



BIM integroitu universaaliliitos

Sami Eronen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

ERONEN, SAMI:
BIM integroitu universaaliliitos

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2019

Tässä opinnäytetyössä integroitiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n käytössä olevan universaaliliitoksen mitoittavan Excel -laskentapohjan Tekla Structures -tietomalliohjelmaan. Työssä perehdyttiin laskentapohjaan tehtäviin toimenpiteisiin, jotta laskentapohjan integrointi onnistuu.

Teräsrakenteiden liitosten suunnittelussa käytetään nykyisin 3D-tietomallia, joka voidaan tehdä esimerkiksi Tekla Structures -tietomalliohjelmalla. Tekla Structures ei kuitenkaan pysty mitoittamaan rakenteita ja liitoksia, joten mitoittamiseen on käytettävä toista ohjelmaa esimerkiksi Excel -laskentapohjaa. Tällainen suunnittelukäytäntö sisältää monia virheille alttiita työvaiheita, joiden minimoimiseen laskentapohjan integroinnilla pyritään.

Työn tuloksena on integroitu laskentapohja, joka toimii Tekla Structures -tietomalliohjelman kanssa. Integroitu laskentapohja toimii osittain automaattisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelija joutuu käyttämään sekä Tekla Structures -ohjelmaa, että Excel -laskentapohjaa, jotta liitoksen mitoitus onnistuu. Integroidulla laskentapohjalla eliminoitiin kuitenkin suurimmat riskin sisältävät työvaiheet liitosten suunnittelusta.

Laskentapohjan integrointia on mahdollista kehittää vielä lisää, jotta siitä tulee täysin automaattisesti toimiva mitoitus työkalu. Integroinnin kehittäminen täysin automaattiseksi vaatii ohjelmointia, tässä työssä integroitu laskentapohja sisältää kaikki tarvittavat komennot, jotta sitä voidaan käyttää myös täysin automaattisella menetelmällä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Structural Engineering

ERONEN, SAMI:
BIM Integrated Column Splice Connection

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 2 pages
May 2019

The Purpose of this thesis was to integrate an Excel based column splice connection to the BIM software Tekla Structures. The Excel based column splice connection design program is used by Sweco Rakennetekniikka Oy. Some modifications to the design program are needed before it can be integrated with Tekla Structures. This thesis focused on finding the necessary modifications.

Tekla Structures is used in the design of steel joints, to model structures and joints. Calculations cannot be done with Tekla, so other programs have to be used in the process, such as Microsoft Excel. This type of design procedure includes lot of risk to mistakes. Integrated Excel reduces the chance of human errors in the process.

By BIM integrated Excel sheets, Excel and Tekla may work together without design engineer having to copy information and paste information from one program to another. This eliminates most of the more significant mistakes from designing.

The result of this thesis was a nearly automatically working BIM integrated Excel based column splice connection. The solution can also be used from Excel. The integration could be developed further to gain more advantages, and the Excel based column splice connection design program includes all the data to development.

Key words: BIM, column splice connection, Tekla Structures

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	UNIVERSAALILIITOS	6
2.1	Pilarin universaaliliitos	6
2.2	Kantava pilarin universaaliliitos	7
2.3	Pilarin ei-kantava universaaliliitos	9
2.4	Pilarin universaaliliitoksen käyttökohteet.....	10
3	EXCEL LASKENTAPOHJAN KÄYTTÖTAVAT MITOITUKSESSA	11
3.1	Manuaalinen liitosten mitoitus	11
3.2	Integroidulla laskentapohjalla liitosten mitoittaminen.....	13
3.2.1	Mitoitus Teklassa	13
3.2.2	Mitoitus Excelissä	16
4	TIEDONSIIRTO INTEGROIDULLA LASKENTAPOHJALLA.....	19
4.1	Tiedonsiirto Teklasta laskentapohjaan	19
4.2	Tiedonsiirto laskentapohjasta Teklaan	21
5	UNIVERSAALILIITOKSEN LASKENTAPOHJAN INTEGROIMINEN ..	24
6	LIITOKSEN RAPORTTI	35
7	ESIMERKKIMITOITUKSET	38
7.1	Integroidulla laskentapohjalla mitoitus.....	39
7.2	Manuaalinen mitoitus	44
7.3	Yhteenveto mitoituksista	47
8	POHDINTA	48
	LÄHTEET	49
	LIITTEET.....	50
	Liite 1. Raportti.....	50

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on integroida pilareiden universaaliliitoksen mitoittava Microsoft Excel -laskentapohja Tekla Structures -tietomalliohjelmaan. Integroidun laskentapohjan avulla on tarkoitus mitoittaa universaaliliitos ja tulostaa automaattisesti loppuraportti mitoitetusta liitoksesta. Tästä eteenpäin puhutaan Tekla Structures -tietomalliohjelmasta lyhennetyksi Teklana ja Microsoft Excel -laskentapohjasta laskentapohjana. Integroitava laskentapohja on Sweco Rakennetekniikka Oy:n käytössä.

Teräsrakenteiden suunnittelussa käytetään nykyisin 3D-tietomalleja (Building Information Model, BIM) rakenteiden ja liitosten suunnittelussa. 3D-mallinnus tehdään esimerkiksi Teklalla. Tietomalli sisältää lähtökohtaisesti kaiken suunnittelussa tarvittavan tiedon, mutta esimerkiksi Teklalla ei voi mitoittaa rakenteita tai liitoksia. Mitoitukseen joudutaan tästä syystä käyttämään muita ohjelmia kuten esimerkiksi Excel -laskentapohjia. Tällä tavoin suunnitteluun syntyy kaksi erillistä työvaihetta, mitoitus ja mallinnus, joiden tulisi lopputuloksena vastata täydellisesti toisiaan. Ilman integroitua laskentapohjaa mitoitetun liitoksen lopputuloksena tehty malli ja niiden vastaavuus on kokonaan suunnittelijan manuaalisen tiedonsiirron varassa. Manuaalisessa tiedonsiirrossa on aina mahdollisuus inhimillisiin virheisiin, minkä lisäksi manuaalisesti tehtävä tiedonsiirto ohjelmasta toiseen aiheuttaa ylimääräisiä työvaiheita.

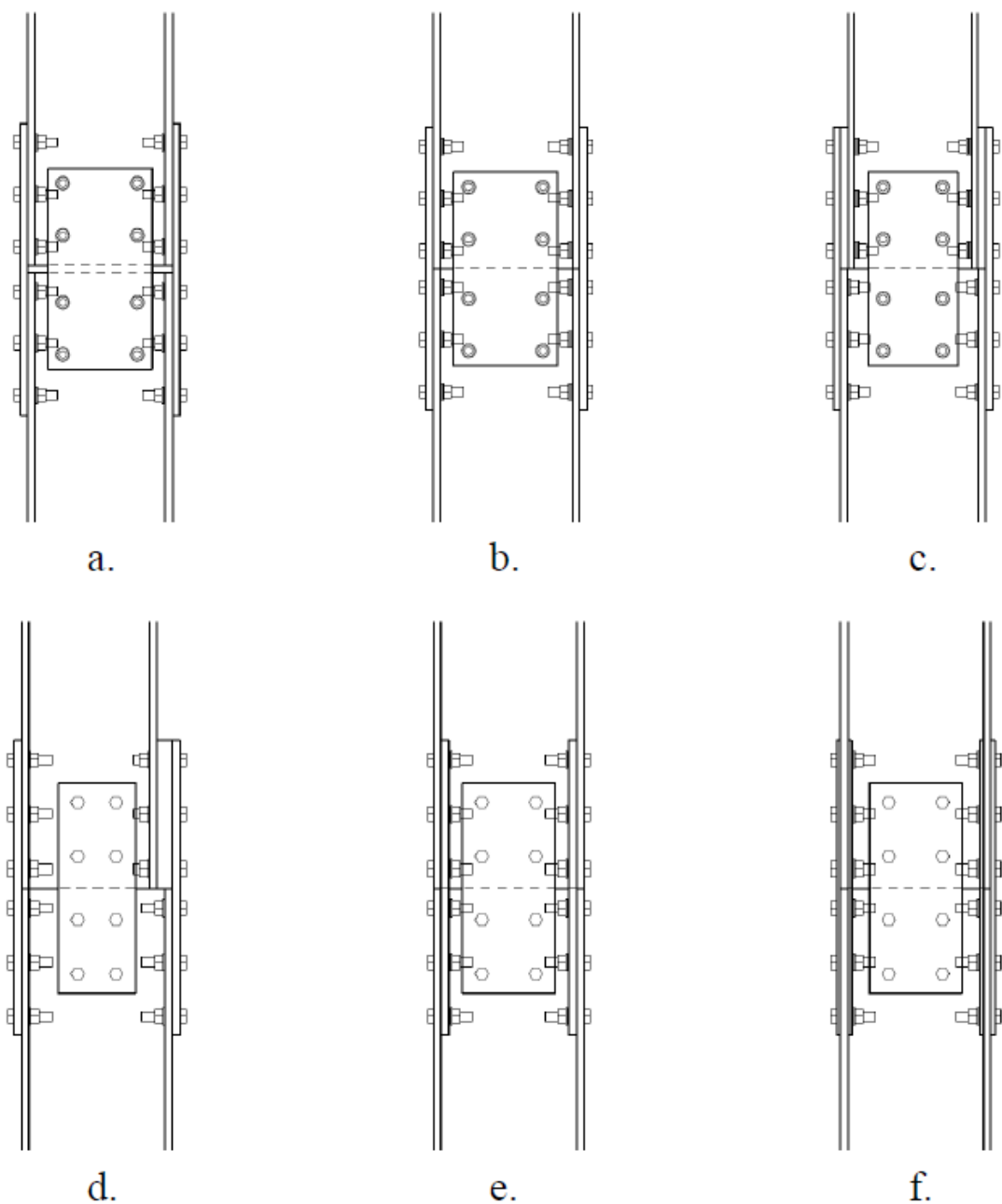
Laskentapohjan integroinnilla Teklaan pyritään automatisoimaan liitosten suunnittelun työvaiheita. Integroinnin avulla pystytään siirtämään automaattisesti tietoa Teklasta laskentapohjaan ja laskentapohjasta Teklaan. Tällä tavoin integroinnilla pystytään poistamaan manuaalisen tiedonsiirron aiheuttamia ylimääräisiä työvaiheita ja minimoimaan tiedonsiirrossa tapahtuvat virheet.

Tämä työ rajataan koskemaan vain pilareiden universaaliliitoksia ja pilareiden universaaliliitosten mitoitusta varten Sweco Rakennetekniikka Oy:lle tehtyä laskentapohjaa. Tässä työssä ei käsitellä liitoksen mitoitukseen liittyviä asioita, eikä integroinnin vaatimaa ohjelmointia.

2 UNIVERSAALILIITOS

2.1 Pilarin universaaliliitos

Universaaliliitokseksi kutsutaan I- ja H -profiilisten pilareiden jatkosliitoksia. Pilarin universaaliliitos toteutetaan jatkoslevyin ja pultein. Tyypillisesti jatkoslevyjä käytetään laippojen ulkopinnoissa sekä uuman molemmin puolin. Myös laippojen sisäpinnoissa on mahdollista käyttää jatkoslevyjä. Kuvassa 1 on esitetty pilarin universaaliliitoksen erilaisia toteutustapoja.



Kuva 1. Pilarien erilaisia universaaliliitoksia (Satamo, 2017, 4)

Mikäli liitoksessa käytettävien pilarien profiilien poikkileikkauksien pituus, uuman paksuus tai laipan paksuus muuttuu, tulee liitoksessa käyttää myös täytelevyjä, joita on käytetty kuvion 1 tapauksissa c. ja d. Täytelevyt estävät pulttien kiristymisen yhteydessä liitoslevyjen taipuman. Mikäli täytelevyjen paksuus on enemmän kuin yksi kolmasosa ruuvin nimellisestä halkaisijasta, tulee se ottaa huomioon ruuvin leikkauskestävyyttä määritettäessä. (SFS EN 1993-1-8, s.26)

Universaaliliitoksen tulee välittää ja kestää liitosalueella vaikuttavat normaalivoimat, leikkausvoimat sekä taivutus- ja vääntömomentit. Yleensä liitos on kuormitettu vain vahvemman akselinsa suuntaan, mutta liitos voi olla myös kuormitettu samaan aikaan molempien akseliensa suhteen. Molempiin suuntiin kuormitetut pilarit ovat esimerkiksi kulmapilareita tai pilareita, joihin liittyy siteitä.

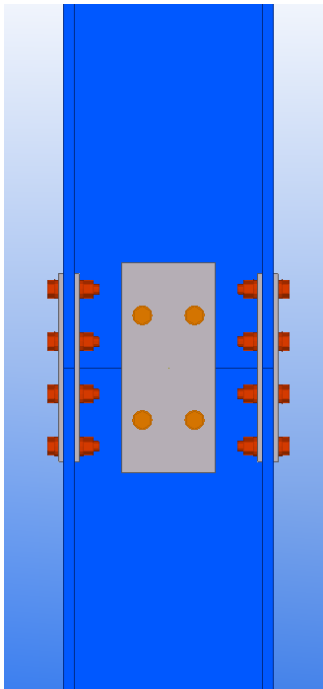
Pilarien universaaliliitokset voidaan toteuttaa joko kantavina tai ei-kantavina. Liitostapojen nimet ovat hieman harhaanjohtavat, koska molemmat liitostavat välittävät kaikki liitosalueella vaikuttavat voimat. Kantavan ja ei-kantavan liitoksen erilainen toteutustapa vaikuttaa voimien välittymiseen liitosalueella pilarilta toiselle.

2.2 Kantava pilarin universaaliliitos

Kantavassa liitoksessa profiilien päät ovat kosketuksissa toistensa kanssa, jolloin osa voimista välittyy suoraan kosketuspaineella profiilien päiden kautta ja osa voimista välittyy jatkoslevyjen ja pulttien välityksellä. Eurokoodissa on annettu vaatimuksia kosketuspaineella valmistetuille liitoksille, joissa käytetään jatkoslevyjä. ”Kun sauvat valmistetaan täydelle kosketuspaineelle, jatkoslevyt suunnitellaan siirtämään vähintään 25 % pilarin suurimmasta puristusvoimasta” (SFS-EN 1993-1-8 2006, 94). Kantava universaaliliitos voidaan toteuttaa kuvan 1 tavoilla b. – f.

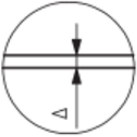
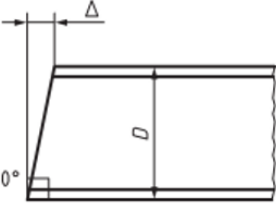
Kun osa voimista välittyy pilarien päiden kautta kosketuspaineella, pienenee jatkoslevyjen ja pulttien kautta välittyvät voimat olennaisesti, jolloin myös jatkoslevyjen ja pulttien koot pienenevät sekä pulttien määrät vähenevät. Kuvassa 2

on esitetty keskeinen pilarin universaaliliitos laippojen ulko- ja sisäpinnan jatkoslevyillä sekä uuman jatkoslevyillä toteutettuna.



Kuva 2. Pilarin universaaliliitos kantavana

Kun kantavassa liitoksessa profiilien päiden kautta välittyvät voimat, asetetaan vaatimuksia profiilien päiden suorudelle ja niiden tulee olla ennalta määrättyjen toleranssien sisällä. Kantavan liitoksen tapauksessa profiilien päiden tulee täyttää kuvion 3 toiminnalliset toleranssirajat. ”Toleranssiluokan 1 arvoja tulee käyttää, ellei toteutuseritelmässä muuta esitetä.” (SFS-EN 1090:2 2018, 80)”

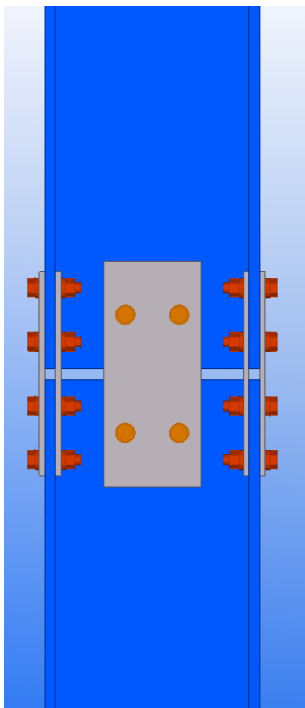
Nro	Poikkeaman tyyppi	Mittauskohde	Toiminnalliset toleranssit ^a	
			Sallittu poikkeama Δ	
			Luokka 1	Luokka 2
5	Täydelle kosketuspaineelle viimeistellyt pinnat: 	Oikolaudan ja pinnan välinen rako Δ : HUOM. Pinnan karheudelle ei esitetä vaatimusta.	$\Delta = 0,5 \text{ mm}$ korkeiden kohtien kohouma ei saa olla suurempi kuin 0,5 mm.	$\Delta = 0,25 \text{ mm}$ korkeiden kohtien kohouma ei saa olla suurempi kuin 0,25 mm.
6	Päiden suorakulmaisuus: 	Suorakulmaisuus pituussuuntaisen akselin suhteen: — päät on tarkoitettu täydelle kosketuspaineelle: — päät ei ole tarkoitettu täydelle kosketuspaineelle:	$\Delta = \pm D/1000$ $\Delta = \pm D/100$	$\Delta = \pm D/1000$ $\Delta = \pm D/300$ mutta $ \Delta \leq 10 \text{ mm}$

Kuvio 3. Kantavan liitoksen profiilien toleranssit (SFS-EN 1090-2:2018, 110).

2.3 Pilarin ei-kantava universaaliliitos

Ei-kantavassa liitoksessa profiilien päiden väliin jätetään rako, jolloin liitoksessa vaikuttavat voimat välittyvät pelkästään jatkoslevyjen ja pulttien kautta. Tästä syystä ei-kantava liitos ei pysty välittämään niin suuria voimia kuin kantava liitostapa. Ei-kantavan liitoksen mitoitus on kuitenkin yksinkertaisempaa kuin kantavan liitoksen, koska voimat välittyvät ainoastaan levyjen ja pulttien kautta, eikä mitoituksessa tarvitse tutkia profiilien päiden kautta välittyvien voimien suuruutta.

Kuvassa 4 on esitetty ei-kantava pilarien universaaliliitos laipan ulko- ja sisäpinnan sekä uuman jatkoslevyillä toteutettuna. Kuvan 1 tavoista ainoastaan tapaus a. voidaan toteuttaa ei-kantavana.



Kuva 4. Pilarin universaaliliitos ei-kantavana

Ei-kantavassa liitoksessa voimat välittyvät liitoslevyille niiden jäykkyyksien suhteessa. Mikäli levyt ovat jäykkyydeltään samoja, jakautuvat voimat levyjen pinta-alojen suhteella. Ei-kantavassa liitoksessa pulttien määrä, pulttien koko tai liitoslevyjen koko tulee usein määrääväksi, jonka takia ei-kantavassa liitoksessa joudutaan käyttämään enemmän pultteja ja suurempia jatkoslevyjä kuin kantavassa liitoksessa.

2.4 Pilarin universaaliliitoksen käyttökohteet

Pilarien universaaliliitoksen yleisimpiä käyttökohteita ovat korkeat rakennukset esimerkiksi voimalaitokset. Universaaliliitosta käytetään korkeiden rakennusten lisäksi jo olemassa olevissa rakennuksissa, joiden runkoa halutaan korottaa.

Jatkosliitoksen käyttäminen korkeissa rakennuksissa on kannattavaa, koska universaaliliitoksella toteutetut pilarijatkokset mahdollistavat sen, että rakennuksessa voidaan käyttää lyhyempiä profiileita. Täysimittaiset pilarit aiheuttavat seuraavia hankaluuksia verrattuna lyhyempiin pilareihin:

- Täysimittaisten profiilien varastointi on hankalampaa
- Täysimittaisten profiilien käsittely on vaikeampaa
- Täysimittaiset pilarit ovat hankalampia kuljettaa työmaalle.

Lyhyempien profiilien lisäksi pilarien universaaliliitoksia on kannattavaa käyttää korkeiden rakennusten jatkosliitoksissa, koska niiden asennus on nopeaa. Kaikki universaaliliitoksessa käytettävät osat tulevat konepajalta työmaalle asennusvalmiina eikä työmaalla tarvitse hitsata enää jatkosliitokseen liittyviä osia kiinni toisiinsa, vaan kaikki asennukset tehdään pelkästään pulttien kiristämällä.

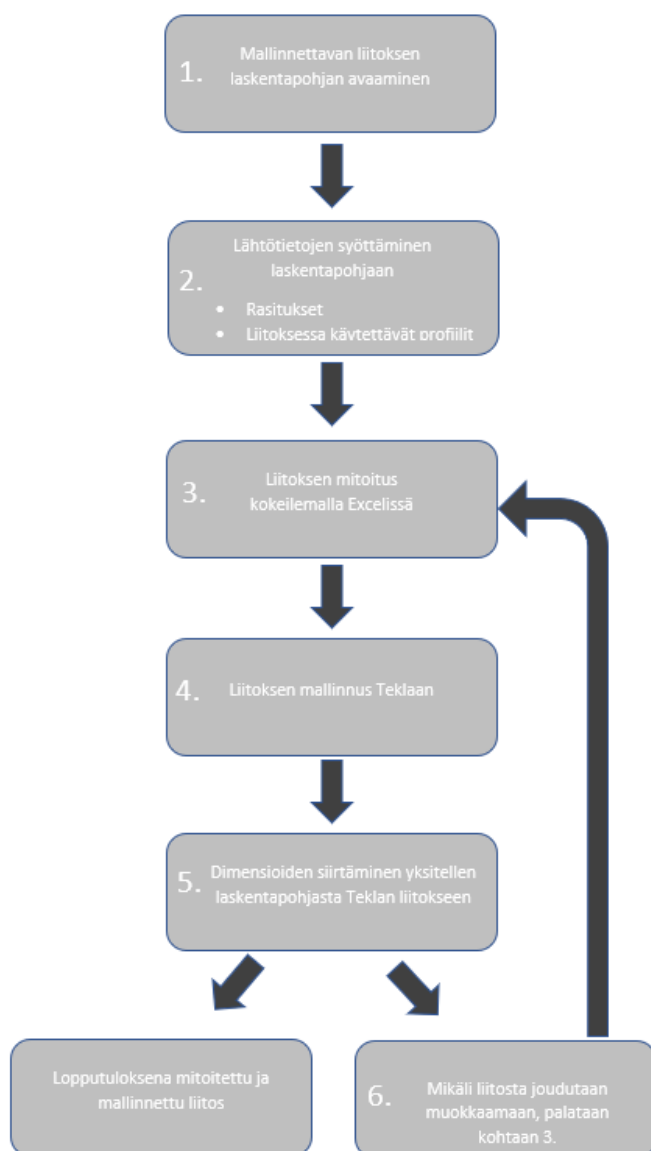
Kuljetusten kannalta pilareiden jatkosten käyttö joissain tilanteissa on myös pakollista. Ruukin hitsatut profiilit EN 1993 -käsikirjan mukaan Suomessa ilman erikoiskuljetusta tehtävien kuljetusten enimmäispituudet ovat kuorma-autoilla ja puoliperävaunuilla 16,5 m ja moduuliyhdistelmillä 25,25 m. Erikoiskuljetuksena on mahdollista kuljettaa kuorma-autoilla ja puoliperävaunuilla 30,0 m ja moduuliyhdistelmillä 27,0 m pitkiä kuljetuksia (Ongelin & Valkonen 2010, 587). Kuljetusten rajoitukset vaihtelevat kuitenkin maittain, mikä tulee ottaa huomioon pilareiden suunnittelussa. Kuljetukset voidaan tehdä myös merikonteissa, jolloin merikonttien mitat määrittelevät profiilien maksimipituudet.

3 EXCEL LASKENTAPOHJAN KÄYTTÖTAVAT MITOITUKSESSA

Teräsrakenteiden liitosten suunnittelun lähtötietoina tarvitaan käytettävä liitostapa, liitoksessa vaikuttavat voimat ja profiilit, joihin liitos suunnitellaan. Manuaalisesti sekä Teklaan integroidulla laskentapohjalla suoritettuna mitoituksen vaiheet eroavat toisistaan, mutta lopputuloksena tulisi molemmilla menetelmillä saada Teklaan mallinnettu rasiukset kestävä liitos.

3.1 Manuaalinen liitosten mitoitus

Kuviossa 5 on esitetty manuaalisesti tehtävän liitosten suunnittelun vaiheet. Kuviossa 5 kaikki nuolen kuvaamat välivaiheet tekee suunnittelija manuaalisesti.



Kuvio 5. Teräsrakenteiden liitosten suunnittelu manuaalisesti

Kuvion 5 mukaisesti ensimmäisenä manuaalisessa mitoituksessa suunnittelija etsii mitoituksessa käytettävän laskentapohjan (1.), jonka jälkeen suunnittelija syöttää kaikki liitoksen mitoituksen lähtötiedot laskentapohjaan (2.). Tämän jälkeen suunnittelija kokeilemalla etsii liitoksen dimensiot, joilla se kestää siihen vaikuttavat voimat (3.). Kokeiluetsinnällä tarkoitetaan sitä, että suunnittelija syöttää yksitellen liitoksen mitat laskentapohjaan ja etsii tällä tavalla dimensiot, joilla liitos kestää rasitukset. Neljännessä kohdassa liitos mallinnetaan Teklaan oikeaan lähtötietoja vastaavaan paikkaan. Mallinnuksen jälkeen suunnittelija kopioi jokaisen arvon yksitellen laskentapohjasta ja syöttää ne Teklaan liitoksen tietoihin oikeille paikoille (5.). Erityisesti monimutkaisissa liitoksissa dimensioiden kopioiminen laskentapohjasta ja syöttäminen Teklaan vie runsaasti aikaa. Tämä työvaihe sisältää myös suurimmat riskit virheille, koska laskentapohjasta siirrettäviä mittoja voi olla useita.

Kun suunnittelija on kopioinut dimensiot yksitellen Teklaan, on liitos mitoitettu ja mallinnettu eli valmis. Usein kuitenkin liitoksen lähtötiedot muuttuvat vielä ensimmäisen mitoituksen jälkeen, jolloin joudutaan uudestaan mitoittamaan liitos laskentapohjassa (kuvio 5. kohta 6.). Jos liitosta joudutaan muokkaamaan useasti, aiheuttaa se huomattavasti ylimääräistä työtä, koska jokaisella kerralla liitoksen dimensiot joudutaan siirtämään yksitellen laskentapohjasta Teklaan. Samalla myös riski virheisiin kasvaa, kun tietoja joudutaan siirtämään useasti ohjelmasta toiseen.

Virheitä mitoituksen ja mallinnuksen välillä voi tulla manuaalisessa mitoituksessa esimerkiksi seuraavissa tilanteissa:

- Suunnittelija unohtaa syöttää muuttuneen mitan Teklaan.
- Suunnittelija syöttää laskentapohjasta mitan väärään kohtaan Teklassa.
- Materiaalit eivät täsmää Teklassa ja laskentapohjassa.
- Pulttien etäisyydet / koot eivät vastaa toisiaan Teklassa ja laskentapohjassa.

3.2 Integroidulla laskentapohjalla liitosten mitoittaminen

Teklalla luotuun 3D-malliin mallinnettava liitos ja siihen liittyvät osat sisältävät kaikki suunnittelussa tarvittavat lähtötiedot. Integroinnilla pyritään siihen, että tiedot siirretään automaattisesti Teklasta suoraan integroituun laskentapohjaan. Kun tiedot siirtyvät ohjelmasta toiseen automaattisesti, työn määrä ja samalla myös virheiden määrä vähenevät. Tällä tavalla laskentapohjan integrointi nopeuttaa suunnittelua ja työstä tulee mielekkäämpää.

Integroidulla laskentapohjalla suunniteltu liitos on aina mallinnettavissa Teklaan. Esimerkiksi manuaalisesti mitoitettujen liitosten dimensiot eivät välttämättä sovi Teklan malliin, kun mitoitus tehdään ensin laskentapohjassa ja vasta sen jälkeen mallinnetaan liitos Teklaan. Kun integroidulla laskentapohjalla mallinnus tehdään ennen mitoitusta, on se myös varmasti mallinnettavissa Teklaan.

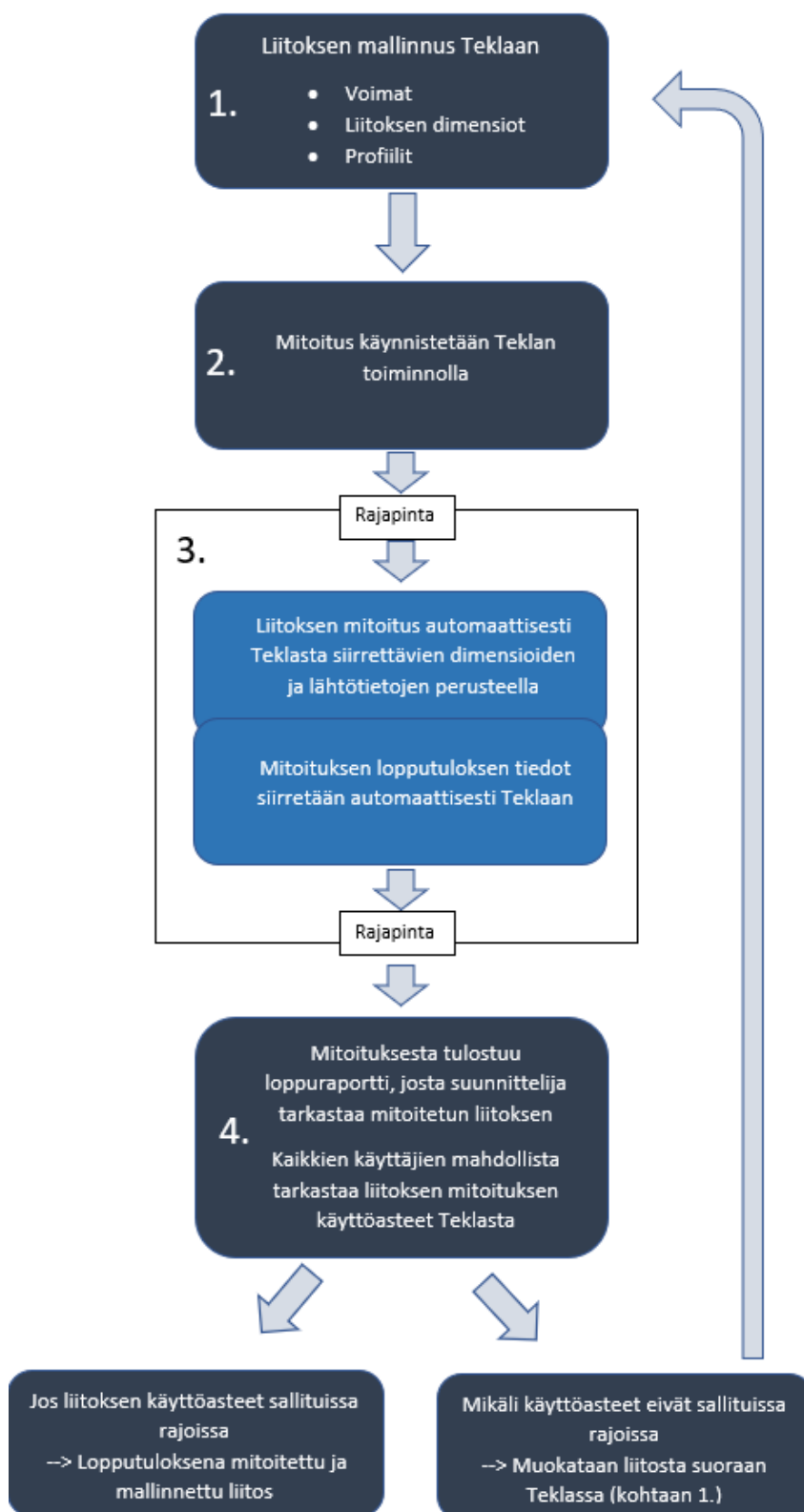
Laskentapohjan integrointi voidaan toteuttaa kahdella tavalla, jotka eroavat toisistaan mitoituksen käynnistämisen ja tiedonsiirron osalta. Integrointi voidaan toteuttaa siten, että mitoitus ja tiedonsiirto tehdään kokonaisuudessaan pelkästään Teklaa käyttämällä. Toinen tapa on tehdä tiedonsiirto ja mitoitus Excelin kautta.

3.2.1 Mitoitus Teklassa

Teklalla liitosten ja rakenneosien mitoittaminen vaatii integroidun laskentapohjan lisäksi Teklaan on ohjelmoidun toiminnon, jota painamalla integroitu laskentapohja käynnistyy. Laskentapohjan käynnistämisen jälkeen tiedot siirtyvät Teklasta laskentapohjaan ja sen jälkeen laskentapohja mitoittaa liitoksen Teklasta siirrettyjen tietojen perusteella.

Automaattinen tiedonsiirto Teklasta laskentapohjaan on mahdollista erillisen ohjelman avulla, jota voidaan kutsua rajapinnaksi. Rajapinta ohjelmoidaan siten, että se osaa laskentapohjaan tehtävien komentojen perusteella siirtää tiedot ohjelmasta toiseen. Laskentapohjan komentoihin perehdytään myöhemmin, mutta

rajapinnan ohjelmointia ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. Kuviossa 6 on esitetty integroinnin avulla automaattisesti tapahtuva liitosten suunnittelun periaate vaihe vaiheelta.



Kuvio 6. Teräsrakenteiden liitosten suunnittelu automaattisella menetelmällä

Täysin automaattisesti toimiva liitosten mitoitus alkaa siitä, että Teklaan mallinnetaan liitos. Liitoksen mallinnus vaatii luonnollisesti sen, että Teklaan on mallinnettu jo valmiiksi profiilit, joihin liitos mallinnetaan. Ensimmäisenä mallinnettavan liitoksen dimensiot ovat usein aluksi arvattuja, joiden perusteella suoritetaan ensimmäinen mitoitus. Dimensioiden lisäksi Teklaan mallinnettujen profiilien tietoihin kirjataan profiilien päiden voimat, jotka haetaan esimerkiksi laskentamallista. Kuvion 6 kohdan 1. voimilla tarkoitetaan pilarien liitoksen puoleisissa päissä vaikuttavia voimia.

Tämän jälkeen kuvion 6 kohdan 2. mukaan käynnistetään Teklaan tehdyllä toiminnolla liitoksen mitoitus. Mitoituksen käynnistys tarkoittaa sitä, että rajapinnassa ohjelmoinnin avulla laskentapohja käynnistyy, tiedot siirretään Teklasta laskentapohjaan ja liitos mitoitetaan Teklan tietojen perusteella. Mitoituksen jälkeen liitoksen käyttöasteet siirretään rajapinnan avulla Teklaan (kuvio 6. kohta 3.). Kaikki kohdan 3. toimenpiteet rajapinta suorittaa automaattisesti. Rajapinnan toiminta piilotetaan kokonaan loppukäyttäjältä, jotta ohjelmointiin ei tehdä vahingossa muutoksia.

Kuvion 6 kohdassa 4. mitoituksen jälkeen liitoksesta tulostuu loppuraportti, josta suunnittelija tarkastaa, että kestäkö liitos sille tulevat rasitukset ja pysyvätkö käyttöasteet sallituissa rajoissa. Kun käyttöasteet siirretään mitoituksen yhteydessä rajapinnan avulla myös Teklaan liitoksen tietoihin, voi jokainen samassa Teklan mallissa työskentelevä suunnittelija käydä tarkistamassa, mitkä liitokset ovat jo mitoitettuja sekä niiden käyttöasteet.

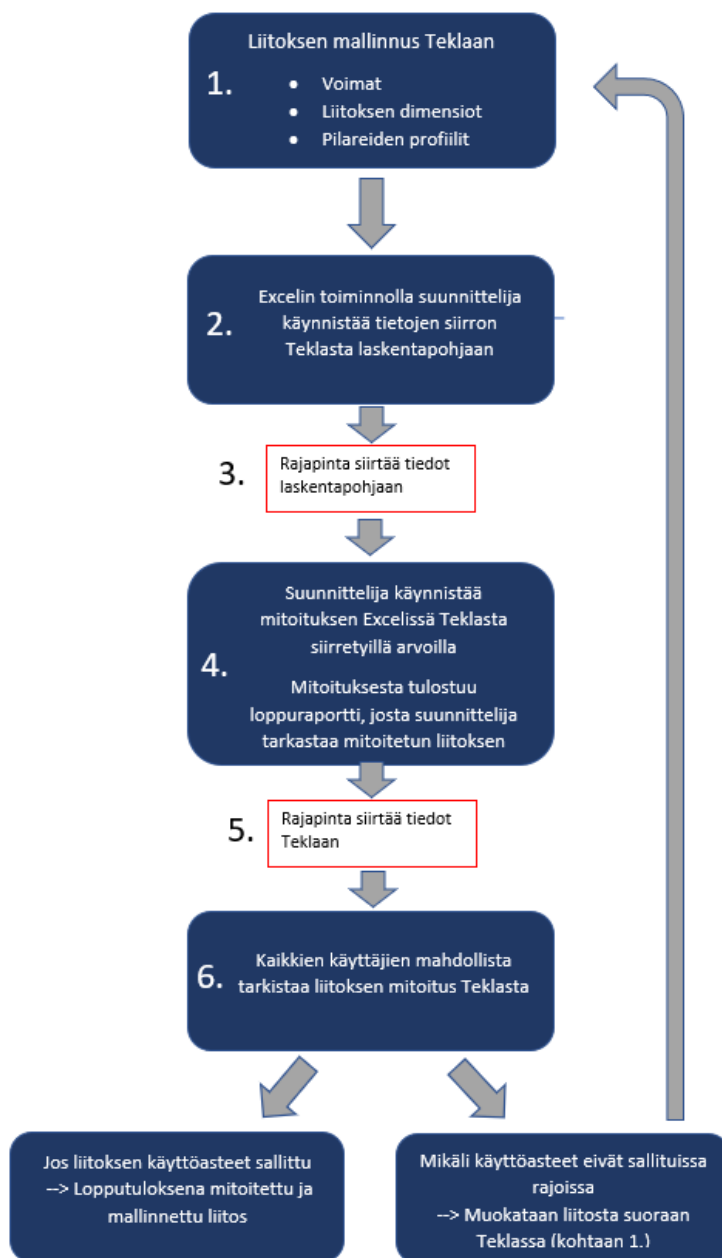
Jos käyttöasteet ovat sallituissa rajoissa, liitos on valmis. Jos käyttöasteet ylittävät sallitut rajat, palataan kuvion 6 kohtaan 1. ja tehdään muutokset suoraan Teklaan jo mallinnettuun liitokseen. Tämän jälkeen mitoitetaan liitos uudestaan. Kuvion 6 mukaisia työvaiheita toistetaan järjestyksessä niin kauan, kunnes loppuraportista todetaan, että käyttöasteet pysyvät sallituissa rajoissa. Mikäli liitoksen lähtötiedot kuitenkin muuttuvat esimerkiksi liitokseen liittyvien profiilien muuttuessa, tehdään liitoksen mitoitus uudestaan kuvion 6 kohdasta 1. alkaen.

Automaattisesti toimiva mitoitus nopeuttaa suunnittelua, koska suunnittelijan ei tarvitse siirtää tietoja yksitellen ohjelmasta toiseen. Samalla automaattisesti toimiva mitoitus poistaa myös inhimilliset virheet liitosten suunnittelusta ja varmistaa sen, että Teklaan mallinnettu liitos vastaa aina mitoitusta, koska mitoitus tehdään mallinnuksen perusteella eikä mallinnusta mitoituksen perusteella kuten manuaalisessa mitoituksessa.

3.2.2 Mitoitus Excelissä

Laskentapohjan integrointi on mahdollista toteuttaa myös niin, että tiedonsiirto ja liitoksen mitoitus käynnistetään laskentapohjaan tehdyllä toiminnolla. Laskentapohjaan tehdyllä toiminnolla käynnistetään rajapinnan ohjelmointi, jolloin tiedot siirtyvät automaattisesti Teklasta laskentapohjaan. Tällainen integrointi vaatii liitoksen mitoituksen kannalta enemmän suunnittelijan työtä kuin suoraan Teklasta käynnistettävä mitoitus. Laskentapohjasta käynnistettävä mitoitus on kuitenkin ohjelmoinnin kannalta helpompi toteuttaa.

Mitoituksen käynnistys laskentapohjassa vaatii sen, että suunnittelija joutuu käyttämään sekä Teklaa että laskentapohjaa, jotta liitoksen mitoitus onnistuu. Tiedot siirtyvät kuitenkin rajapinnan kautta automaattisesti, joten tällainen liitosten mitoitus voidaan mieltää osittain automaattiseksi. Kuviossa 7. on esitetty integroidusta laskentapohjasta käynnistettävän liitoksen mitoituksen vaiheet.



Kuvio 7. Integroidulla laskentapohjalla liitosten mitoitus laskentapohjassa

Osittain automaattisesti toimiva liitosten mitoitus aloitetaan siitä, että Teklaan mallinnetaan liitos, joka on aluksi arvaus, jolla saadaan liitokselle dimensiot. Jotta liitos on mahdollista mallintaa Teklaan, täytyy Teklassa olla mallinnettuna profiilit, joihin liitos tulee. Profiilien päiden voimat tulee olla myös kirjattuna Teklaan profiilien tietoihin. Voimat haetaan Teklaan esimerkiksi laskentamallista.

Toisessa vaiheessa suunnittelija avaa itse integroidun laskentapohjan, jota on tarkoitus käyttää liitoksen mitoittamiseen. Laskentapohjaan tehdyllä toiminnolla

käynnistetään rajapinnan ohjelmointi, jolloin tiedot siirtyvät laskentapohjaan mitoitusta varten rajapinnan kautta Teklasta automaattisesti. Neljännessä vaiheessa suunnittelija käynnistää laskentapohjan mitoituksen laskentapohjasta, jonka lopputuloksena tulostuu loppuraportti. Mitoitus käynnistetään aina vasta tiedonsiirron jälkeen, jotta liitos mitoitetaan Teklan kyseisen liitoksen tiedoilla. Loppuraportista suunnittelija tarkastaa liitoksen käyttöasteet. Käyttöasteet siirtyvät myös rajapinnan kautta automaattisesti Teklaan (Kuvio 7. kohta 5.). Teklaan siirrettyjen käyttöasteiden perusteella kaikkien samassa Teklan mallissa työskentelevien on mahdollista käydä tarkastamassa, onko liitos jo mitoitettu ja sen käyttöasteet (Kuvio 7. kohta 6.).

Samaan tapaan kuin täysin automaattisessa mitoituksessa liitoksen käyttöasteiden ollessa sallituissa rajoissa, liitos on valmis. Mikäli käyttöasteet ylittävät sallitut rajat palataan kohtaan 1. ja tehdään muutokset suoraan Teklaan jo mallinnettuun liitokseen. Vaiheet toistetaan järjestyksessä, kunnes liitoksen käyttöasteet pysyvät sallituissa rajoissa.

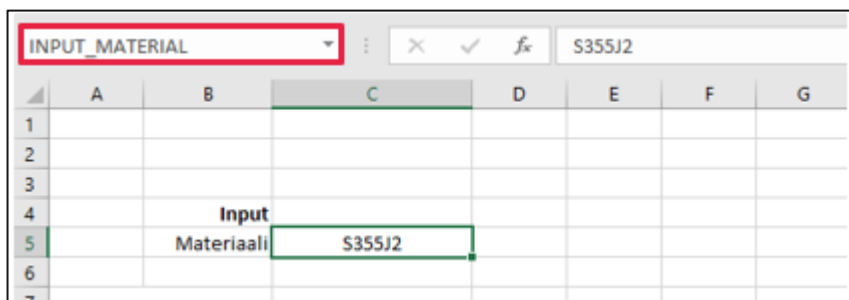
Osittain automaattinen mitoitustapa on hieman kahden käytettävän ohjelman vuoksi verrattuna kokonaan automaattisesti toimiva mitoitus, mutta myös tässä tapauksessa Teklaan mallinnettu liitos vastaa varmasti mitoitusta, kun mitoitus tehdään aina mallinnuksen perusteella. Ainoa ero osittain automaattisesti toimivalla mitoituksella verrattuna automaattisesti toimivaan mitoitukseen on se, että suunnittelija joutuu itse avaamaan laskentapohjan ja käynnistämään erikseen tiedonsiirron rajapinnan kautta sekä mitoituksen vasta tiedonsiirron jälkeen. Kaikki tiedot ohjelmien välillä kuitenkin siirtyvät automaattisesti molemmilla tavoilla.

4 TIEDONSIIRTO INTEGROIDULLA LASKENTAPOHJALLA

Laskentapohjan integrointi mahdollistaa tiedonsiirron Teklasta laskentapohjaan sekä laskentapohjasta Teklaan automaattisesti. Automatisointi vaatii laskentapohjaan tehtäviä toimenpiteitä sekä rajapinnan ohjelmointia.

4.1 Tiedonsiirto Teklasta laskentapohjaan

Tiedonsiirto Teklasta laskentapohjaan tapahtuu siten, että Teklasta valitaan ensimmäisenä mitoitettava liitos aktiiviseksi. Valinnan jälkeen käynnistetään rajapinnan ohjelmointi, jolloin tiedot siirtyvät Teklasta laskentapohjaan. Teklasta tietojen siirto laskentapohjaan perustuu siihen, että laskentapohjassa solut nimitään erilaisten komentojen ja attribuuttien mukaan. Komennot ovat rajapintaan tehtyjä ohjelmointeja, joiden perusteella rajapinta osaa siirtää Teklan tiedot oikeisiin soluihin laskentapohjassa. Kuviossa 8 on esimerkkinä laskentapohjan solu C5 nimetty siten, että siihen siirtyy integroinnin avulla Teklasta valitun osan materiaali.



	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4		Input					
5		Materiaali	S355J2				
6							
7							

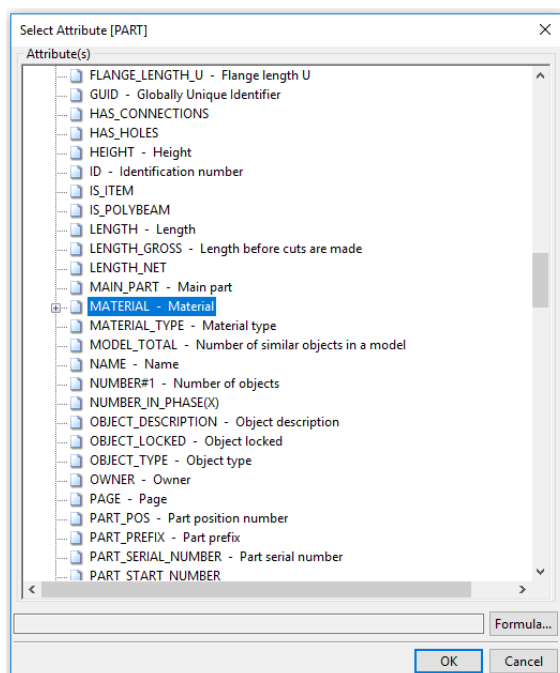
Kuvio 8. Excelin solun nimeäminen INPUT -toiminnolla

Komennon perusteella ohjelmointi etsii Teklasta oikean osan attribuuttia vastaavan tiedon laskentapohjaan. Komentoja tarvitaan useita erilaisia, jotta rajapinta erottaa esimerkiksi molempien pilareiden tiedot toisistaan, koska pilareiden attribuutit ovat saman nimisiä. Tässä työssä käytetään seuraavia komentoja, kun siirretään tietoja Teklasta laskentapohjaan:

- INPUT_
- INPUTA_
- INPUT1_

- INPUT2_.

Teklassa kaikki tiedot määritetään attribuuttien avulla. Attribuutit ovat ominaisuuksia, jotka määrittävät esimerkiksi liitoksen mitat, rakenneosien profiilit ja niiden mitat. Yksittäisen rakenneosan attribuutteja on mahdollista etsiä Teklan Template Editorista. Tekla luo jokaiselle osalle ja liitokselle myös erilaisia attribuutti -tiedostoja, joista on mahdollista etsiä attribuutteja. Kuviossa 9 on esitetty Template Editorista löytyviä rakenneosan tietoja määrittäviä attribuutteja.



Kuvio 9. Teklan Template Editorin attribuutteja

Tekla luo jokaiselle liitokselle, joka on tehty komponentilla, oman attribuutti -tiedoston. Attribuutti -tiedostosta on mahdollista etsiä jokaista liitoksen mittaa vastaava attribuutti. Kuviossa 10 on esitetty esimerkkinä Teklan oman komponentin attribuutti -tiedosto. Sellaisenaan Teklan attribuutit eivät kerro mitään. Halutun attribuutin löytäminen tapahtuu siten, että esimerkiksi komponentin tiettyä mittaa muutetaan Teklassa ja etsitään kyseisen komponentin attribuutti -tiedostosta mittaa vastaava attribuutti.

```

joint_attributes.name_enable 0
joint_attributes.AD_profile_len "0;0.0"
joint_attributes.AD_profile ";;;;;;;;;"
joint_attributes.analysis_offset_x "0;0.0"
joint_attributes.rz_spring "0;0.0"
joint_attributes.rz_type 21
joint_attributes.ry_spring "0;0.0"
joint_attributes.ry_type 21
joint_attributes.rx_spring "0;0.0"
joint_attributes.rx_type 21
joint_attributes.uz_spring "0;0.0"
joint_attributes.uz_type 21
joint_attributes.uy_spring "0;0.0"
joint_attributes.uy_type 21
joint_attributes.ux_spring "0;0.0"
joint_attributes.ux_type 21
joint_attributes.support_condition 11
joint_attributes.restraint_comb 34
joint_attributes.restraints_sec 0
joint_attributes.use_restraints 1
joint_attributes.ac_root "albl_no_root"
joint_attributes.ad_root "albl_no_root"
joint_attributes.joint_code "standard"

```

Kuvio 10. Teklan komponentin attribuutti -tiedoston attribuutteja

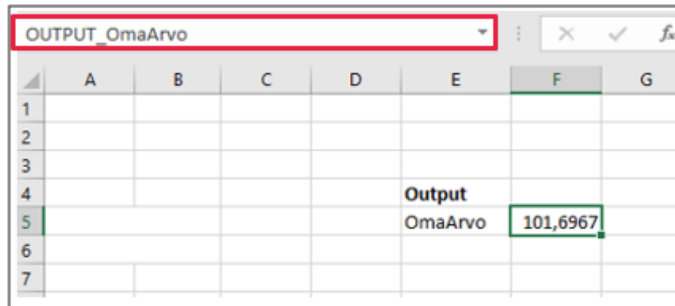
Laskentapohjassa yksi solu on mahdollista nimetä ainoastaan yhtä attribuuttia varten. Kaikkiin komennoihin ja attribuuttien mukaan nimettyihin soluihin on kuitenkin mahdollista siirtää Teklan tiedot yhdellä rajapinnan ohjelmoinnin suorituskerrolla. Tiedot siirtyvät Teklasta laskentapohjaan solujen arvoiksi, mikä mahdollistaa mitoittamisen suoraan Teklan liitoksen tietojen perusteella.

4.2 Tiedonsiirto laskentapohjasta Teklaan

Tässä työssä tehty integrointi mahdollistaa laskentapohjan tietojen syöttämisen Teklassa pelkästään osan tai liitoksen tietoihin. Tämä tarkoittaa, että Teklassa mallinnetun liitoksen muokkaaminen laskentapohjan tietojen perusteella ei ole mahdollista. Esimerkiksi liitoksen pilaria ei ole mahdollista vaihtaa laskentapohjan avulla, vaan suunnittelijan täytyy aina muokata osia tai liitoksia Teklassa.

Tietojen siirtäminen laskentapohjasta Teklaan perustuu myös laskentapohjan solujen nimeämiseen. Tässä työssä tietojen siirto Teklaan tapahtuu nimeämällä soluihin komento OUTPUT_. Sama OUTPUT_-komento on tehty myös rajapinnan ohjelmointiin.

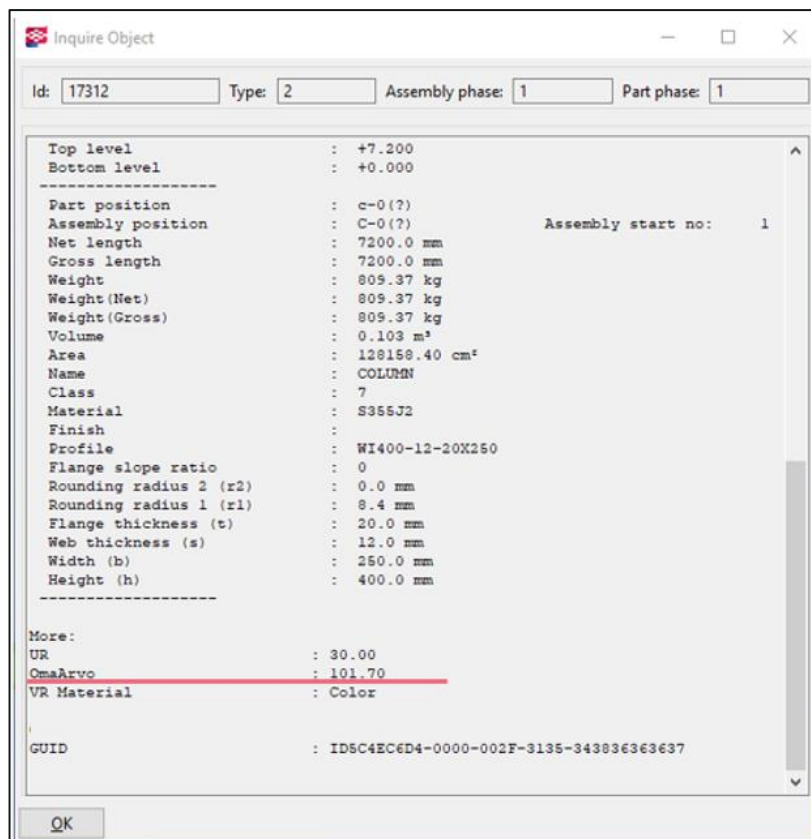
Tietojen siirrossa laskentapohjasta Teklaan komennon jälkeen on mahdollista kirjoittaa mitä vain eikä siihen ole ennalta määrättyjä attribuutteja kuten INPUT_ -komennoilla. Kuviossa 11 on esimerkkinä laskentapohjan solun F5 nimeäminen niin, että nimetyin solun tiedot siirtyvät Teklaan rajapinnan avulla.



	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4					Output		
5					OmaArvo	101,6967	
6							
7							

Kuvio 11. Laskentapohjan solun nimeäminen OUTPUT_ komennon mukaan

Laskentapohjan nimetyin solun tieto siirtyy rajapinnan kautta Teklassa aktiiviseksi valitun osan tai liitoksen tietoihin. OUTPUT_ -komento ei tule näkyviin Teklassa vaan pelkästään komennon jälkeinen nimi, kuten kuvassa 12 on esitetty. Kuvan 12 OmaArvo on siirretty kuviossa 11 mukaisesti nimetyin solun perusteella.



Kuva 12. Laskentataulukon tietojen näkyminen Teklassa

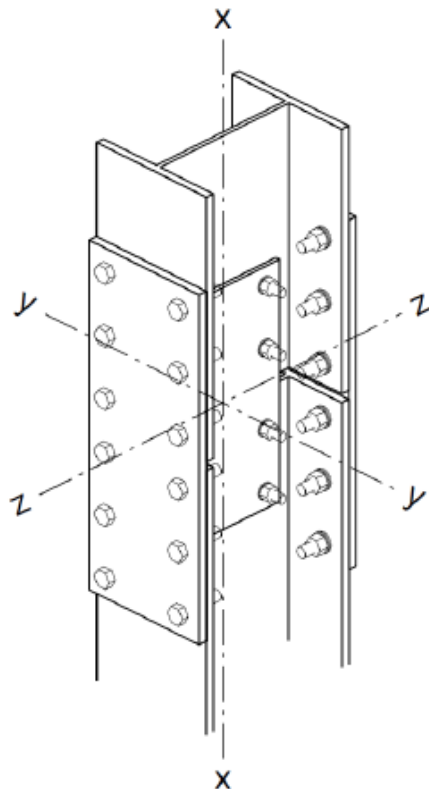
Tietojen siirtyminen rajapinnan kautta on mahdollista piilottaa kokonaan loppukäyttäjältä. Tällöin rajapintaa ei tarvitse erikseen avata, vaan sen ohjelmointi voidaan suorittaa käynnistämällä se laskentapohjasta tai Teklan avulla. Näin integroitua laskentapohjaa voi käyttää, vaikkei ymmärtäisi ohjelmoinnista tai rajapinnan toiminnasta mitään. Kun rajapinnan ohjelmointi on mahdollista suorittaa toisen ohjelman avulla, ei ole myöskään riskiä, että ohjelmointia muutettaisiin vahingossa.

5 UNIVERSAALILIITOKSEN LASKENTAPOHJAN INTEGROIMINEN

Eetu Tourulan kandidaatintyössä tehtiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n käyttöön pilarin universaaliliitoksen mitoittava Excel laskentapohja. Tourulan kandidaatintyö käsittelee pelkästään kantavan liitoksen mitoitusta. Joni Vainionpää on diplomityössään laajentanut kyseisen laskentapohjan mitoittamaan myös ei-kantavan universaaliliitoksen, laskemaan liitoksen voimajakauman sekä liitoksen käyttöasteet. Tässä opinnäytetyössä integroidaan Teklaan Vainionpään täydentämä laskentapohja. Mitoituksen lopputuloksena automaattisesti tulostettavan loppuraportin malliin perehdytään myöhemmin tässä opinnäytetyössä.

Laskentapohja integroidaan toimimaan Sweco Rakennetekniikka Oy:n oman pilarijatkos -komponentin kanssa. Jokaisella Teklan komponentilla on erilaiset attribuutit, siksi integroitavaan laskentapohjaan valitaan vain yksi Teklan komponentti, jonka attribuutteja käytetään laskentapohjassa.

Kuvassa 13 on esitetty laskennassa käytetyt koordinaattiakselit. Samoja koordinaattiakseleita käytetään tässä työssä voimien sekä liitoksen mittoja ilmoittamassa.



Kuva 13. Universaaliliitoksen koordinaattiakselit (Satamo, 2017, 11)

Teklasta laskentapohjaan ja laskentapohjasta Teklaan siirrettäville tiedoille tehdään integroitavaan laskentapohjaan oma välilehti. Kyseiseltä välilehdeeltä Teklasta siirretyt tiedot linkitetään toimimaan laskennan kanssa. Tällä tavoin laskentapohjassa valmiina olevaan liitoksen mitoitukseen ei tarvitse tehdä niin suuria muutoksia ja samalla varmistetaan, että liitoksen laskenta toimii myös lopullisessa versiossa siten kuin se on alun perin tehty toimivaksi.

Laskentapohjassa liitoksen mitoituksessa on käytetty joitakin oletuksia, jotka tulee ottaa huomioon integroinnissa. Mitoituksen oletuksia ovat

- Liitoslevyjen ja profiilien materiaalit ovat teräslaatua S355
- Pilarien laippojen sisäpinnoissa ei käytetä liitoslevyjä
- Laipassa ja uumassa pulttien lujuus samaa luokkaa
- Pilarien normaalivoima aina negatiivista.

Kun laskentapohjan integroinnilla pyritään siihen, että kaikki mitoituksessa tarvittavat tiedot siirtyvät automaattisesti Teklasta laskentapohjaan, tulee myös laskennan oletukset ottaa huomioon. Edellä mainitut oletukset saattavat antaa mitoitukselle lopputuloksen, joka on kuitenkin virheellinen. Esimerkiksi Teklassa suunnittelija voi mallintaa pilarin sisälaippoihin jatkoslevyt, mutta laskentapohjan mitoitus ei huomioi laippojen sisälevyjä, jolloin Teklan malli ei vastaa mitoitusta.

Jotta mitoitettu ja mallinnettu liitoksessa on varmasti otettu huomioon edellä mainitut oletukset, tehdään laskentapohjaan kuvion 14 mukainen virhetaulukko. Virhetaulukkoon kerätään Teklaan mallinnetun liitoksen mitoituksen vastaiset virheet. Virhetaulukkoon tulee kuvion 14 mukainen punainen merkintä liitoksen kyseisen mallinnusvirheen kohdalle. Kuvion 14 mukainen virhe luennassa huomautus tulee, mikäli mitoitus on yritetty suorittaa siten, ettei Teklasta ole valittu aktiiviseksi Sweco Rakennetekniikka Oy:n pilarijatkos -komponenttia.

MALLINNUSVIRHEET (OUTPUT)	
Profiilien materiaalivirhe	
Liitoksessa käytetty laipan sisälevyjä	
Laipan ja uuman pultit eri lujuutta	LAIPAN JA UUMAN PULTTIEN LUJUUDET EI TÄSMÄÄ
Puristusvoima aina negatiivinen	PILARI VEDOLLA
Virhe luennassa	

Kuvio 14. Laskentapohjan virhetaulukko

Kuvion 14 virhetaulukon tiedot siirretään mitoituksen jälkeen Teklaan. Sen lisäksi kaikki virheet lisätään myös loppuraporttiin. Kuviossa 15 esimerkkinä on esitetty virheen näkyminen Teklassa, mikäli universaaliliitoksessa käytettyjen pilarien materiaali ei vastaa laskennassa käytettyä oletusta materiaalien suhteen. Virhemerkintä Teklassa on kaikille kuvion 14 virheille kuvion 15 mukainen.

```

More:
Uuman_max_ka           : 4.83
VR Material            : Color
Laipan_max_ka          : 21.61
Laippalevyn_max_ka     : 26.19
Max_Käyttöaste         : 26.19
Uumalevyn_max_ka       : 7.05
VIRHE MATERIAALI    : TARKISTA PROFIILIIEN LUJUUDET!!

```

Kuvio 15. Virheilmoitus Teklassa liitoksen tiedoissa

Kuvioon 16 on kerätty kaikki pulteista tarvittavat tiedot, jotka on siirrettävä Teklasta laskentapohjaan, jotta liitoksen mitoitus on mahdollista. Kuvion oranssilla värjätyt solut nimetään komentojen ja komponentin attribuuttien mukaan, jotka vastaavat kyseistä mittaa tai tietoa. Harmaalla värjätyt solut lasketaan Teklasta tuotujen tietojen pohjalta laskentapohjassa tai haetaan laskentapohjan muilta välilehdiltä. Värjätyt solut linkitetään toimimaan laskentapohjassa olevan laskennan kanssa, jolloin mitoitus suoritetaan Teklan tiedoilla.

Pultit						
Laipan pultit						
	Pulttien standardi					
	Pultin lujuus					
	Pulttien halkaisija					mm
Sarakkeet						
	Sarakkeet / liitoksen puoli					kpl
	Sarakkeet yhteensä					kpl
	Pulttien välinen etäisyys y-suuntaan					mm
	Reunaetäisyys saumakohdasta					mm
	Reunaetäisyys ulommilla pulteilla					
	y-suunta					mm
Rivit						
	Rivit / liitoksen puoli					kpl
	Rivit yhteensä					kpl
	Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan					mm
	Reunaetäisyys saumakohdasta					mm
	Reunaetäisyydet ulommilla pulteilla					
	x-suunta					mm
Uuman pultit						
	Pulttien standardi					
	Pulttien lujuus					
	Pulttien halkaisija					mm
Sarakkeet						
	Sarakkeet / liitoksen puoli					kpl
	Sarakkeet yhteensä					kpl
	Pulttien etäisyys z-suuntaan					mm
	Reunaetäisyys ulommilla pulteilla					
	z-suunta					mm
	Reunaetäisyydet ulommilla pulteilla					70 mm
Rivit						
	Rivit/ liitoksen puoli					kpl
	Rivit yhteensä					kpl
	Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan					mm
	Reunaetäisyys ulommilla pulteilla					
	x-suunta					mm
	Reunaetäisyys saumakohdasta					mm

Kuvio 16. Teklasta siirrettävät pulttien tiedot

Swecon pilarijatkos -komponentissa ei ole erikseen pulttien lujuutta määrittävää attribuuttia, joten mallinnettuja pulteja vastaavat lujuusluokat määritetään Teklan pulttien standardien mukaan. Jokaiselle Teklassa käytettävälle pultin standardille

on ennalta määrätty standardia vastaava lujuus. Laskentapohjaan tehdään pulttien standardeille ja niitä vastaaville lujuuksille taulukko, josta lujuudet haetaan Teklasta siirretyn standardin perusteella mitoitus varten.

Kuviossa 17 on esitetty liitoslevyistä tarvittavat tiedot. Kuvion 17 oranssilla värjättyt solut nimetään komentojen ja oikeiden attribuuttien mukaan. Swecon pilarijatkos -komponentti käyttää oletuksena liitoksen uumassa molemmiin puolin liitoslevyjä, joten laskentapohjaan lukitaan uumalevyjen määräksi kaksi kappaletta. Levyjen materiaalit tyypistetään laskentaa varten pelkästään lujuutta vastaavaan muotoon.

Liitoslevyt				
	Laippalevyt			
		Materiaali	S355J2G3	= S355
		Paksuus	10	mm
		Leveys	240	mm
		Pituus	280	mm
		Sisälevyjen paksuus		mm
	Uumalevyt			
		Materiaali	S355J2G3	= S355
		Paksuus	10	mm
		Leveys	120	mm
		Pituus	500	mm
		Levyjen määrä uumassa	2	kpl

Kuvio 17. Liitoslevyistä tarvittavat tiedot.

Swecon pilarijatkos -komponentissa ei ole jatkoslevyjen leveyksille ja pituuksilla omia attribuutteja, joten laskentapohjassa ne lasketaan automaattisesti pulttien reuna- ja keskietäisyyksien perusteella.

Pilareiden päissä vaikuttavat voimat syötetään Teklassa profiilien UDA:ssa (User-defined Attributes) oleviin kenttiin. Kuviossa 18 on esimerkki Teklassa olevan profiilin voimien syöttökentistä UDA:ssa.

End reactions	Start:	End:
Shear, V_y (major)	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Moment, M_z (major)	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Tension, N_t	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Compression, N_c	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Shear, V_z (minor)	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Moment, M_y (minor)	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Torsion, M_x	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
UDL code	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Moment connection	<input type="checkbox"/> No <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> No <input type="text"/>
Connection capacity	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Utility ratio	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
Connection code	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>

Kuvio 18. Teklassa olevat voimien syöttökentät UDA:ssa

Laskentapohjaan tehdään kuvion 19 mukainen taulukko, johon siirretään oranssilla värjättyihin soluihin molempin pilarien liitoksen puoleisissa päissä vaikuttavat voimat. Teklasta laskentapohjaan siirrettävät voimat ovat Newtoneita ja Newtonmetrejä.

KUORMAT					
Ylempi pilari			Alempi pilari		
Momentit positiivisia			Momentit positiivisia		
y-akselin ympäri	<input type="text"/>	Nm	y-akselin ympäri	<input type="text"/>	Nm
z-akselin ympäri	<input type="text"/>	Nm	z-akselin ympäri	<input type="text"/>	Nm
x-akselin ympäri	<input type="text"/>	Nm	x-akselin ympäri	<input type="text"/>	Nm
Normaalivoima aina neg(-)			Normaalivoima aina neg(-)		
Normaalivoima	<input type="text"/>	N	Normaalivoima	<input type="text"/>	N
Leikkausvoima			Leikkausvoima		
z-akselin ympäri	<input type="text"/>	N	z-akselin ympäri	<input type="text"/>	N
y-akselin ympäri	<input type="text"/>	N	y-akselin ympäri	<input type="text"/>	N
Tarkistus, että normaalivoimat neg					
OK					

Kuvio 19. Voimien siirtäminen laskentapohjaan

Kuvion 19 mukaisesti normaalivoimalle tehdään tarkistus, että molempien pilarien päiden normaalivoimat ovat aina negatiivista eli puristusta. Mikäli näin ei ole, tulee loppuraporttiin merkintä, että pilarin päissä esiintyy vetoa, joka tulee ottaa huomioon myös mitoituksessa.

Kuvion 19 mukaisesta kuormataulukon voimista otetaan itseisarvoltaan suurempi ja siirretään kuvion 20 mukaiseen taulukkoon liitoksen mitoituskuormaksi. Samalla samalla voimat muutetaan automaattisesti kiloNewtoniksi ja kiloNewtonmetreiksi.

Kuormat			
Mitoittava momentti			
	Y-akselin ympäri		kNm
	Z-akselin ympäri		kNm
	x-akselin ympäri		kNm
Normaalivoima			
	Leikkausvoima		kN
	Z-akselin suuntaan		kN
	Y-akselin suuntaan		kN

Kuvio 20. Liitoksen mitoituksessa käytettävät voimat

Teklasta siirrettävien pilarien tiedoista riittää pelkästään liitoksessa käytetyt profiilit, niiden materiaalit ja profiilien päiden etäisyys. Pilareista ei tarvita muita tietoja, sillä laskentapohjaan on tehty profiilikirjasto, josta löytyy profiilien mitat, taiputusjäykkyydet ja jäyhyysmomentit. Sinne suunnittelijoiden on tarvittaessa mahdollista kerryttää lisää profiileita. Tässä työssä käytetään oletuksena, että profiilikirjastosta löytyy liitoksessa käytettyjen profiilien tiedot. Kuviossa 21 on esitetty tiedot, jotka siirretään mitoitusta varten Teklasta. Tiedot siirretään värjättyihin soluihin.

Liitoksen profiilit:			
Ylempi profiili			
Alempi profiili			
Profiilien materiaalit:			
Ylempi profiili			
Alempi profiili			
Profiilien etäisyys toisistaan			0 mm

Kuvio 21. Teklasta siirrettävät profiilien tiedot

Kun edellä mainitut tiedot nimetään laskentapohjaan oikein komentojen ja attribuuttien mukaan, on tietojen siirtäminen Teklasta automaattisesti rajapinnan avulla mahdollista. Laskentapohjaan siirrettyjen tietojen perusteella mitoitus täyttyy suorittaa automaattisesti molemmilla liitoksen pilareiden profiileilla, koska etukäteen on mahdotonta sanoa, kumpi on liitoksen kestävyuden kannalta määräävä. Tästä syystä laskentapohja mitoittaa liitoksen kuvion 21 mukaisilla Teklasta siirretyillä ylemmällä ja alemmalla profiililla. Kuviossa 22 on esitetty laskentapohjaan tehty taulukko, johon on esimerkkinä kerätty mitoituksen lopputuloksena molempien profiilien käyttöasteet.

Profiilien käyttöasteet						
	Ylempi profiili		Alempi profiili		KÄYTTÖASTEET MITOITAVAN PROFILIN MUKAAN	
	WI400-12-20X250	WI400-12-20X251	Mitoittava profiili	WI400-12-20X250		
LAIPPALEVY						
Laippalevyn vetokestävyys	5,70 %	5,70 %		5,70 %		
Laippalevyn nurjahduskestävyys	12,95 %	12,95 %		12,95 %		
Laipan ruuvin leikkauskestävyys	5,69 %	5,69 %		5,69 %		
Laippalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta	59,13 %	59,13 %		59,13 %		
Laippalevyn reunapuristuskestävyys y-suunta	6,25 %	6,25 %		6,25 %		
Laippalevyn palamurtokestävyys	7,46 %	7,46 %		7,46 %		
Laippalevyn leikkauskestävyys	10,84 %	10,84 %		10,84 %		
Laippalevyn yhdistetty taivutuskestävyys	23,11 %	23,11 %		23,11 %		
PILARIN LAIPPA						
Laipan reunapuristuskestävyys x-suunta	29,57 %	29,57 %		29,57 %		
Laipan reunapuristuskestävyys y-suunta	3,12 %	3,12 %		3,12 %		
Laipan puristuskestävyys	7,18 %	7,18 %		7,18 %		
Laipan vetokestävyys	8,54 %	8,54 %		8,54 %		
Laipan palamurtokestävyys (2 vaihtoehtoa)	3,62 %	3,62 %		3,62 %		
UUMALEVY						
Uumalevyn vetokestävyys	1,82 %	1,82 %		1,82 %		
Uumalevyn nurjahduskestävyys	1,70 %	1,70 %		1,70 %		
Uuman ruuvin leikkauskestävyys	3,12 %	3,12 %		3,12 %		
Uumalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta	6,33 %	6,33 %		6,33 %		
Uumalevyn reunapuristuskestävyys z-suunta	0,98 %	0,98 %		0,98 %		
Uumalevyn leikkauskestävyys	3,15 %	3,15 %		3,15 %		
Uumalevyn yhdistetty taivutuskestävyys	7,60 %	7,60 %		7,60 %		
PILARIN UUMA						
Uuman reunapuristuskestävyys x-suunta	10,55 %	10,55 %		10,55 %		
Uuman reunapuristuskestävyys z-suunta	1,63 %	1,63 %		1,63 %		
Uuman leikkauskestävyys	9,04 %	9,04 %		9,04 %		
Uuman palamurtokestävyys leikkaukselle	3,08 %	3,08 %		3,08 %		
Uuman palamurtokestävyys vedolle	1,72 %	1,72 %		1,72 %		
Profiilien max käyttöasteet	59,13 %	59,13 %	MAX käyttöaste	59,1 %		

Kuvio 22. Mitoituksen lopputuloksen käyttöasteet

Kuvion 22 mukaisesti laskentapohja valitsee automaattisesti mitoittavaksi profiiliksi sen, kummalla profiileista on suurempi maksimikäyttöaste. Mitoittava profiili ilmoitetaan myös loppuraportissa.

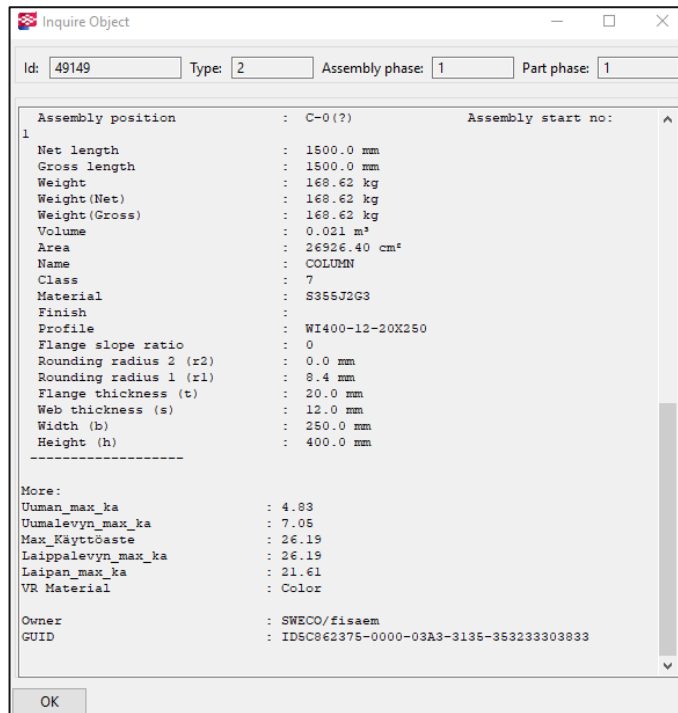
Mitoittavan profiilin kaikki käyttöasteet liitetään loppuraporttiin ja jokaisen mitoituskokonaisuuden (laippalevy, pilarin laippa, uumalevy ja pilarin uuma) maksimikäyttöasteet siirretään Teklaan mitoitettun liitoksen tietoihin. Kuviossa 23 on esitetty lista mitoituskokonaisuuksien käyttöasteista, jotka siirretään mitoituksen jälkeen Teklaan.

MAX KÄYTTÖASTE	59 %
LAIPPALEVY MAX KÄYTTÖASTE	59 %
UUMALEVY MAX KÄYTTÖASTE	8 %
PILARIN LAIPPA MAX KÄYTTÖASTE	9 %
PILARIN UUMA MAX KÄYTTÖASTE	59 %

Kuvio 23. Liitoksen OUTPUT -käyttöasteet

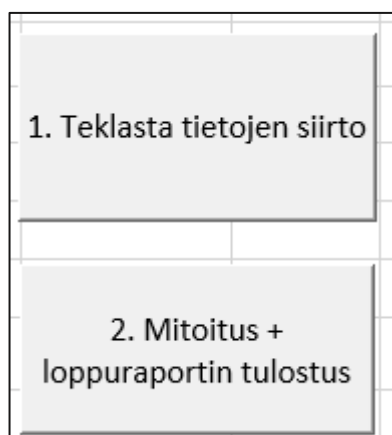
Kaikkia liitoksen käyttöasteita ei ole mahdollista siirtää Teklaan, koska käyttöasteita on niin monta, että Teklassa liitoksen tietoihin ei ole mahdollista syöttää niin montaa arvoa. Tästä syystä Teklaan siirretään pelkästään mitoituskokonaisuuksien maksimikäyttöasteet sekä koko liitoksen maksimikäyttöaste.

Teklassa liitoksen tiedoissa mitoituksen lopputulos ilman mallinnusvirheitä on kuvion 24 mukainen. Käyttöasteet lyhennettiin kirjainyhdistelmäksi ka, koska liitoksen tietoihin More -kenttään ei mahtunut enempää merkkejä.



Kuvio 24. Käyttöasteet Teklassa

Työn edetessä todettiin integrointi suoritettavaksi siten, että liitoksen mitoitus ja tiedonsiirto käynnistetään laskentapohjasta. Tästä syystä laskentapohjaan tehtiin kuvion 25 mukaiset painikkeet. 1. painikkeella suunnittelija käynnistää tiedonsiirron ohjelmasta toiseen. Tiedonsiirron jälkeen suunnittelija painaa 2. painiketta, jolloin laskentapohja mitoittaa liitoksen ja tulostaa loppuraportin. Lopuksi tiedot myös siirtyvät laskentapohjasta Teklaan.



Kuvio 25. Laskentapohjassa olevat painikkeet

Kuvion 25 molempiin painikkeisiin tehdään makrot, jotka mahdollistavat painikkeilla toimintojen suorittamisen. Makro on laskentapohjaan tehtävä toimintosarja,

jonka avulla on mahdollista esimerkiksi käynnistää rajapinta ja suorittaa siinä oleva ohjelmointi.

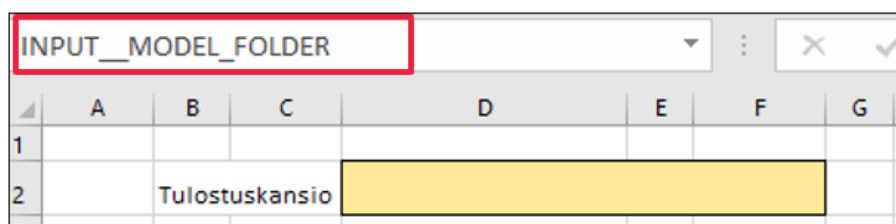
1. painikkeessa on makro, joka käynnistää rajapinnan ohjelmoinnin ja suorittaa sen. 2. painikkeessa on makro, jonka avulla laskentapohja suorittaa mitoituksen molemmilla profiileilla sekä tulostaa mitoituksen jälkeen automaattisesti liitoksen loppuraportin. On tärkeää, että painikkeita käytetään numeroiden mukaisessa järjestyksessä, jotta mitoitus suoritetaan aina Teklassa valitun liitoksen tiedoilla eikä esimerkiksi edellisen liitoksen tiedoilla.

6 LIITOKSEN RAPORTTI

Liitoksen mitoituksen jälkeen tulostettavan raportin tarkoituksena on, että siitä on helppo ja nopea tarkastaa mitoitettun liitoksen käyttöasteet, dimensiot ja rasi-
tukset. Tästä syystä raportista pyritään saamaan mahdollisimman tiivis ja sel-
keä kokonaisuus. Raportista on tarkoitus tehdä samalla sen mallinen, että sitä
on helppo soveltaa ja muokata mahdollisesti tulevaisuudessa myös muista lii-
toksista tuotettavien raporttien pohjana. Liitteessä 1 on lopullinen raportti koko-
naisuudessaan.

Raportille tehdään integroitavaan laskentapohjaan oma välilehti selkeyden var-
mistamiseksi. Raportti on muotoilultaan sellainen, että se mahtuu yhdelle A4 -
sivulle ja on mahdollisimman tiivis kokonaisuus, kuitenkin sisältäen kaiken oleel-
lisen liitoksesta.

Raportti tulostuu liitoksen mitoituksen jälkeen automaattisesti PDF -muotoon.
Raportin tulostuskansio on mahdollista määrittää mitoituksen yhteydessä aina
tapauskohtaisesti. Tulostuskansio voi olla esimerkiksi Teklan mallikansio, joka
siirtyy Teklasta laskentapohjaan samalla, kun liitoksen mitoitusta varten siirre-
tään tietoja. Tulostuskansion siirtämistä varten rajapintaan on tehty erikseen oh-
jelmointi, joka siirtää pelkästään mallikansion laskentapohjaan. Kuviossa 26 on
esitetty solun nimeäminen, kun siihen halutaan siirtää Teklan 3D -mallin malli-
kansio.

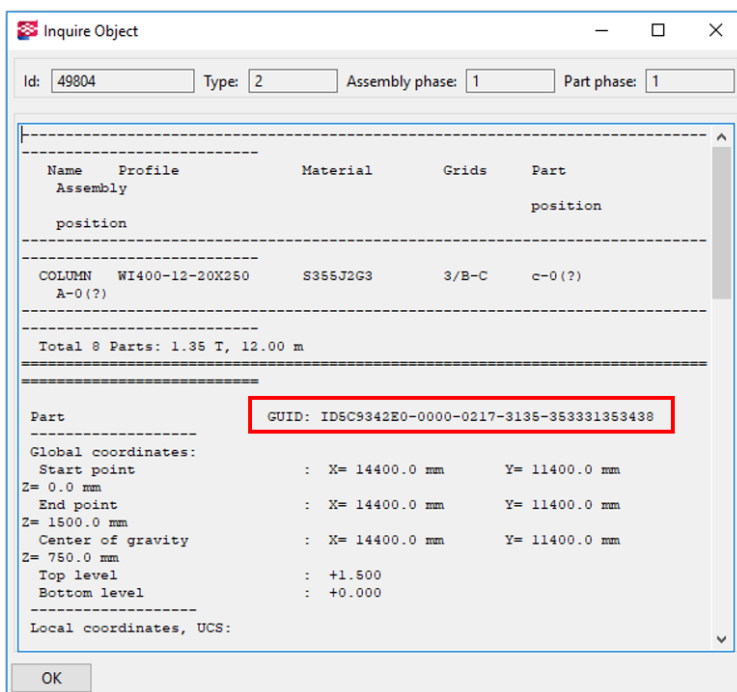


	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		Tulostuskansio					

Kuvio 26. Mallikansion siirtävä solun nimi.

Raportti tulostetaan liitoksen GUID -nimellä. GUID on Teklassa oleva numero-
ja kirjainsarja, joka on jokaisella liitoksella ja osalla erilainen. GUID valittiin sen
takia tulostusnimeksi, että esimerkiksi liitoksen muokkaaminen ei vaihda GUID -

nimeä vaan se pysyy aina samana. Näin raportteja ei tulostu samasta liitoksesta usealla eri nimellä. Kuviossa 27 on esitetty esimerkkinä Teklassa olevan pilarin GUID. GUID on myös attribuuttina Teklassa, jolloin se on mahdollista siirtää laskentapohjaan automaattisesti.



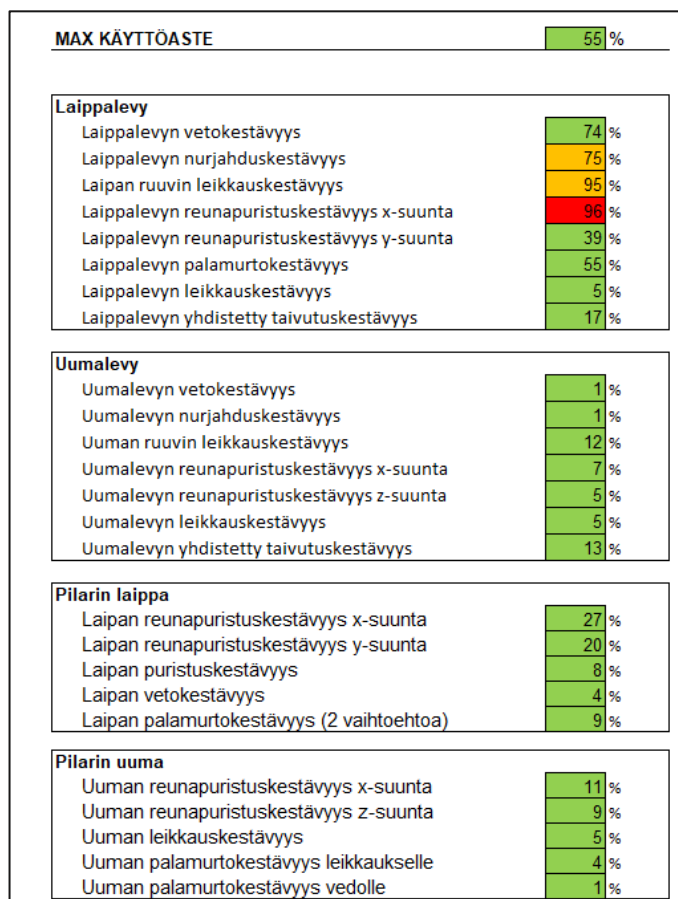
Kuvio 27. GUID -esimerkki

Raportin luonnin yhteydessä haastateltiin toimiston muita suunnittelijoita, jotta raporttiin saataisiin kaikki oleellinen tieto liitoksesta. Jotta raportista tuli tiivis kokonaisuus, jouduttiin haastatteluiden tuloksia osittain soveltamaan. Haastatteluiden pohjalta olennaisimmiksi tiedoiksi, jotka tulisi olla raportissa, olivat

- Liitoksen kuvassa täytyy olla koordinaattiakselit.
- Vain 95% ylittävät käyttöasteet näkyviin.
- Kaikki liitoksen dimensiot.

Toivomuksena oli, että raporttiin ei laitettaisi kaikkia käyttöasteita selkeyden varmistamiseksi vaan, että kaikki yli 95% käyttöasteet näkyisivät. Kaikki yli 95% käyttöasteet haluttiin näkyviin, jotta liitosta on helpompi muokata niin, että kaikki kriittiset käyttöasteet saadaan korjattua yhdellä kerralla eikä liitosta tarvitse muokata montaa kertaa.

Kuitenkin yksinkertaisuuden vuoksi, lopulliseen raporttiin lisätään kaikki käyttöasteet. Käyttöasteista korostetaan punaisella pohjalla ne, jotka ovat yli 95%. Tälläkin tavalla raportista on nopea ja helppo huomata liitoksen mitoittavat osat. Kuviossa 28 on esitetty raportin käyttöasteet ja niiden korostaminen.



Kuvio 28. Raportin käyttöasteiden korostus

Kuvion 28 mukaisesti käyttöaste korostetaan loppuraportissa virheällä, jos käyttöaste on alle 75%. Käyttöaste korostetaan oranssilla pohjalla käyttöasteen ollessa 75% – 95% ja punaisella, jos käyttöaste ylittää 95%.

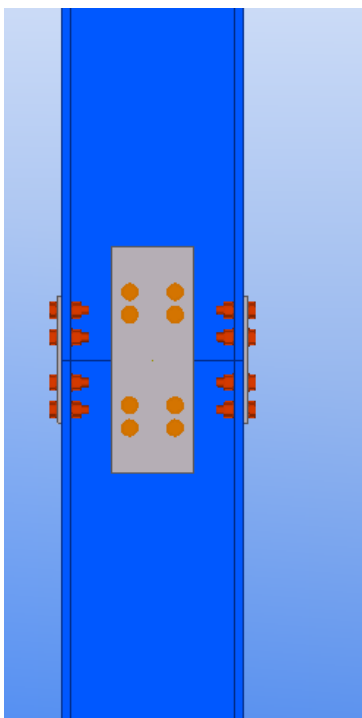
Raporttiin tulostuu myös kaikki virheet, jotka ovat mahdollista tulla mitoituksessa ja mallinnuksessa. Kuviossa 29 on esitetty raportissa näkyvät virheet.

HUOM!
Cannot read connection from Tekla
LAIPAN JA UUMAN PULTTIEN LUJUUDET EI TÄSMÄÄ
LAIPAN SISÄPINNASSA LEVYTI!
PILARI VEDOLLA
TARKISTA PROFIIlien LUJUUDET!!

Kuvio 29. Esimerkki mallinnusvirheet raportissa

7 ESIMERKKIMITOITUKSET

Tarkastellaan esimerkkinä yksinkertaisen universaaliliitoksen mitoittamista integroidulla laskentapohjalla ja manuaalisesti. Kuvioissa 30 on esimerkin lähtötilanne, jossa molempien pilarien profiilit ovat WI400-12-20X250. Liitoksena on kantava universaaliliitos laippojen ulkopintojen sekä uuman jatkoslevyillä toteutettuna.



Kuvio 30. Mitoitettava universaaliliitos

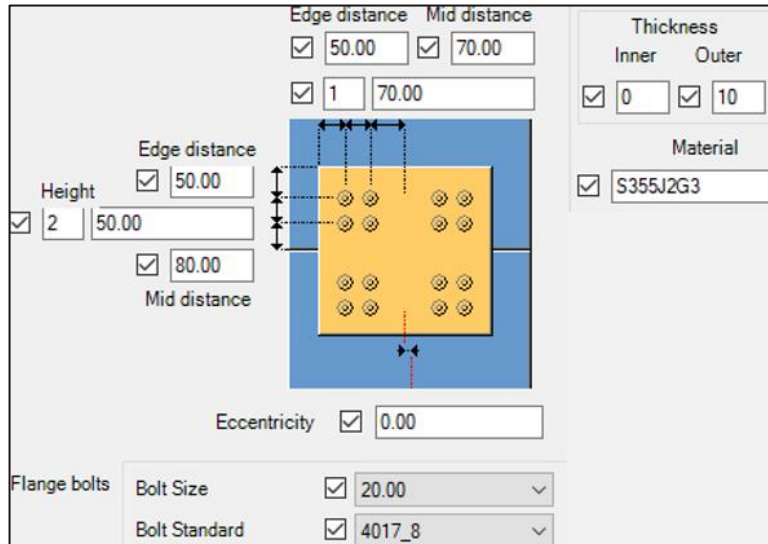
Taulukossa 1 on esimerkissä käytetyt liitoksessa vaikuttavat voimat.

Taulukko 1. Esimerkkiliitoksen voimat

Momentti Y -akselin suhteen	60 kNm
Momentti Z -akselin suhteen	50 kNm
Momentti X -akselin suhteen (vääntö)	0 kNm
Normaalivoima	-700 kN
Leikkausvoima Z -akselin suhteen	40 kN
Leikkausvoima Y -akselin suhteen	40kN

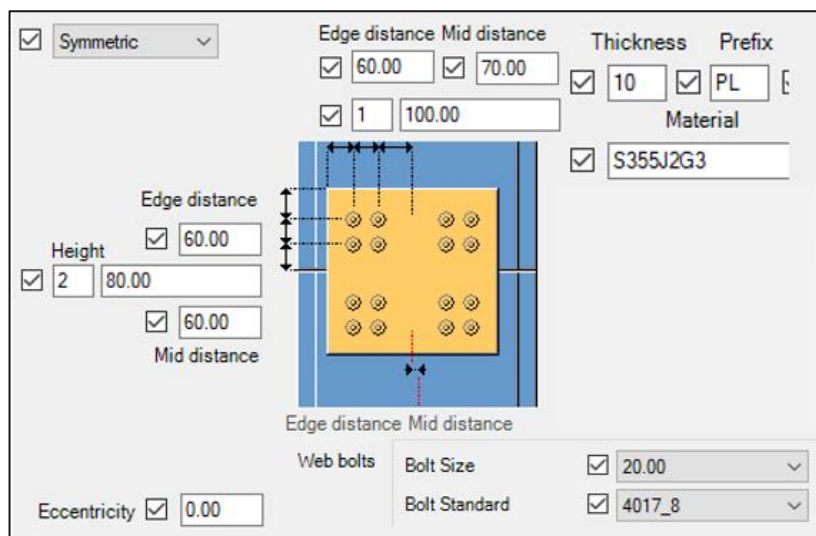
7.1 Integroidulla laskentapohjalla mitoitus

Liitoksen mitoituksen onnistumiseksi ensimmäisenä mallinnetaan kuvion 7. mukaisesti liitos Teklaan. Liitoksen laipan pulttien sekä laipan levyjen lähtötiedoiksi malliin valittiin kuvion 31 mukaiset tiedot.



Kuvio 31. Liitoksen laipan pulttien tiedot

Kuviossa 32 liitoksen uuman pulttien sekä uuman levyjen lähtötiedot Teklan mallissa.



Kuvio 32. Liitoksen uuman pulttien tiedot

Pulttien ja levyjen lähtötietojen lisäksi pilarien profiilien päiden voimiksi kirjataan Taulukon 1 mukaiset voimat.

Kun lähtötiedot on kirjattu malliin, voidaan siirtyä kuvion 7. kohtaan 2., jossa käynnistetään tiedonsiirto Teklasta laskentapohjaan. Tiedonsiirto tehdään kuvion 25 mukaisella 1. painikkeella. Tiedonsiirron jälkeen laskentapohjaan siirretyt pulttien tiedot ovat esitettyinä kuviossa 33.

Pultit			
Laipan pultit			
	Pulttien standardi		4017_8
	Pultin lujuus		8,8
	Pulttien halkaisija		20 mm
	Sarakkeet / liitoksen puoli		1 kpl
	Sarakkeet yhteensä		2 kpl
	Pulttien välinen etäisyys y-suuntaan		70 mm
	Reunaetäisyys saumakohdasta		70 mm
	Reunaetäisyys uloimmilla pulteilla		
	y-suunta		50 mm
	Rivit / liitoksen puoli		2 kpl
	Rivit yhteensä		4 kpl
	Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan		50 mm
	Reunaetäisyys saumakohdasta		80 mm
	Reunaetäisyydet ulommilla pulteilla		
	x-suunta		50 mm
Uuman pultit			
	Pulttien standardi		4017_8
	Pulttien lujuus		8,8
	Pulttien halkaisija		20 mm
	Sarakkeet / liitoksen puoli		1 kpl
	Sarakkeet yhteensä		2 kpl
	Pulttien etäisyys z-suuntaan		100 mm
	Reunaetäisyys ulommilla pulteilla		
	z-suunta		60 mm
	Reunaetäisyydet ulommilla pulteilla		70 mm
	Rivit/ liitoksen puoli		2 kpl
	Rivit yhteensä		4 kpl
	Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan		80 mm
	Reunaetäisyys ulommilla pulteilla		
	x-suunta		60 mm
	Reunaetäisyys saumakohdasta		60 mm

Kuvio 33. Pulttien tiedot Teklan mallin perusteella

Teklasta laskentapohjaan siirretyt liitoslevyjen tiedot ovat esitettynä kuviossa 34.

Liitoslevyt					
Laippalevyt					
	Materiaali		S355J2G3	=	S355
	Paksuus		10	mm	
	Leveys		240	mm	
	Pituus		360	mm	
	Sisälevyjen paksuus		0	mm	
Uumalevyt					
	Materiaali		S355J2G3	=	S355
	Paksuus		10	mm	
	Leveys		260	mm	
	Pituus		400	mm	
	Levyjen määrä uumassa		2	kpl	

Kuvio 34. Liitoslevyjen tiedot laskentapohjassa lähtötietojen perusteella

Kun liitoksen lähtötiedot on siirretty laskentapohjaan, mitoitetaan liitos kuvion 25 mukaisella 2. painikkeella. Kuvioon 35 on kerätty profiilien käyttöasteet mitoituksen jälkeen.

Profiilien käyttöasteet						
			Ylempi profiili	Alempi profiili		
			WI400-12-20X250	WI400-12-20X250		
LAIPPALEVY						
Laippalevyn vetokestävyys			8,17 %	8,17 %		
Laippalevyn nurjahduskestävyys			21,66 %	21,66 %		
Laipan ruuvin leikkauskestävyys			51,44 %	51,44 %		
Laippalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta			54,91 %	54,91 %		
Laippalevyn reunapuristuskestävyys y-suunta			39,38 %	39,38 %		
Laippalevyn palamurtokestävyys			18,02 %	18,02 %		
Laippalevyn leikkauskestävyys			4,98 %	4,98 %		
Laippalevyn yhdistetty taivutuskestävyys			16,88 %	16,88 %		
PILARIN LAIPPA						
Laipan reunapuristuskestävyys x-suunta			27,45 %	27,45 %		
Laipan reunapuristuskestävyys y-suunta			19,69 %	19,69 %		
Laipan puristuskestävyys			7,59 %	7,59 %		
Laipan vetokestävyys			3,89 %	3,89 %		
Laipan palamurtokestävyys (2 vaihtoehtoa)			8,65 %	8,65 %		
UUMALEVY						
Uumalevyn vetokestävyys			1,05 %	1,05 %		
Uumalevyn nurjahduskestävyys			1,02 %	1,02 %		
Uuman ruuvin leikkauskestävyys			11,65 %	11,65 %		
Uumalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta			6,61 %	6,61 %		
Uumalevyn reunapuristuskestävyys z-suunta			5,48 %	5,48 %		
Uumalevyn leikkauskestävyys			4,52 %	4,52 %		
Uumalevyn yhdistetty taivutuskestävyys			13,48 %	13,48 %		
PILARIN UUMA						
Uuman reunapuristuskestävyys x-suunta			11,02 %	11,02 %		
Uuman reunapuristuskestävyys z-suunta			9,14 %	9,14 %		
Uuman leikkauskestävyys			4,57 %	4,57 %		
Uuman palamurtokestävyys leikkaukselle			3,68 %	3,68 %		
Uuman palamurtokestävyys vedolle			1,14 %	1,14 %		
Profiilien max käyttöasteet			54,91 %	54,91 %		

Kuvio 35. Mitoituksen käyttöasteet pilareilla

Liitoksen mitoituskokonaisuuksien käyttöasteet sekä liitoksen maksimi käyttöaste siirtyy mitoituksen yhteydessä Teklaan liitoksen tietoihin. Kuviossa 36 on esitetty siirrettävät arvot.

MAX KÄYTTÖASTE	55 %
LAIPPALEVY MAX KÄYTTÖASTE	55 %
UUMALEVY MAX KÄYTTÖASTE	13 %
PILARIN LAIPPA MAX KÄYTTÖASTE	20 %
PILARIN UUMA MAX KÄYTTÖASTE	55 %

Kuvio 36. Teklaan siirrettävät käyttöasteet

Kuviossa 37 on esitetty loppuraportista otetut käyttöasteet. Kaikki käyttöasteet ovat sallituissa rajoissa, joten todetaan liitoksen olevan valmis.

MAX KÄYTTÖASTE	55 %
Laippalevy	
Laippalevyn vetokestävyys	8 %
Laippalevyn nurjahduskestävyys	22 %
Laipan ruuvin leikkauskestävyys	51 %
Laippalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta	55 %
Laippalevyn reunapuristuskestävyys y-suunta	39 %
Laippalevyn palamurtokestävyys	18 %
Laippalevyn leikkauskestävyys	5 %
Laippalevyn yhdistetty taivutuskestävyys	17 %
Uumalevy	
Uumalevyn vetokestävyys	1 %
Uumalevyn nurjahduskestävyys	1 %
Uuman ruuvin leikkauskestävyys	12 %
Uumalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta	7 %
Uumalevyn reunapuristuskestävyys z-suunta	5 %
Uumalevyn leikkauskestävyys	5 %
Uumalevyn yhdistetty taivutuskestävyys	13 %
Pilarin laippa	
Laipan reunapuristuskestävyys x-suunta	27 %
Laipan reunapuristuskestävyys y-suunta	20 %
Laipan puristuskestävyys	8 %
Laipan vetokestävyys	4 %
Laipan palamurtokestävyys (2 vaihtoehtoa)	9 %
Pilarin uuma	
Uuman reunapuristuskestävyys x-suunta	11 %
Uuman reunapuristuskestävyys z-suunta	9 %
Uuman leikkauskestävyys	5 %
Uuman palamurtokestävyys leikkaukselle	4 %
Uuman palamurtokestävyys vedolle	1 %

Kuvio 37. Loppuraportista käyttöasteet

Liitoksen käyttöasteista sallittuna rajana pidetään 95%. Jos kuvion 37 käyttöasteista joku käyttöaste ylittäisi kyseisen rajan, tehtäisiin tarvittavat muutokset suoraan Teklaan mallinnettuun liitokseen. Tämän jälkeen suoritettaisiin tiedon-siirto ja mitoitus uudelleen.

7.2 Manuaalinen mitoitus

Manuaalinen mitoitus lähtee kuvion 5 mukaisesti liikkeelle siten, että etsitään oikea laskentapohja. Tämän jälkeen syötetään laskentapohjaan kaikki liitoksen mitoituksen vaatimat tiedot yksi kerrallaan (kuvio 5 vaihe 2.). Ensimmäisenä syötetään kuormat laskentapohjaan kuten kuviossa 38.

Kuormat	Momentit positiivisia			
Mitoittava momentti				
Y-akselin ympäri	Vahvemman akselir	M_y_ed	60,00	kNm
Z-akselin ympäri	Heikomman akselin	M_z_ed	50,00	kNm
x-akselin ympäri	Vääntö	M_x_ed	0	kNm
Normaalivoima	Aina puristusta [-]	N_ed	-700,0	kN
Leikkausvoima				
Z-akselin suuntaan	Uuman suuntai	V_z_ed	40	kN
Y-akselin suuntaan	Laipan suuntai	V_y_ed	40	kN

Kuvio 38. Voimien syöttäminen laskentapohjaan

Voimien syöttämisen jälkeen mitoitetaan kokeilemalla liitos laskentapohjassa (kuvio 5 vaihe 3.). Kokeilulla tarkoitetaan sitä, että aluksi arvataan liitoksen kaikki dimensiot laskentapohjaan, minkä jälkeen liitoksen eri mittoja muutetaan niin kauan, että liitos kestää. Kuviossa 39 kaikkiin värjättyihin soluihin tulee syöttää arvo, jotta liitoksen mitoitus onnistuu. Lisäksi, jos profiilit eroaisivat toisistaan, tulisi mitoitus suorittaa molemmille profiileille, jotta liitoksen mitoittavasta profiilista varmistuttaisiin.

Lähtötiedot			
Heikompi profiili			
Nimi	prof_c,1	W1400-12-20X250	
Materiaali	mat_c,1	S355	
Osavarmuusluku	y_M0	1	
Poikkileikkausluokka	EC3-1-1(5.6)		2
profiilien etäisyys toisistaan	gap		0 mm
Ruuvien lujuusluokka			8,8
Ruuviryhmä			
Laippa			
Sarakkeita	n_fb,y		3 kpl
Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan	p1,f		70 mm
Rivejä	n_fb,x		2 kpl
Pulttien välinen etäisyys y-suuntaan	p2,f		50 mm
Pultteja yhteensä laipassa	n_fb		6 kpl
Uma			
Sarakkeita	n_wb,z		2 kpl
Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan	p1,w		80 mm
Rivejä	n_wb,x		2 kpl
Pulttien välinen etäisyys z-suuntaan	p2,w		50 mm
	n_wb		4 kpl
Pulttien halkaisija			
Laippa			
Reunaetäisyydet uloimmilla pulteilla			
x-suuntaan	e1,f		110 mm
y-suuntaan	e2,f		50 mm
Reunaetäisyys saumakohdasta	e1,fe		110 mm
Uma			
Reunaetäisyydet uloimmilla pulteilla			
x-suuntaan	e1,w		80 mm
z-suuntaan	e2,w		50 mm
Reunaetäisyys saumakohdasta	e1,we		65 mm
Liitoslevyt			
Laippa			
Materiaali	mat_fp	S355J2	
Paksuus	t_fp		20 mm
Leveys	b_fp		420 mm
Pituus	L_fp		580 mm
Uma			
Materiaali	mat_wp	S355J2	
Paksuus (jos levyjä ei ole paksuus on 0)	t_wp		10 mm
Leveys	b_wp		330 mm
Pituus	L_wp		420 mm
Levyjen määrä	n_wp		2 kpl

Kuvio 39. Tietojen syöttäminen laskentapohjaan.

Kuvion 39 tiedoilla mitoitettun liitoksen käyttöasteet ovat esitettynä kuviossa 40.

KÄYTTÖASTEET			
Laippalevy			
Laippalevyn vetokestävyys		0,72	%
Laippalevyn nurjahduskestävyys		10,30	%
Laipan ruuvin leikkauskestävyys		74,33	%
Laippalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta		49,07	%
Laippalevyn reunapuristuskestävyys y-suunta		7,08	%
Laippalevyn palamurtokestävyys		11,04	%
Laippalevyn leikkauskestävyys		1,42	%
Laippalevyn yhdistetty taiputuskestävyys		24,43	%
Pilarin laippa			
Laipan reunapuristuskestävyys x-suunta		49,07	%
Laipan reunapuristuskestävyys y-suunta		7,08	%
Laipan puristuskestävyys		14,66	%
Laipan vetokestävyys		1,38	%
Laipan palamurtokestävyys (2 vaihtoehtoa)		16,11	%
Uumalevy			
Uumalevyn vetokestävyys		3,58	%
Uumalevyn nurjahduskestävyys		4,29	%
Uuman ruuvin leikkauskestävyys		23,37	%
Uumalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta		8,22	%
Uumalevyn reunapuristuskestävyys z-suunta		14,20	%
Uumalevyn leikkauskestävyys		3,32	%
Uumalevyn yhdistetty taiputuskestävyys		4,40	%
Pilarin uuma			
Uuman reunapuristuskestävyys x-suunta		13,70	%
Uuman reunapuristuskestävyys z-suunta		23,67	%
Uuman leikkauskestävyys		4,47	%
Uuman palamurtokestävyys leikkaukselle		4,10	%
Uuman palamurtokestävyys vedolle		11,97	%

Kuvio 40. Liitoksen mitoituksen käyttöasteet

Kun käyttöasteet ovat hyväksytyjä, voidaan liitos mallintaa Teklaan (kuvio 5 vaihe 4.). Eniten aikaa tässä vaiheessa vie se, että suunnittelija siirtää yksitellen kaikki kuvion 39 mukaiset mitat niitä vastaaviin kohtiin Teklaan mallinnettavassa komponentissa. Tämä on myös manuaalisen mitoituksen ja mallinnuksen virhealttein työvaihe. Kun kaikki laskentapohjan arvot on kopioitu laskentapohjasta Teklaan, on liitoksen mitoitus valmis.

Mikäli kuitenkin esimerkiksi lähtötiedot muuttuisivat, palattaisiin laskentapohjaan mitoittamaan liitos uudelleen. Suunnittelija joutuu uudestaan tekemään kuvion 5. vaiheet 3. – 5. ja muuttamaan sekä laskentapohjassa, että Teklassa kaikki muutuneet arvot.

7.3 Yhteenveto mitoituksista

Kuten esimerkkilaskennassa huomataan, manuaalisen mitoituksen haasteet ovat siinä, että suunnittelija onnistuu kopioimaan tiedot laskentapohjasta oikeisiin kohtiin myös Teklassa. Varsinkin, kun universaaliliitoksessa on suuri määrä eri mittoja, käy helposti niin, että mitta syötetään liitoksen mallinnuksen yhteydessä väärään kohtaan tai jää kokonaan syöttämättä. Lisäksi manuaalisessa mitoituksessa täytyy molemmat profiilit tarkastaa erikseen, jotta varmistutaan mitoittavasta profiilista. Myös liitoksen muokkaaminen jälkikäteen esimerkiksi lähtötietojen muuttuessa aiheuttaa manuaalisesti tapahtuvassa liitosten suunnittelussa lisätyötä, koska sekä mitoitus että mallinnus joudutaan suorittamaan uudestaan.

Integroidulla laskentapohjalla suoritettava mitoitus säästää huomattavasti aikaa ja vaivaa. Virheiden määrät mittojen syöttämisessä myös vähenevät, kun mitat syötetään vain kertaalleen Teklaan. Integroidulla laskentapohjalla tehtävän mitoituksen etu on juuri siinä, että esimerkiksi lähtötietojen muuttuessa muutokset tehdään pelkästään Teklaan.

Esimerkin mukaisessa universaaliliitoksen mitoituksessa ajansäästö oli todellisuudessa huomattava, vaikka se oli yksinkertainen tilanne. Monimutkaisemmissa tilanteissa liitoksissa säästettävä aika ja työ korostuvat entisestään integroinnilla suoritettavassa liitoksen mitoituksessa.

8 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli integroida laskentapohja Teklaan siten, että se mitoittaa automaattisesti pilarin universaaliliitoksen Teklan mallin perusteella ja lopuksi tulostaa raportin mitoitetusta liitoksesta. Työn lopputuloksena saatiin lähes automaattisesti toimiva integroitu laskentapohja. Ihanteellinen tilanne olisi ollut se, että integroinnilla suoritettu liitoksen mitoitus olisi voitu tehdä suoraan Teklasta. Työssä päädyttiin siihen, että mitoitus ja tiedonsiirto käynnistetään laskentapohjasta. Teklan avulla mitoituksen onnistuminen vaatii vain ohjelmointia, sillä laskentapohjaan tehdyt toiminnot mahdollistavat myös Teklalla liitoksen mitoittamisen.

Laskentapohjan integrointia on vielä paljon varaa kehittää. Teklaan luotu malli sisältää niin paljon tietoa, että sen käyttöönotto ja hyödyntäminen suunnittelussa vaatii vain tutkimista ja osaamisen kehittämistä. Integroidusta laskentapohjasta on Teklan tietojen perusteella mahdollista tehdä vieläkin tehokkaampi ja monipuolisempi. Tämä opinnäytetyö tarjoaa kuitenkin hyvän lähtökohdan integroinnin jatkokehitykseen.

Tästä opinnäytetyöstä haastavan teki se, että integroinnista ja sen vaatimista toimenpiteistä ei ole juurikaan tietoa. Tämän takia työtä saatiin eteenpäin usein vain kokeilemalla ja etsien kokeilun avulla oikeaa ratkaisua asioiden toteuttamiseen. Työ oli kuitenkin kokonaisuudessaan erittäin opettavainen. Erityisesti integroinnin vaatimaan ohjelmointiin ja Teklasta löydettäviin tietoihin joutui perehtymään.

LÄHTEET

Ongelin, P & Valkonen, I. 2010. Hitsatut Profiilit EN 1993 -käsikirja. 3. painos. Keuruu: Rautaruukki Oyj. Luettu 17.1.2019. http://software.ruukki.com/Handbooks+and+Guides/Ruukki-Hitsatut-Profiilit-Kasikirja-2010_PDF-versio.pdf

Satamo, P. 2017. Beam and column splice bolt shear forces with bidirectional bending. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö. Luettu 10.1.2019. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/25406/Satamo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SFS-EN 1090-2:2018. 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus, osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Helsinki: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Luettu 21.3.2019. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/699540.html.stx>

SFS-EN 1993-1-8. 2006. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu, osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisimisliitto SFS. Luettu 10.1.2019. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9359.html.stx>

Tekla Structures. 2015. Template Attributes Reference Guide. Luettu 31.1.2019. https://teklastructures.support.tekla.com/system/files/Template_Attributes_Reference_Guide_210_enu.pdf
Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry

LIITTEET

Liite 1. Raportti

1(2)

PILARIN UNIVERSAALIILITOS		SWECO 
		Päivämäärä 11.4.2019

Liitostapa Kantava

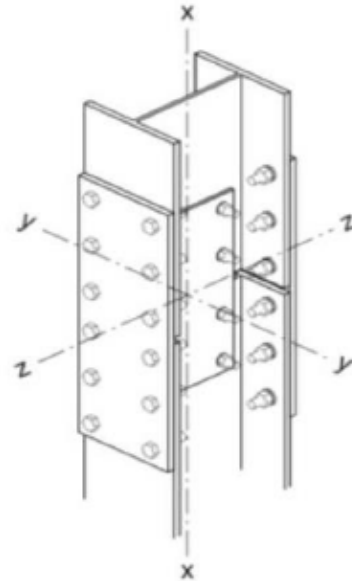
Mitoittava profiili WH400-12-20X250
Materiaali S355

Guid ID5C9342E0-0000-021B-3135-353331353438

Liitoksen pultit:

Laipan pultit	
Halkaisija	20 mm
Lujuusluokka	8,8
Laipan pulttien lkm:	8 kpl
Sarakkeita	2
Rivejä (liitoksen yhdellä puolella)	4
Laipan pulttien keskiöetäisyydet	
Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan	70 mm
Pulttien välinen etäisyys y-suuntaan	50 mm
Laipan pulttien reunaetäisyydet	
Reunaetäisyys x-suuntaan	50 mm
Reunaetäisyys y-suuntaan	110 mm
Reunaetäisyys saumakohdasta	110 mm

Uuman pultit	
Halkaisija	20 mm
Lujuusluokka	8,8
Uuman pulttien lkm:	8 kpl
Sarakkeita	2
Rivejä (liitoksen yhdellä puolella)	4
Uuman pulttien keskiöetäisyydet	
Pulttien välinen etäisyys x-suuntaan	80 mm
Pulttien välinen etäisyys z-suuntaan	65 mm
Laipan pulttien reunaetäisyydet	
Reunaetäisyys x-suuntaan	80 mm
Reunaetäisyys z-suuntaan	50 mm
Reunaetäisyys saumakohdasta	65 mm



Liitoslevyt:

Laippalevyt	
Materiaali	S355
Paksuus	10 mm
Leveys	230 mm
Pituus	580 mm

Uumalevyt	
Materiaali	S355
Paksuus	10 mm
Leveys	230 mm
Pituus	450 mm

Liitoksen rasitukset:

Momentti	
Heikomman akselin suhteen	60 kNm
Vahvemman akselin suhteen	50 kNm
Vääntö	0 kNm
Normaalivoima (puristus)	-700 kN
Leikkausvoima	
Uuman suuntainen	40 kN
Laipan suuntainen	40 kN

MAX KÄYTTÖASTE 50 %

Laippalevy	
Laippalevyn vetokestävyys	9 %
Laippalevyn nurjahduskestävyys	29 %
Laipan ruuvin leikkauskestävyys	46 %
Laippalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta	50 %
Laippalevyn reunapuristuskestävyys y-suunta	34 %
Laippalevyn palamurtokestävyys	11 %
Laippalevyn leikkauskestävyys	5 %
Laippalevyn yhdistetty taivutuskestävyys	17 %

Uumalevy	
Uumalevyn vetokestävyys	1 %
Uumalevyn nurjahduskestävyys	1 %
Uuman ruuvin leikkauskestävyys	12 %
Uumalevyn reunapuristuskestävyys x-suunta	10 %
Uumalevyn reunapuristuskestävyys z-suunta	9 %
Uumalevyn leikkauskestävyys	5 %
Uumalevyn yhdistetty taivutuskestävyys	16 %

Pilarin laippa	
Laipan reunapuristuskestävyys x-suunta	25 %
Laipan reunapuristuskestävyys y-suunta	17 %
Laipan puristuskestävyys	8 %
Laipan vetokestävyys	4 %
Laipan palamurtokestävyys (2 vaihtoehtoa)	6 %

Pilarin uuma	
Uuman reunapuristuskestävyys x-suunta	17 %
Uuman reunapuristuskestävyys z-suunta	16 %
Uuman leikkauskestävyys	5 %
Uuman palamurtokestävyys leikkaukselle	4 %
Uuman palamurtokestävyys vedolle	1 %