiä. Näiden avulla saadaan esimerkiksi sidottua raudoituksen etäisyys betonipinnasta tai eri osien asennustoleranssit. Näitä ominaisuuksia ja muuttujia saadaan lisättyä ja muokattua Editorin Variables-ikkunassa, jossa on listattuna komponentin kaikki muuttajat. [19; 20.]

Name	Formula	Value	Value type	Variable type	Visibi...	Label in dialog box
P25	0.00	0.00	Length	Parameter	Show	Parameter25
P24	=if (P11<11) then 20 else (if (P11>10 && P11<25) then (2.5*P11) else (3.5*P11) endif endif	30.00	Length	Parameter	Show	Parameter24
P23	=if (P13<(P24+P11*2)) then (P24+P11*2) else P13 endif	200.00	Length	Parameter	Show	Parameter23
P22	=P5+(P9/2)	150.00	Length	Parameter	Hide	Lisäankkureiden suojapeite
P21	70.00	70.00	Length	Parameter	Show	Ankkureiden betonipeite
P20	=if (P16==0) then 0 else P1 endif	1	Yes/No	Parameter	Hide	4. Lisäankkurin luonti

Kuva 9. Esimerkki Variables-ikkunasta [19; 20.]

Muuttujia on kahta eri tyyppiä. Etäisyysmuuttuja (*Distance variable*) määrittelee kahden tason tai tason ja tietyn pisteen keskinäisen etäisyyden. Sen avulla voidaan joko sitoa osat toisiinsa tai määrittää osien välinen referenssietäisyys. Toinen muuttujatyyppi on parametrinen muuttuja, joiden avulla saadaan muokattua komponentin muita ominaisuuksia, kuten materiaaleja, kokoa ja nimiä. [19; 20.]

7 LUODUT KOMPONENTIT

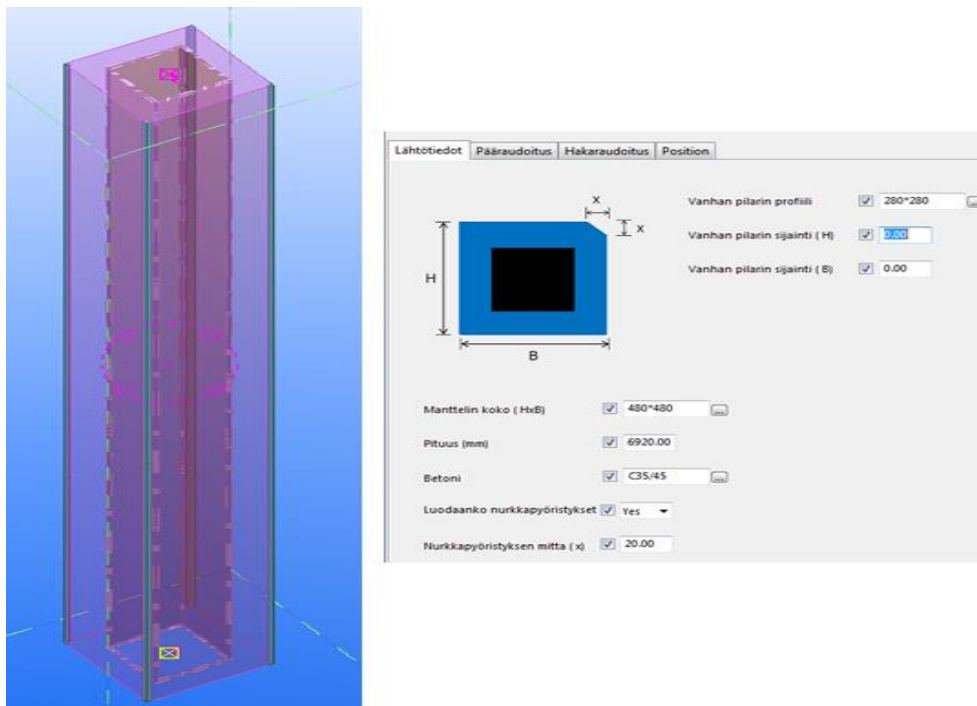
Tämän työn tuloksena syntyneillä tietomallinnuskomponenteilla pyritään tehostamaan ja helpottamaan suunnittelutyötä. Erilaisia rakennuskohteita mallinnettaessa törmätään usein samantyyppisiin rakenteisiin ja rakennetyyppeihin, eli suunnittelijan työssä tulee paljon toistoa, kun rakenteita joudutaan mallintamaan useaan kertaan jopa samassa projektissa. Komponenttien avulla usein toistuvat rakenteet saadaan mallinnettua helposti ja nopeasti, vaikka rakenteissa olisikin pieniä eroavaisuuksia, sillä komponenttiin pystytään luomaan muuttujia, jotka mahdollistavat detaljitason muutosten teon. Komponenttien avulla pyritään vähentämään ristiriitaisuuksia ja virheitä, kun kaikki samantyyppiset rakenteet mallinnetaan samaa komponenttia hyväksikäyttäen. Tällöin voidaan olettaa, että rakenteet, joista komponentti tai komponentit on tehty, ovat suunnittelijasta riippumatta samalla tavalla mallinnettu.

7.1 Pilarin manttelointi

Manttelointi-komponentti rajattiin koskemaan vain betonoimalla tehtäviä sekä poikkileikkaukseltaan suorakulmion muotoisia pilareita. Manttelin liittäminen vanhaan pilariin toteutettiin vaarnatappiliitoksella, josta luotiin kokonaan oma komponenttinsa. Teräsbetonimantteloinnissa suurimmat muutokset liittyvät yleensä sen raudoituksiin ja niiden järjestelyihin. Komponenttia lähdettiinkin luomaan siten, että raudoituksia pystyttäisiin säätelämään mahdollisimman vapaasti. Komponenttiin ei lähdetty tekemään mitään valmiita raudoitusratkaisuja, vaan käyttäjä määrittelee haluamansa raudoitteet itse. Manttelointi ja sen liittäminen vanhaan pilariin eroteltiin kahdeksi eri komponentiksi, koska itse mantteli haluttiin luoda osana (*Part*), kun taas vaarnatappiliitos liitoksena (*Connection*). Lisäksi niitä on helpompi käsitellä mallissa, kun ne ovat erillisiä komponentteja. Manttelointi-komponentti päätettiin luoda niin sanotusti tyhjästä eli kaikki siihen liittyvät objektit tehtiin itse eikä sen pohjana käytetty ohjelmistosta jo valmiiksi löytyviä komponentteja. Tähän ratkaisuun päädyttiin siitä syystä, että komponenttikirjastosta löytyvät vastaavanlaiset komponentit ovat melko monimutkaisia ja ne sisältävät paljon sellaisia objekteja ja muuttujia, joita ei voitu tässä tapauksessa hyödyntää. Lisäksi näiden valmiiden komponenttien objektien sekä erilaisten muuttujien toimintaperiaatteiden selvittäminen olisi vienyt huomattavan paljon aikaa ja uuteen komponenttiin olisi saattanut jäädä vahingossa joitain ylimääräisiä osia tai muuttujia, jotka olisivat voineet vaikuttaa manttelointi-komponentin toimintaan.

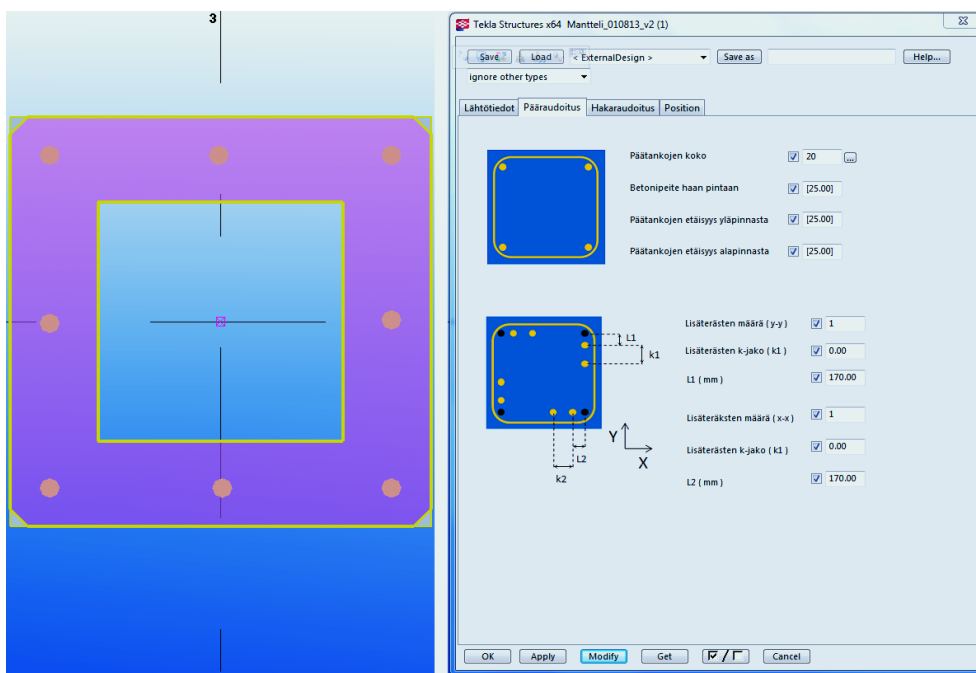
Komponentin teko aloitettiin luomalla siihen kuuluvat betoniosat sekä niihin liittyvät muuttajat. Tyhjään malliin tehtiin kaksi päällekkäin olevaa betonipilaria, jotka valittiin luotavan komponentin osiksi. Toisen pilarin poikkileikkausta pienennettiin siten, että se mahtui suuremman pilarin sisälle. Poikkileikkaukseltaan pienempää pilaria käytettiin apupilarina, jonka avulla poikkileikkaukseltaan suuremmasta pilarista saatiin part cut -työkalulla leikattua mantteloitavan objektin kokoinen osa pois. Komponenttiin oli nyt luotu lähtötiedoiksi vaadittavat objektit: pilariobjekti, jonka avulla saadaan määritettyä manttelin ominaisuudet sekä leikkausobjekti, jonka avulla pilariobjekti saadaan mukautumaan mantteloitavan pilarin reunaehtojen mukaiseksi.

Komponentin tähän mennessä luoduille objekteille määritettiin joukko erilaisia muuttujia. Niiden avulla käyttäjä voi muokata manttelin sekä olemassa olevan pilarin mittoja, betonilaatua sekä muita ominaisuuksia. Lisäksi leikkausobjektin x- ja y-akselien suuntaiselle sijainnille tehtiin muuttajat, jotta se voidaan tarvittaessa sijoittaa muutenkin kuin keskeisesti manttelin suhteen. Komponentille määritettiin myös etäisyysmuuttujia, joiden avulla saatiin yhdenmukaistettua sen eri objektien pituudet. Tämä toteutettiin sitomalla mantteli- ja leikkausobjektien päätepisteet toisiinsa. Tällöin leikkausobjektin pituus määräytyy manttelin pituuden mukaan. Lisäksi nurkissa olevien nurkkapyöristysten pituus sidottiin samalla tavalla päätepisteiden avulla määräytymään manttelin pituuden mukaan. Kuvassa 10 on esitetty edellä mainitut komponentin osat sekä asetusdialoginäkymä, jossa näiden osien ominaisuuksia voidaan muokata.



Kuva 10. Mantteli, leikkausobjekti ja asetusdialogi

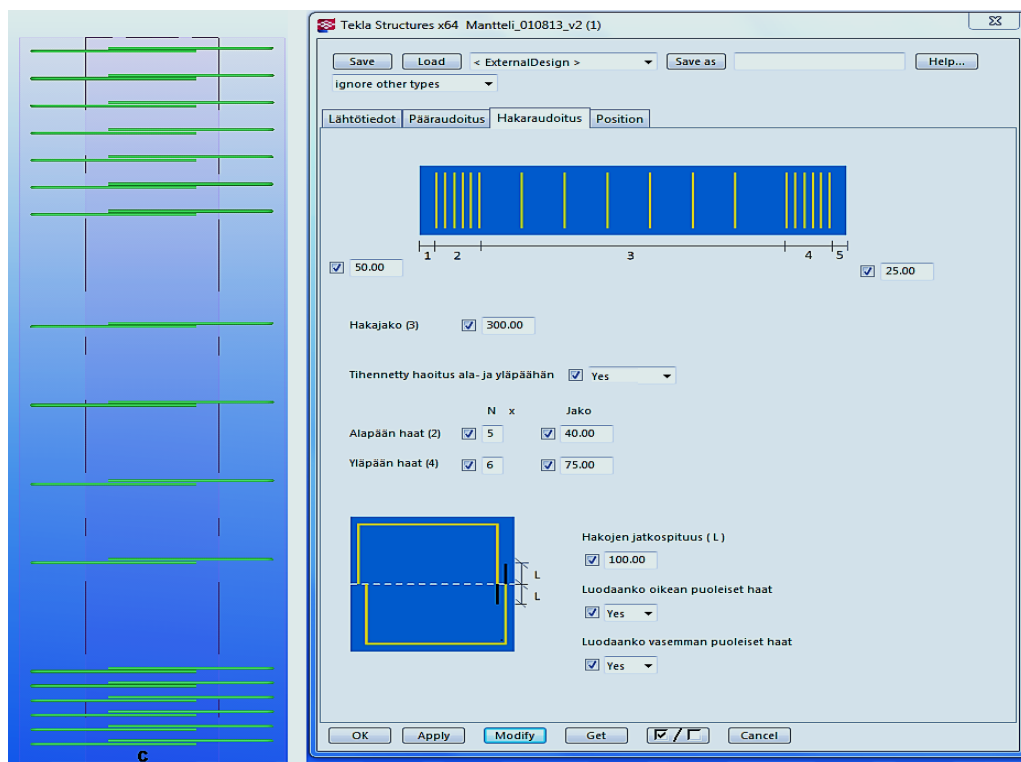
Kun betoniosien geometriat ja niihin liittyvät muuttujat saatiin valmiiksi, ryhdyttiin mallintamaan raudoituksia. Raudoitukset olivat mallinnusprosessin haastavin osa-alue, sillä komponenttiin oli sisällytettävä mahdollisimman laaja valikoima erilaisia raudoitusvariaatioita. Komponenttia lähdettiin tekemään sillä olettamuksella, että mantteli on aina raudoitettu rakenne eikä sitä tästä johtuen voida tällä komponentilla toteuttaa ilman raudoituksia. Manttelin nurkkapisteisiin luotiin pääteräkset yksittäisinä raudoitustankoina. Raudoitustankojen handle-pisteet sidottiin manttelin ulkosivuihin, jotta niiden reunaetäisyys pysyisi samana, vaikka manttelin ulkomittoja muutettaisiin. Tankojen päätepisteet sidottiin manttelin päätepisteisiin, jotta myös päiden reunaetäisyyttä voidaan muokata. Reunaetäisyyksille eli betonipeitteelle määritettiin muuttujat, joiden nimellisarvoja voidaan muokata dialogin pääraudoitus-välilehdellä. Tankojen etäisyys sivuista on toteutettu siten, että se ottaa huomioon myös hakaraudoituksen eli tähän kenttään syötetään haluttu reunaetäisyys haan ulkopintaan.



Kuva 11. Pääraudoitteet ja asetusdialogi

Nurkkapisteisiin lisättiin vielä raudoiteryhmät, joiden avulla manttelin pääraudoitteita voidaan lisätä. Raudoiteryhmät ohjautuvat x- ja y-akseleiden suuntaisesti siten, että käyttäjä määrittää sivukohtaisen lisätankomäärän, niiden keskinäisen etäisyyden sekä etäisyyden kyseisen nurkan päätangoista. Komponentti luo lisätangot automaattisesti valitun akselin kummallekin akselinsuuntaiselle sivulle. Kunkin nurkan raudoiteryhmän handle-pisteet sidottiin nurkassa olevaan yksittäiseen raudoitustankoon niin, että lisäterästen reunaetäisyydet sivuilla ja pilarin päissä määräytyvät päätankojen reunaetäisyyksien mukaan.

Raudoiteryhmien etäisyys kunkin nurkan päätangosta on toteutettu siten, ettei lisäteräs tule päätangon päälle eli, kun asetusdialogissa olevaan etäisyyskenttään syöttää arvon 0, niin päätanko ja lisäteräs ovat rinnakkain. Viimeisenä komponenttiin luotiin hakaraudoitteet. Haat päätettiin toteuttaa U:n mallisina, sillä todellisuudessa umpinaisten hakojen käyttö mantteloinneissa on erittäin harvinaista ja useassa tapauksessa umpihakojen asennus olisi käytännössä mahdotonta tai työlästä, kun haat jouduttaisiin taivuttamaan pilarin ympärille työmaalla. Haat toteutettiin kuutena erillisenä raudoiteryhmänä siten, että kahdelle samansuuntaiselle sivulle tehtiin kolme raudoiteryhmää. Tämä tehtiin siitä syystä, että manttelin ylä- ja alapään haoitusta pitää tarvittaessa pystyä tihentämään ja se olisi ollut hankala toteuttaa yhdellä raudoiteryhmällä. Hakaraudoituksille määritettiin lisäksi muuttuja, jonka avulla käyttäjä voi valita luodaanko haoitus manttelin molemmille sivuille vai ainoastaan toiselle sivulle. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi niissä tapauksissa, kun mantteloitava pilari on seinässä kiinni tai se jostain muusta syystä mantteloidaan vain kolmelta sivulta. Lisäksi, koska hakaraudoitteet toteutettiin U:n mallisina, luotiin niille vielä muuttuja, jonka avulla palkin eripuolella olevien hakojen välille tarvittavaa limitystä voidaan muokata asetusdialogissa.



Kuva 12. Hakaraudoitteet ja asetusdialogi

7.2 Vaarnatappiliitos

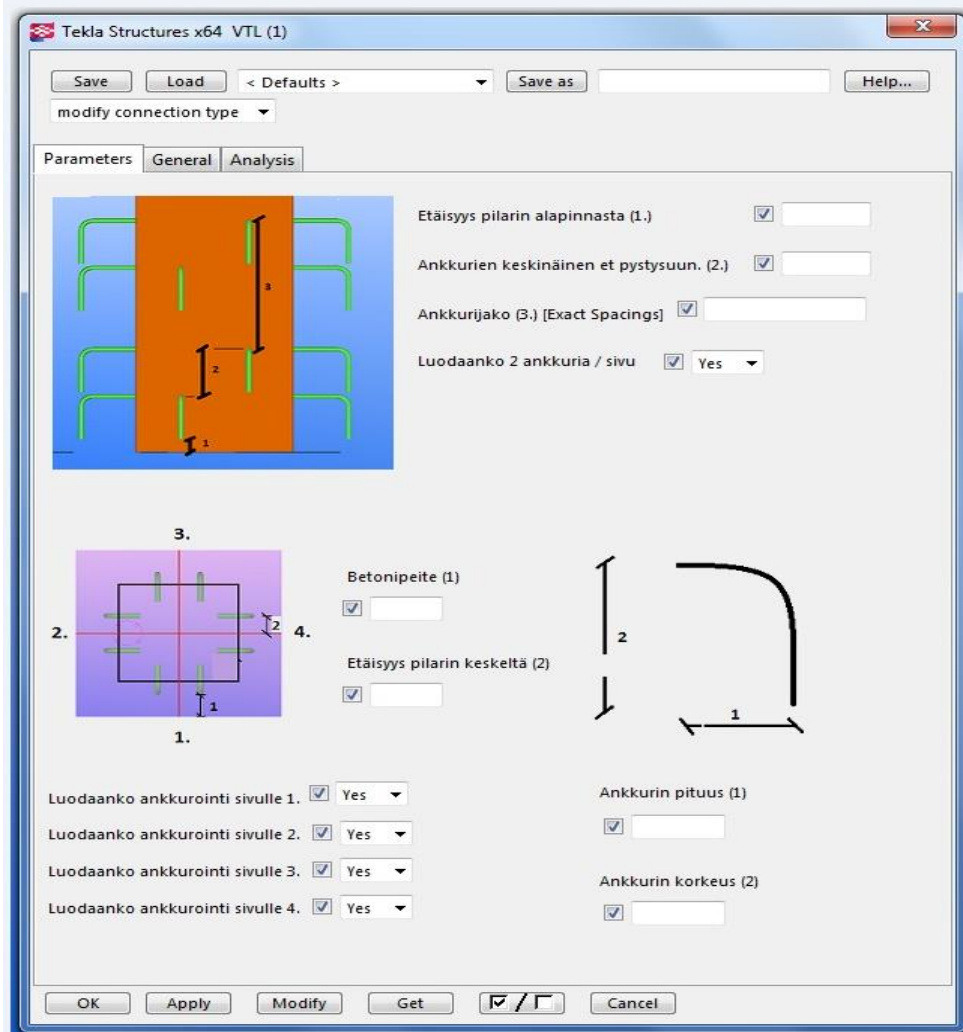
Niin kuin aiemmin työssä mainittiin, manttelin ja pilarin välille tarvitaan jonkinlainen liitos, jotta saadaan varmistettua näiden kahden rakenneosan välinen yhteistoiminta. Seuraavassa osiossa käsitellään tämän työn tuloksena syntynyt pilarin ja manttelin välinen vaarnatappiliitos-komponentti. Mantteloinnin ankkurointi-komponentti rajattiin koskemaan vain vaarnatapain tehtävää ankkurointia eikä sillä näin ollen pystytä mallintamaan vanhoihin raudoituksiin hitsaamalla tehtäviä ankkurointeja. Hitsaamalla tehtävät ankkuroinnit rajattiin pois niiden suunnittelun yksityis- ja kohdekohtaisuuden takia. Lisäksi kuten manttelointi-komponenttikin, niin myös tämä komponentti rajattiin koskemaan vain poikileikkaukseltaan suorakulmion muotoisia pilareita.

Vaarnatappiliitos-komponenttia lähdettiin luomaan sillä olettamuksella, että ankkurointitapit tehdään aina L:n muotoisina ja alaspäin kaartuvina. Tapin muodolla saadaan varmistettua riittävä ankkurointi olemassa olevan pilarin ja manttelin välille myös ohuissa rakenteissa. Komponenttiin lisättiin mahdollisuus luoda pilarin kullekin sivulle kaksi erillistä tappilinjaa. Tämä siksi, koska pilarit ovat yleensä niin leveitä, ettei yhdellä ankkurointirivillä saada välttämättä varmistettua riittävää ankkuroitumista.

Vaarnatappiliitosta lähdettiin luomaan siten, että tyhjäan malliin luotiin liitettävät osat eli pilari ja mantteli. Näin saatiin tarvittavat osat, jotta vaarnatappiliitos saatiin tehtyä liitokseksi (*Connection*). Vaarnatapit luotiin kahtena erillisenä raudoitusryhmänä niin sanottuna pääryhmänä ja lisäryhmänä. Tällä mahdollistettiin se, että käyttäjä voi valita laite taanko pilarin kullekin sivulle yksi vai kaksi vaarnatappilinjaa. Pää- ja lisäryhmien handlepisteet sidottiin toisiinsa ja niiden välille luotiin pystysuuntainen etäisyysmuuttuja. Pystysuuntaisen etäisyysmuuttujan avulla vaarnatappirivit saadaan asetettua pilariin porrastetusti. Kummankin tappiryhmän handle-pisteet sidottiin vaakasuunnassa pilarin keskipisteeseen. Tämän avulla luotiin muuttuja, jolla saadaan vapaasti valita tappiryhmien vaakasuuntainen sijainti pilarissa. Kaikki muut muuttujat vaikuttavat molempiin vaarnatappiryhmiin.

Vaarnatappien jakomuuttuja tehtiin siten, että käyttäjä valitsee tarvittavan reunaetäisyyden pilarin alapäässä, jonka jälkeen käyttäjän täytyy itse laskea sopiva ankkurijako sekä lukumäärä ja varmistaa, että tapit mahtuvat pilarin sisälle. Tämä muuttuja ei siis automaattisesti laske komponentin sisälle mahtuvaa tai tarvittavaa ankkurointia, vaan käyttäjä syöttää valintakenttään välien määrän sekä halutun jaon eli Exact Spacingin, esimerkiksi 9*300, jolloin komponentti luo 10 kappaletta ankkureita 300 millimetrin jaolla.

Vaarnatappiliitos-komponenttiin tehtiin muuttuja, jolla käyttäjä voi valita mille pilarin sivuille tapitus luodaan. Tämä siitä syystä, että voi tulla tapauksia, joissa pilaria vahvistetaan vain kolmelta sivulta, jos pilari on esimerkiksi yhdeltä sivulta seinässä kiinni.



Kuva 13. Vaarnatappiliitoksen asetustiedosto

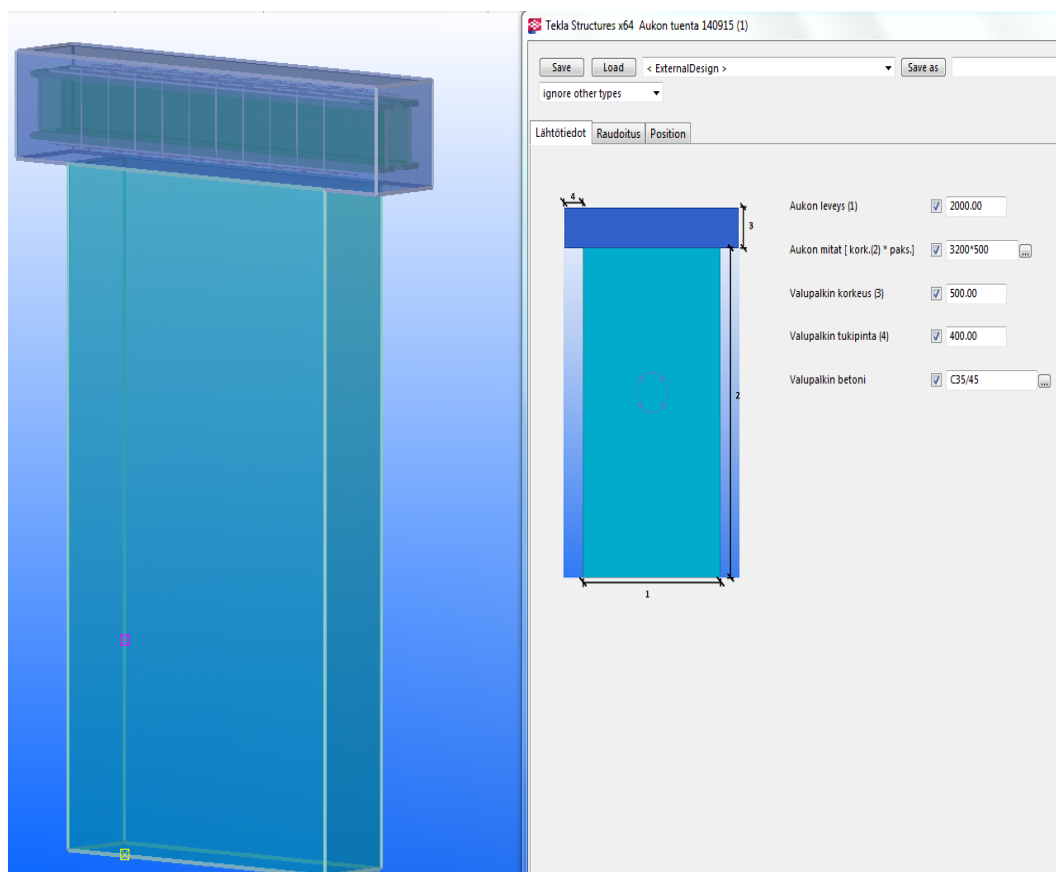
7.3 Aukon vahvistus

Aukon vahvistus-komponentti päätettiin toteuttaa kahtena erillisenä komponenttina, joista toinen on tarkoitettu paksujen ja kantavien seinärakenteiden aukkojen vahvistuksen mallintamiseen. Tämän komponentin avulla voidaan mallintaa seinärakenteen sisälle betonoitavia I-, H- tai U-profiilisia teräspalkkeja raudoituksineen. Toinen komponentti on tarkoitettu ohuiden ja ei-kantavien seinärakenteiden aukkojen vahvistuksen mallintamiseen. Sillä voidaan mallintaa uraamalla seinään asennettavia L-profiilisia vahvistusteräksiä. Komponentit toteutettiin tilaajayritykseltä saatujen kantavien ja ei-kantavien tiiliseinien vahvistusdetaljeihin pohjautuen, mutta niitä voidaan kuitenkin käyttää kaikkien kiviaineisten seinärakenteiden aukkojen vahvistuksen mallintamiseen.

7.3.1 Aukon vahvistus paksussa seinärakenteessa

Paksun seinärakenteen aukon vahvistus-komponentti koostuu neljästä eri osasta: aukosta, vahvistusteräksistä ja niitä ympäröivistä raudoitteista sekä valupalkista. Ensimmäisenä komponenttiin luotiin aukko-osa, jolla määritetään uuden tai laajennettavan aukon avoimeksi jäävän osan koko. Tämä osa ei määritä aukon yläpuolisille vahvistuksille tarvittavia tiloja tai aukotuksia, vaan ne määrittyvät muiden komponentin osien mukaan. Aukko-osa toteutettiin seinänä, mutta se tyypitettiin eli classattiin objektin asetusken- tässä reiäksi, joten tämä osa näkyy tietomallissa ja siitä saatavissa piirustuksissa sekä luetteloinneissa reikänä. Tähän osaan tarvittiin ainoastaan muuttujat, joiden avulla aukon kokoa muokataan. Mitat tehtiin kahtena erillisenä muuttujana. Ensimmäisellä muuttujalla valitaan aukon korkeus ja syvyys eli aukotettavan seinärakenteen paksuus. Toisen muuttujan avulla määritellään aukon leveys. Mittamuuttujat tehtiin kahtena erillisenä, koska komponentin muut osat sekä osa kaavoista ja muuttujista on sidottu aukon leveyteen, niin sen katsottiin olevan komponentin muuttujien luonnin kannalta järkevämpää. Aukon luonnin jälkeen komponenttiin luotiin valupalkkiosa. Valupalkki on paikalla valet- tava betonipalkki, joka suojaa tai peittää vahvistusteräksät sekä niiden raudoitukset. Yh- dessä vahvistusterästen kanssa osat muodostavat teräsbetonisen vahvistuspalkin, jonka kautta aukon kohdalle tulevat kuormitukset siirtyvät seinärakenteelle. Vahvistuste- räksät on myös mahdollista jättää näkyville ja suojata tai pinnoittaa muillakin tavoilla, esimerkiksi maalaamalla, mutta tässä työssä käsiteltiin vain seinärakenteen sisälle be- tonoitavia vahvistuspalkkeja.

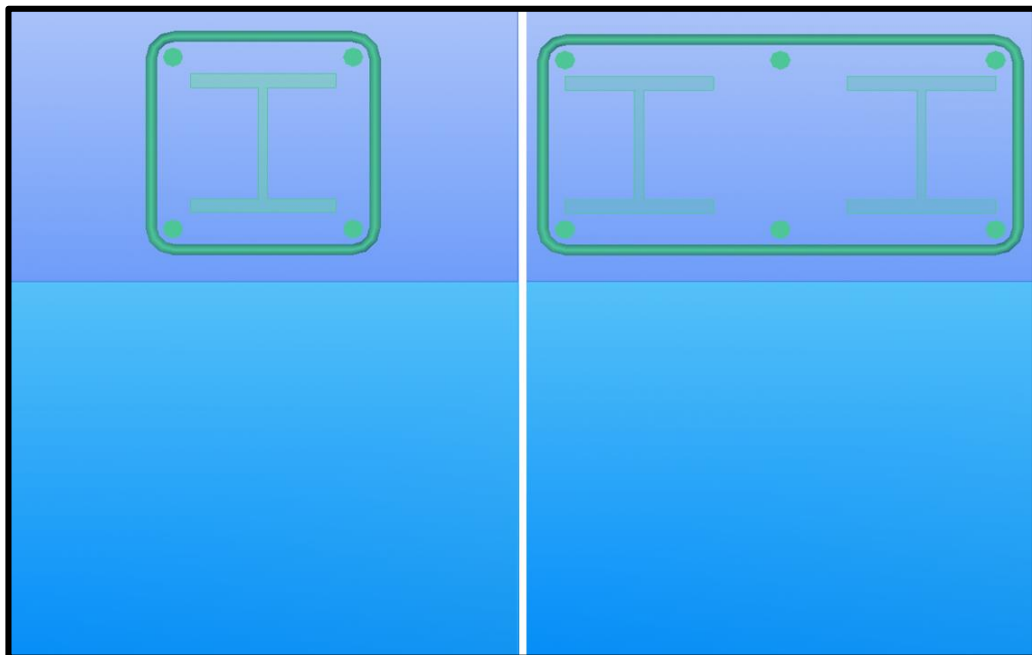
Valupalkkiosa luotiin palkki-työkalulla betonipalkkina. Valupalkki oli tehtävä ennen vahvistusteräksiä, sillä sen mukaan määrittyy koko vahvistuspalkin ulkomitat. Valupalkin alareunan handle-pisteet on sidottu aukko-osan yläreunan handle-pisteisiin, jotta palkki liikkuu aukon kokoa muutettaessa. Palkin pituus määräytyy aukon leveyden sekä tarvittavien tukipintojen mukaan, jotka käyttäjä voi vapaasti määrittää. Palkin leveys määräytyy aukotettavan seinän paksuuden mukaan. Valupalkin muita muokattavia ominaisuuksia ovat palkin korkeus sekä betonin lujuus.



Kuva 14. Betoniosat ja asetusdialogi

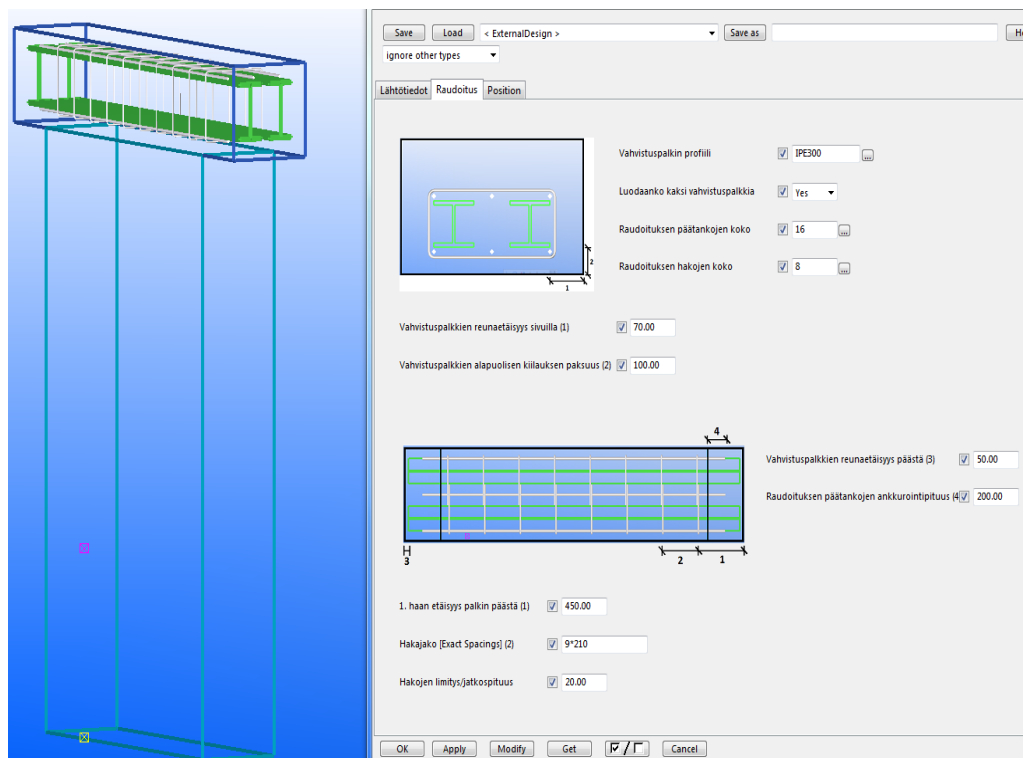
Vahvistusteräksillä tarkoitetaan tässä aukotettavan seinärakenteen sisälle asennettavia teräspalkkeja, jotka yleisimmin ovat I-, H- tai U-profiilisia teräspalkkeja. Valupalkin luonnin jälkeen komponentin tekoa jatkettiin luomalla valupalkin sisälle kaksi erillistä H-profiilista vahvistusterästä. Vahvistusteräksille tehtiin muuttuja, joiden avulla käyttäjä voi määrittellä luodaanko aukon ylitykseen yksi vai kaksi vahvistusterästä. Lisäksi muuttujaan lisättiin kaavan avulla ehto, että mikäli valupalkin leveys, toisin sanoen seinän paksuus, on pienempi kuin kahden teräspalkin yhteenlaskettu leveys, jättää se automaattisesti toisen palkin luomatta. Tämän ehdon avulla pyritään estämään, ettei käyttäjä vahingossa luo seinään liian leveitä vahvistuspalkkeja.

Ehto ei kuitenkaan ota huomioon sitä, mikäli yksittäinen vahvistuspalkki on leveämpi kuin valupalkki, vaan käyttäjän täytyy huomioida tämä vahvistuspalkkia määrittäessä. Korkeussuunnassa samanlaista rajoitusta tai ehtoa ei ole tehty, joten käyttäjän täytyy tarkistaa, että valittu vahvistuspalkki reunaetäisyyksineen mahtuu pystysuunnassa valupalkin sisälle. Vahvistusterästen etäisyysmuuttujien teko aloitettiin luomalla muuttujat, joilla määritetään vahvistusterästen reunaetäisyys eli betonipeite kyljissä ja päädyissä. Tämä toteutettiin sitomalla vahvistusterästen handle-pisteet seinän paksuuden ja pituuden suunnissa valupalkin ulkoreunoihin. Tähän etäisyysmuuttujaan lisättiin ominaisuus, joka asettaa vahvistuspalkin automaattisesti valupalkin sisään keskeisesti, jos vahvistuspalkkeja on vain yksi kappale. Alapinnan reunaetäisyyden eli betonipeitteen määrittävä etäisyysmuuttuja toteutettiin sitomalla vahvistusterästen handle-pisteet valupalkin alapintaan. Näiden etäisyysmuuttujien nimellisarvoja voidaan vapaasti muokata asetusdialogissa. Käyttäjän täytyy huomioida reunaetäisyyksiä määrittäessä, että reunaetäisyys lasketaan vahvistuspalkin ulkoreunoista, eikä se huomioi sitä ympäröiviä raudoitteita, eli käyttäjän täytyy tarkistaa, että vahvistuspalkkia ympäröivät raudoitteet jäävät valupalkin sisäpuolelle. Vahvistusteräksiä ei asenneta seinärakenteen sisään yksinään, vaan ne ympäröidään vielä erillisellä raudoituksella ja haoituksella. Vahvistusterästen raudoitukset on toteutettu raudoitus-työkalulla yksittäisinä raudoitustankoina, jotka on sijoitettu vahvistuspalkin nurkkiin. Raudoitukseen luotiin lisäksi muuttuja, joka luo automaattisesti yhden lisäraudoitetangon valupalkin keskelle vahvistuspalkkien ylä- ja alapuolelle, mikäli vahvistuspalkkeja luodaan kaksi.



Kuva 15. Vahvistuspalkkien raudoitusjärjestelyt, kun palkkeja on 1 tai 2.

Vahvistusterästen raudoitusten pituussuuntaiset mitat on sidottu aukon ulkoreunoihin ja siihen on luotu etäisyysmuuttuja, jonka avulla käyttäjä voi asetusdialogissa valita tankojen ankkurointipituuden eli tuelle menevän osuuden pituuden. Sekä pääraudoitetangot että hakaraudoitteet on sidottu vahvistuspalkkeihin siten, että niiden etäisyys vahvistuspalkkeihin pysyy vakiona eli ne liikkuvat vahvistuspalkkien mukana. Näin ollen niiden reunaetäisyyttä valupalkkiin nähden ei voida erikseen muuttaa, vaan se määräytyy vahvistuspalkkien reunaetäisyyden mukaan. Hakaraudoitteet toteutettiin kahtena erillisenä raudoiteryhmänä, koska ne haluttiin saada U:n mallisina, kuten manttelointi-komponenttissakin. Hakajakomuuttuja tehtiin tässä komponentissa samalla periaatteella kuin ankkurijako vaarnatappiliitos-komponentissa eli käyttäjä valitsee tarvittavan reunaetäisyyden valupalkin oikeasta päästä, jonka jälkeen käyttäjän täytyy itse laskea sopiva ankkurijako sekä niiden lukumäärä ja varmistaa, että ne mahtuvat valupalkin sisälle. Tämä muuttuja ei siis automaattisesti laske komponentin sisälle mahtuvaa tai tarvittavaa ankkurointia, vaan käyttäjä syöttää valintakenttään välien määrän sekä halutun jaon eli Exact Spacingin, esimerkiksi 9*150, jolloin komponentti luo 10 kappaletta hakoja 150 millimetrin jaolla. Koska hakaraudoitteet toteutettiin U:n mallisina luotiin niille vielä muuttuja, jonka avulla palkin eripuolella olevien hakojen välille tarvittavaa limitystä voidaan muokata asetusdialogissa. Lopuksi komponenttiin luotiin vielä muuttujat, joiden avulla vahvistuspalkkien, pääraudoitustankojen sekä hakaraudoitteiden kokoa ja profiilia voidaan muuttaa.



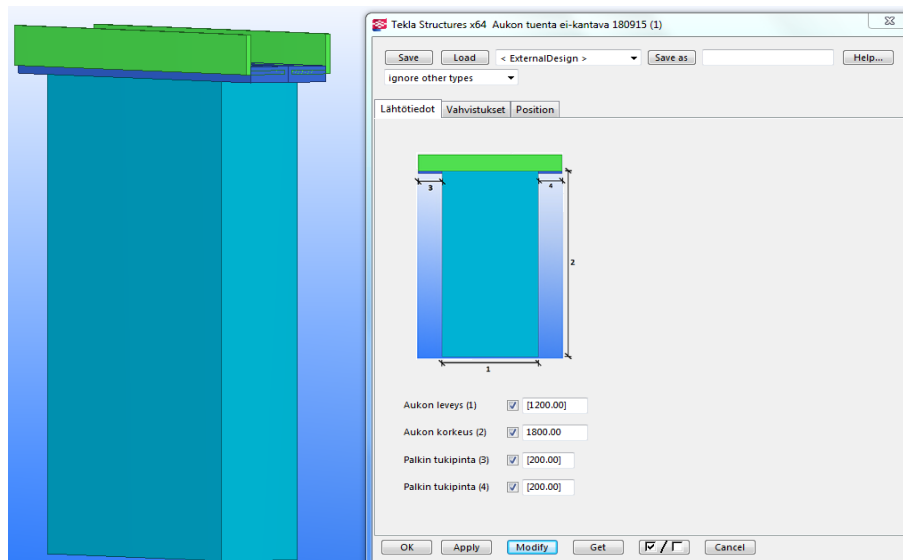
Kuva 16. Vahvistuspalkit, raudoitteet sekä asetusdialogi

7.3.2 Aukon vahvistus ohuessa seinärakenteessa

Ohuen seinärakenteen aukon vahvistus-komponentti on toimintaperiaatteeltaan ja muuttujiltaan hyvin samanlainen kuin edellä kuvattu paksujen seinärakenteiden komponentti. Komponentit eroavat toisistaan siinä, että ohuen seinärakenteen vahvistus on toteutettu L-profiilisilla teräspalkeilla. Lisäksi erottavana tekijänä on se, ettei komponentti mene kokonaan seinärakenteen sisälle, vaan toinen L-profiilin laipoista jää tässä komponentissa seinän ulkopuolelle. Laippa voidaan käytännössä sitten peittää tai suojata esimerkiksi rappaamalla tai muulla vastaavalla tavalla. Tällainen L-profiililla toteutettava vahvistus voitaisiin myös asentaa kokonaan seinärakenteen sisään, mutta tässä työssä vahvistus toteutettiin vain osittain seinärakenteen sisälle menevänä.

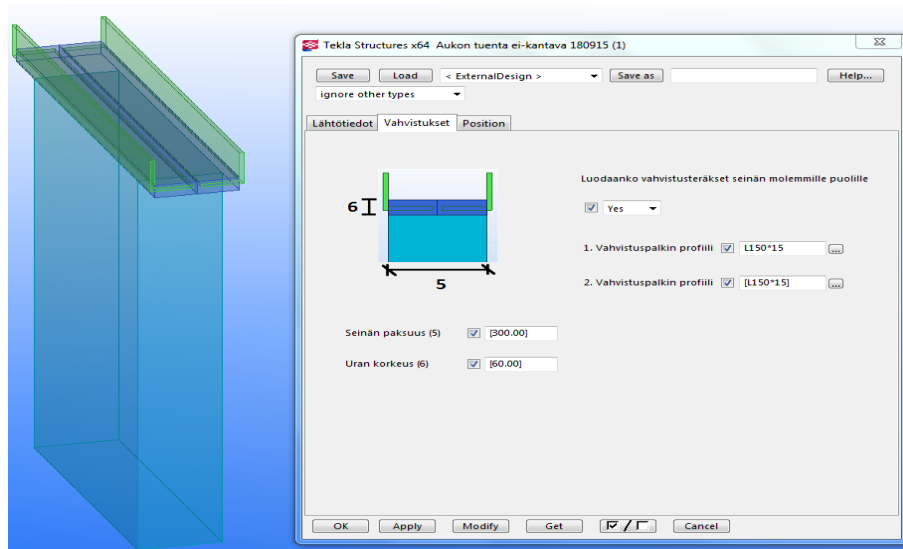
Komponentti koostuu kolmesta osasta: aukosta, urauksista sekä vahvistusteräksistä. Aukko toteutettiin samalla tavalla kuin kantavan seinärakenteen komponentissakin eli aukko-osa toteutettiin seinänä, mutta tyypitettiin eli classattiin objektin asetuskentässä reiäksi, joten tämä osa näkyy tietomallissa ja siitä saatavissa piirustuksissa sekä luetteloinneissa reikänä. Aukko-osa ei tässäkään komponentissa määritä aukon yläpuolisille vahvistuksille tarvittavia tiloja tai aukotuksia, vaan ne määrittyvät seuraavien komponenttien osien mukaan. Myös tässä komponentissa aukon mitat tehtiin kahtena erillisenä muuttujana. Ensimmäisellä muuttujalla valitaan aukon korkeus ja syvyys eli toisin sanoen aukotettavan seinärakenteen paksuus. Toisen muuttujan avulla määritellään aukon leveys. Mitat päätettiin tässäkin komponentissa kahtena erillisenä muuttujana, koska sen katsottiin olevan komponentin muuttujien luonnin kannalta järkevämpää.

Aukko-osan jälkeen komponenttiin luotiin vahvistusteräksille tarvittavat uraukset. Urat toteutettiin palkki-työkälulla betonipalkkina. Urat tehtiin betonipalkkina, koska sen jälkeen, kun L-profiilit on asennettu ja kiilattu paikoilleen, urat täytetään soveltuvalla laastilla. Tämän jälkeen osat toimivat yhdessä teräsbetonisen palkin omaisesti. Uraukset luotiin komponenttiin ennen vahvistusteräksiä, koska urien avulla määritetään koko vahvistuspalkin ulko- sekä tukipintojen mitat, ja lisäksi komponentin vahvistusterästen handle-pisteet on sidottu urien päätepisteisiin. Urien alareunan handle-pisteet on sidottu aukko-osan yläreunan handle-pisteisiin siten, että urat alkavat aina aukon yläpinnasta. Urien syvyysmitta määräytyy automaattisesti valitun L-profiilin laipan syvyyden mukaan, joten käyttäjän tarvitsee määrittää ainoastaan urien korkeus, johon vaikuttaa valitun L-profiilin laipan paksuus sekä kiilauksen paksuus. Urien pituus määräytyy aukon leveyden sekä tarvittavien tukipintojen mukaan, jotka käyttäjä voi vapaasti määrittää asetusdialogissa.



Kuva 17. Aukko ja uraukset sekä asetusdialogi

Vahvistusteräksillä tarkoitetaan tässä komponentissa seinärakenteeseen uraamalla asennettavia L-profiilisiä teräspalkkeja. Vahvistusterästen tekeminen aloitettiin luomalla aukko-osan yläpuolelle seinän molemmille puolille kaksi erillistä L-profiilistä vahvistusterästä. Profiileille luotiin muuttuja, jonka avulla käyttäjä voi määrittellä luodaanko vahvistusteräkset aukon ylitykseen molemmille puolille. Lisäksi muuttujaan lisättiin kaavan avulla ehto, että mikäli seinärakenteen sisälle menevien laippojen yhteenlaskettu leveys on suurempi kuin seinärakenteen paksuus, jättää komponentti automaattisesti toisen palkin luomatta. Tämän ehdon avulla pyritään estämään, ettei käyttäjä vahingossa luo seinään liian leveitä vahvistusteräksiä. Pystysuunnassa ehtoja tai rajoituksia ei tehty, joten käyttäjän täytyy tarkistaa, että valittu vahvistusteräs kiilauksineen mahtuu urauksien sisälle.



Kuva 18. Vahvistusteräkset sekä asetusdialogi

Komponentin vahvistusterästen etäisyysmuuttajat luotiin siten, että vahvistusterästen pituus muodostuu aukon leveydestä ja käyttäjän asetusdialogilla määrittelemistä tarvittavista tukipinnoista. Tämä toteutettiin sitomalla vahvistusterästen handle-pisteet vaakasuunnassa aukon ulkoreunoihin ja lisäämällä tähän kaava, jonka avulla vahvistuspalkin mitta muuttuu tarvittavan tukipinnan arvoa muuttamalla. Eli mikäli vahvistusteräksen tukipinnan nimellisarvoksi syötetään 0, on vahvistusteräs aukon pituinen. Positiivisilla arvoilla vahvistusteräs kasvaa aukkoa leveämmäksi ja vastavuoroisesti negatiivisillä arvoilla aukkoa kapeammaksi. Seinän paksuuden suunnassa vahvistusterästen handle-pisteet sidottiin uraukseen siten, että L-profiilin korkeussuuntaisen laipan sisäpinta on aina seinäpintaa vasten. Tämä toteutettiin tekemällä kaava, joka laskee automaattisesti pystysuuntaisen laipan etäisyyden seinäpinnasta vaakasuuntaisen laipan pituuden sekä laipan paksuuden mukaan. Eli jos käyttäjä muuttaa L-profiilia asetusdialogissa, sijoittaa komponentti L-profiilin seinän paksuuden suunnassa automaattisesti siten, että pystysuuntaisen laipan sisäpinta on seinää vasten. Pystysuunnassa vahvistusterästen alapinta sidottiin uran alareunaan ja siihen luotiin kaavan avulla muuttuja, että kun käyttäjä valitsee asetusdialogilla vahvistusteräksen alapuolisen kiillauksen paksuuden, siirtää komponentti automaattisesti vahvistusteräksiä ylöspäin. Tämä muuttuja ei automaattisesti laske kuinka korkean kiillauksen käyttäjä voi vahvistusterästen alle valita, vaan käyttäjän täytyy itse tarkistaa, että valitut kiillaukset mahtuvat urauksien sisälle.

8 LOPPUPÄÄTELMÄT / POHDINTAA

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin yleisellä tasolla tietomallintamista ja sen tarjoamia hyötyjä ja haasteita. Lisäksi vertailtiin perinteisen suunnittelun ja tietomallintamisen suunnitteluprosessien merkittävimpiä eroavaisuuksia. Viimeisimpänä osiona työssä tutkittiin projektin alussa määriteltyjä korjausrakentamisessa yleisesti käytössä olevia rakenneratkaisuja. Näiden tutkimusten pohjalta luotiin sovitusta rakenteista komponentit Tekla Structures -ohjelmistoon.

Tutkimusten perustella voidaan todeta, että tietomallintamisen tarjoamat hyödyt ovat varmasti suurempia kuin siitä aiheutuvat haitat tai ongelmat. Sen potentiaali ja sen tarjoamat mahdollisuudet on havaittu myös markkinoilla. Yritykset, niin tilaaja, suunnittelija kuin urakoitsija puolella, ovat investoineet ja olleet aktiivisesti mukana tietomallintamisen tutkimisessa ja kehittämisessä. Vaikka tietomallintaminen onkin kehittynyt huomattavasti ja osaaminen sen saralla on laajentunut viimeisen 10 vuoden aikana merkittävästi, ei se silti ole vielä siinä pisteessä, että se olisi suunnittelun lähtökohta, ainakaan korjausrakentamisessa. Lähes poikkeuksetta silloin, kun joudutaan tekemään asioita uudella tai rutiineista poikkeavalla tavalla, kuluu siihen ainakin alkuvaiheessa enemmän aikaa ja resursseja. Tämä aiheuttaa lähes automaattisesti lisää kustannuksia, joita kukaan ei mielellään hankkeeseensa halua, mikäli niistä ei koeta saatavan riittävästi hyötyä kustannuksiinsa nähden. Korjausrakentamishankkeissa hankkeen luonne ja sisältö määrittävät paljolti sen kenen kannalta tietomallintaminen on hyödyllistä ja ketkä kokevat joutuvansa näkemään suuren vaivan työstä, joka perinteisellä tavalla suunniteltuna olisi yksikertainen ja helppo työ. Suunnitteluprosessit perinteisin menetelmin tehtävän ja tietomallinnettavan hankkeen välillä eivät tutkimusten perusteella paljon poikkeaa toisistaan. Oikeastaan suunnittelun eri vaiheille olevat nimitykset muuttuvat suunnittelutavan mukaiseksi, mutta sisältö näillä vaiheilla on kuitenkin lähes sama. Suunnittelutavan valinta vaikuttaa enemmän suunnittelutyön aikataulutukseen ja ajoitukseen. Tietomallinnusta käytettäessä suunnittelutyön painopiste siirtyy entistä voimakkaammin hankkeen alkuvaiheeseen ja työnaikaisen suunnittelutyön määrä vähenee. Tämä johtuu tietomallinnuksessa tarvittavien lähtötietojen määrästä.

Ajatellaan esimerkiksi vaikka toimistorakennuksen taloteknistä perusparannusta, jossa rakennustekniset muutokset koskevat pääasiassa pintarakenteita. Tällaisessa hankkeessa talotekniset suunnittelijat, eli LVI-, sähkö- ja automaatio suunnittelijat, hyötyisivät olennaisesti tietomallin käytöstä, koska suurin osa muutoksista ja tarkasteluista kohdistuisi tämän tyyppisessä hankkeessa heidän suunnitelmiinsa ja tietomallin avulla näiden muutosten teko ja vertailu helpottuisi. Lisäksi on todennäköistä, että tilaajakin olisi tietomallintamisen kannalla, sillä tietomallia voidaan rakennusvaiheen jälkeen hyödyntää rakennuksen käytön ja ylläpidon työvälineenä. Jos tällaista hanketta tarkastellaan rakennesuunnittelun näkökulmasta, ei tietomallintaminen tuottaisi heille juurikaan lisäarvoa, vaan se todennäköisesti vain lisäisi heidän työmääräänsä. Heidän olisi päivitettävä tietomallia aina, kun talotekniset suunnittelijat tekevät malliin muutoksia, muuttavat esimerkiksi reitityksiään tai laitteidensa kokoja. Olisi jopa mahdollista, että rakennesuunnittelijat joutuisivat mallintamaan rakennuksen osia, joihin heidän suunnittelualansa töitä ei edes kohdistu.

Toisena esimerkkinä voidaan ajatella laajaa ja rakenteeltaan haastavaa julkisivusaneerausta, esimerkiksi lasijulkisivua, jotka vaativat erityisen tarkkaa mitoitusta. Tällaisessa hankkeessa rakennesuunnittelu olisi hankkeen osapuolista se, joka tietomallintamisesta eniten hyötyisi, koska tietomallista saataisiin heidän suunnitteluunsa mittatiedot ja todennäköisesti tietomallia voitaisiin käyttää hyödyksi myös rakenteiden mitoituksessa ja erilaisten toteutustapojen vertailussa. Talotekniset suunnittelijat eivät tämän tyyppisissä hankkeissa hyödy tietomallintamisesta todennäköisesti juuri ollenkaan. Tästä johtuen on tärkeää, että erityisesti korjausrakentamishankkeita tietomallinnettaessa ajatellaan hanketta kokonaisuutena, ja kuinka siitä saataisiin hankkeen kaikille osapuolille mahdollisimman paljon hyötyä. Kuitenkin siten, ettei kenenkään hankkeen osapuolista tarvitse tehdä työtä, joka ei hyödytä tai vaikuta kenenkään muun työhön tai työn lopputulokseen.

Näiden rajojen vetäminen ja hyötyjen ja haittojen arvioiminen on erittäin haastavaa. Ja niitä tehtäessä ja arvioitaessa törmätään varmasti ristiriitoihin ja erimielisyyksiin, jotka osaltaan varmasti vaikuttavat asennoitumiseen tietomallintamista kohtaan. Tässä työssä ei ollut tarkoitus saada vastausta tai selvittää perusteluita siihen milloin, missä laajuudessa ja kenen kannalta tietomallin käyttäminen olisi hyödyllistä ja kannattavaa. Työssä sen sijaan tutkittiin ja löydettiin hyötyihin ja haasteisiin sekä rajojen vetoihin vaikuttavia tekijöitä. Nämä tekijät huomioon ottamalla voidaan tietomallintamiseen liittyvää päätöksen tekoa helpottaa.

Työn laajempaan osana oli tutkia korjausrakentamisessa yleisesti käytössä olevia erikoisrakenteita ja luoda niistä tutkimusten perusteella Tekla Structures -ohjelmistoon niin sanotut Custom Componentit. Työn tuloksena saatiin luotua komponentit manttelointi- sekä aukon vahvistusrakenteista. Uudet komponentit on toteutettu siten, että ne soveltuvat hyvin yleisimpien tapauksien mallintamiseen, mutta niitä voidaan käyttää pohjana tai niiden toimintaperiaatteita voidaan soveltaa myös erikoisemmissä tapauksissa. Siitä huolimatta, että komponentit onkin tehty tietyistä rakenteista, on työssä kuitenkin käyty komponenttien luontiprosessi melko kattavasti läpi ja prosessin eri vaiheet on avattu ja selostettu. Työssä olevia ohjeita voidaan näin ollen hyödyntää tai käyttää esimerkkinä Custom Componentien käyttöä aloiteltaessa.

Lähteet

- 1 Eastman, Chuck. Teicholz, Paul. Sacks, Rafael. Kathleen Liston. 2011. BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Second Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- 2 Niemioja, Seppo. ym. 2005. Arkkitehdin tuotemallisuunnittelu. Yleiset perusteet ja ohjeita. [PDF-dokumentti, viitattu 11.3.2013]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>.
- 3 Karstila, Kari. Serén, Kalle. 2005. Tiedonsiirron käyttötapaus: Rakennussuunnittelu -> Rakennesuunnittelu. [PDF-dokumentti, viitattu 10.3.2013]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>.
- 4 Romo, Ilkka. ym. 2004. Tuotemallinnus rakennesuunnittelussa. Perusteet ja ohjeita. [PDF-dokumentti, viitattu 10.3.2013]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>.
- 5 Rakennustietosäätiö RTS. ym. 2012. RT 10-11066 Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 1. Yleinen osuus.
- 6 Rakennustietosäätiö RTS. ym. 2012. RT 10-11067 Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 2. Lähtötilanteen mallinnus.
- 7 Rakennustietosäätiö RTS. ym. 2012. RT 10-11068 Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 3. Arkkitehtisuunnittelu.
- 8 Rakennustietosäätiö RTS. ym. 2012. RT 10-11070 Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 5. Rakennesuunnittelu.
- 9 Suomen Konsulttitoimistojenliitto SKOL ry. ym. 1995. RT 10-10577 Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo. RAK 95.
- 10 Vainio, Terttu. ym. 2000. Korjausrakentaminen 2000-2010 (REMO 2000). [PDF-dokumentti, viitattu 26.4.2013]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2154.pdf>.
- 11 Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. Asunnot (lkm) talotyypin, käytössäolon ja rakennusvuoden mukaan 31.12.2014. [Excel-taulukko, viitattu 22.8.2015]. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_asu_asas/050_asas_tau_105.px/?rxid=528dbb2f-7325-4ebf-98c5-de6bda50a837
- 12 Rakennusteollisuus RT Ry. 2011-2014. Suhdanekatsaukset 2011-2014. [PDF-dokumentti, viitattu 22.8.2015]. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoalasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Suhdanekatsaukset/>

- 13 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. ROTI 2013, Rakennetun omaisuuden Tila 2013. [PDF-dokumentti, viitattu 23.8.2015]. Saatavissa: <http://www.roti.fi/fin/roti/materiaalipankki/>
- 14 Holmajoki, Olavi. 2013. Korjausrakentaminen Suomessa Rakennustekniset kustannukset. Verkkokirja. Työterveyslaitos [PDF-dokumentti, viitattu 27.8.2015]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-253-3>
- 15 Rahikka, Asko. ym. 1988. RIL 174-4 Korjausrakentaminen IV, Runkorakenteet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 16 Ruotsalainen, Tarja. *Korjauskohteen inventointimallin laatiminen*. Insinööriyö. Savonia AMK: Rakennustekniikan osasto, Rakennus- ja tuotesuunnittelu. 2011.
- 17 Haavisto, Ilkka. *Tietomallintamien korjausrakentamisen rakennesuunnittelussa*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos, Rakennesuunnittelu. 2013.
- 18 Tekla Corporation. Verkkosivut. Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>
- 19 Tekla Corporation. *Tekla Structures - Custom Component Guide*. Ohjeisto. 2012.
- 20 Tekla Corporation. *Tekla Structures - Custom Components, Advanced Training Manual*. Ohjeisto. 2011
- 21 Rakennustietosäätiö RTS. ym. 2013. RT 10-11128 Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12.