

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Ville Leikas

## **PILARIN JATKOSLIITOKSEN MITOITUS JA MAL- LINTAMINEN**

## TIIVISTELMÄ

Ville Leikas

Pilarin jatkosliitoksen mitoitus ja mallintaminen, 89 sivua, 1 liite

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikka

Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö, 2011

Ohjaajat: Lehtori (DI) Petri Himmi, Yksikön päällikkö (DI) Matti-Esko Järvenpää, WSP Finland

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda Tekla Structures -ohjelmistoon mitoituskomponentti, jonka avulla voidaan mitoittaa liitos siihen kohdistuvien rasituksien perusteella. Mitoitus tehtiin eurocodestandardeilla ja Mathcad-ohjelmistolla. Mitoituskomponenttia sovelletaan teräspilarin päätylevyjatkosliitokseen. Mitoituskomponenttia voidaan käyttää yleisimmissä valssatuissa avoprofiileissa. Työn tilaajana toimi WSP Finland.

Työssä tutkittiin, kuinka voidaan luoda yhteys Mathcad-laskentaohjelmiston ja Tekla Structures -mallinnusohjelmiston välille. Esimerkiksi Tekla Structures-ohjelmiston ja Excel-taulukkolaskentaohjelmiston linkitys tapahtuu varsin vaivattomasti Open API -rajapinnan avulla, mutta Tekla Structures- ja Mathcad-ohjelmistojen välillä ei ole suoranaista yhteensopivuutta. Opinnäytetyössä ohjelmistojen välinen linkki tehtiin Visual Studio -ohjelmiston avulla, plugin-komponentilla. Plugin-komponentti tehtiin custom-komponenttiin pohjalta. Plugin-komponenttiin oli sisäänrakennettu ominaisuus, jonka avulla pystyttiin luomaan yhteys Tekla Structuresin ja Matcad-ohjelmiston välille. Ohjelmointi tapahtui C#-ohjelmointikielellä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli myös tehdä rakenteiden mitoittamisesta yksinkertaisempaa ja vähemmän riskialtista. Mitoituskomponenttiin integroitu, yksilöity laskentapohja on tarkoitettu täsmälleen sellaiseen liitokseen, jota mitoituskomponentilla voidaan mallintaa Tekla Structures -mallissa. Tämä sulkee pois sellaiset virheet rakenteiden suunnittelussa, jotka johtuvat väärän mitoituskortin käytöstä väärässä liitostapauksessa. Samalla tehtiin tilaajana toimineelle yritykselle uudet eurokoodipohjaiset pilarin jatkosliitostapaukseen käyvät käsinlaskentamitoituskortit.

Avainsanat: Mallinnus, mitoitus, jatkosliitos, pulttiliitos, column splice, plugin-komponentti, custom-komponentti, Tekla Structures, Mathcad.

## ABSTRACT

Ville Leikas

Column splice designing and modeling, 89 pages, 1 appendix

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction Engineering

Thesis, 2011

Instructors: Lecturer (DI) Petri Himmi, Head of unit (DI) Matti-Esko Järvenpää,  
WSP Finland

The purpose of this thesis was to create a plugin component for the Tekla Structures software that can calculate the capacity of the splice. The calculation is based on eurocode standards and the calculation is done by Mathcad software. The column splice with the end plates can be used to connect steel columns. The plugin component can be used with most common hot rolled I and H profiles. The client of this thesis was WSP Finland and the project was done in cooperation with them.

The thesis investigated how to make a connection between Tekla Structures and Mathcad. For example the link between Tekla Structures and Excel is made by Tekla Corporation with Open API interface, but there is no interface like that for linking Mathcad. The connection between Tekla Structures and Mathcad was made with a plugin component that based on a custom component. The plugin component had a build in feature that made the connection between Tekla Structures and Mathcad. Programming for the plugin component was done with C# programming language in Visual Studio IDE.

One goal of this thesis was to make the structural determination simpler and less risky. The integrated calculation sheets that are inside the plugin component are meant specifically for the splice that they are in. This kind of a designing tool leads to making less mistakes. The client also got independent calculation sheets apart from Tekla Structures to the same column splice.

Keywords: Modeling, bolt joint, column splice, plugin component, custom component, Tekla Structures, Mathcad.

## SISÄLTÖ

SYMBOLILUETTELO .....	6
KÄSITTEET .....	7
1 JOHDANTO .....	9
2 MALLINTAMINEN .....	10
2.1 Mahdollisuudet .....	13
2.2 Edellytykset tietomallipohjaiselle suunnittelulle .....	14
2.3 Kehitysalueet .....	15
3 TEKLA STRUCTURES -TIETOMALLINNUSOHJELMISTO .....	18
3.1 Tekla Structures -ohjelmistokokoonpanot .....	20
3.2 Tekla Open API -rajapinta .....	25
3.3 Tekla Structures custom-komponentti .....	26
3.3.1 Pilarin jatkosliitos .....	26
3.3.2 Custom-komponentti .....	26
3.3.3 Custom-komponentin parametrit .....	32
3.3.4 INP-tiedostot .....	35
4 YHTEYDEN LUONTI .....	40
4.1 Visual Studio -ohjelmisto .....	40
4.2 C#-ohjelmointikieli .....	42
4.2.1 Manage- ja natiivilähdekoodi .....	42
4.2.2 C#-pienoisohjelmaesimerkki .....	44
4.3 Plugin-komponentti .....	45
4.3.1 Lähdekoodin rakenne .....	45
5 MATHCAD-LASKENTAPOHJIEN TOTEUTUS .....	52
5.1 Yleistä .....	55
5.2 Käsineläskentapohjat .....	56
5.3 Pultit .....	57
5.3.1 Pultin pinta-ala .....	57
5.3.2 Pultin myötöraja ja vetomurtolujuus .....	58
5.3.3 Pultin reiät ja mutterien halkaisijat .....	58
5.3.4 Pulttien reunaetäisyydet ja keskiövälietäisyydet .....	59
5.4 Pulttien mitoitus .....	61
5.4.1 Leikkausvoima .....	61
5.4.2 Vetovoima .....	62
5.4.3 Yhdistelmä veto- ja leikkausvoima .....	63
5.4.4 Reunapuristuskestävyys .....	63
5.4.5 Pultin ja mutterin lävistymiskestävyys .....	64
5.5 Hitsit .....	64
5.5.1 Hitsien mitoitus .....	64
5.6 Päätylevy .....	66
5.6.1 Päätylevyn vetokapasiteetti .....	68
5.6.2 Päätylevyn puristuskapasiteetti .....	69
6 ESIMERKKI MITOITUSKOMONENTIN KÄYTÖSTÄ .....	70
7 YHTEENVETO .....	80
8 POHDINTA .....	81
KUVAT .....	84
TAULUKOT .....	87
LÄHTEET .....	88

## LIITTEET

Liite1 Tuloste esimerkkiliitoksen mitoituksesta

## SYMBOLILUETTELO

$A_s$	pultin jännityspoikkipinta-ala
$B_{p,Rd}$	ruuvin kannan tai mutterin lävistymiskestävyyden mitoitusarvo
$E$	teräksen kimmokerroin
$F_{bRd}$	reunapuristuskapasiteetti
$F_{elRd}$	päätylevyn vetovoimakapasiteetti
$F_{tEd}$	vetovoiman mitoitusarvo pulttia kohti
$F_{v,Ed}$	yksittäisen pultin leikkausrasitus
$F_{v,Rd}$	yksittäisen pultin leikkaukskapasiteetti
$M_{Ed,y}$	taivutusmomentin mitoitusarvo y-y-akselin suhteen
$M_{Ed,z}$	taivutusmomentin mitoitusarvo z-z-akselin suhteen
$M_{el,Rd}$	päätylevyn momenttikapasiteetti
$N_{Ed}$	normaalivoiman mitoitusarvo
$N_{Ed,pl}$	päätylevyyn kohdistuva vetorasitus
$V_{Ed,y}$	leikkausvoiman mitoitusarvo y-y-akselin suhteen
$V_{Ed,z}$	leikkausvoiman mitoitusarvo z-z-akselin suhteen
$b_{eff,1}$	pulttiryhmän efektiivinen leveys
$f_u$	teräksen vetomurtolujuuden nimellisarvo
$f_{ub}$	pultin vetomurtolujuuden nimellisarvo
$f_y$	teräksen myötörajan nimellisarvo
$f_{yb}$	pultin myötörajan nimellisarvo
$m_y$	pultin ja laipan välimatka
$p_1$	kiinnittimien keskiövälietäisyys voiman vastaisessa suunnassa
$p_2$	kiinnittimien keskiövälietäisyys voiman suunnassa
$t_f$	laipan paksuus
$t_w$	uuman paksuus
$w$	yksittäisen pulttiryhmän rinnakkaisten pulttien välimatka
$\beta_w$	pienahitsin korrelaatiokerroin
$\gamma_{M0}$	osavarmuuserroin teräkselle
$\gamma_{Mb}$	osavarmuuserroin pultille
$\gamma_{M2}$	osavarmuuserroin liitososille
$\sigma_{Rd}$	päätylevyyn kohdistuva puristusjännitys

## KÄSITTEET

**.dwg** on tiedostomuoto, jota käytetään tallentamaan kaksi- tai kolmiulotteisia suunnitelmia.

**.NET Framework** on Microsoftin kehittämä ohjelmistokomponenttikirjasto, jota Microsoftin VisualStudio.NET-ympäristössä kehitetyt ohjelmistot käyttävät.

**A&D ohjelma** (analyse & design) on rakennemallin mitoittamiseen ja geometriseen analysointiin käytetty ohjelma.

**BIM** (building information model) on tuote- eli tietomalli, joka on rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa. Tietomallissa määritetään myös rakennuksen geometria, joka esitetään kolmiulotteisesti havainnollisuuden ja erilaisten simulointitarpeiden vuoksi.

**C++** on ohjelmointikieli.

**C#** on ohjelmointikieli.

**CAD-suunnittelu** (computer aided design) tarkoittaa tietokoneavusteisella suunnitteluohjelmalla tehtävää suunnittelua.

**CLR** (Common Language Runtime) on yhteisellä managed-ohjelmointikielellä tulkattu koodi, jota voidaan tulkata useilla eri alustoilla.

**Column-splice** on pilarin jatkosliitos.

**Custom-komponentti** on Tekla Structures -ohjelmistossa itse tehty liitoskomponentti.

**ESDEP** on lyhenne nimestä European Steel Design Education Programme, joka on EU- ja EFTA-maiden terästeollisuuden rahoittama projekti. Projektin tarkoituksena on koota kaikki parhaat resurssit ja tietämys osanottajamailta, jotta voidaan laatia mahdollisimman monipuolinen koulutuspaketti teräsrakenteiden suunnittelusta ja valmistuksesta.

**Excel** on Microsoft yrityksen taulukkolaskentaohjelma.

**Formi** on ohjelman ulkoasu.

**IDE** on integroitu kehitysympäristö kuten Microsoft yrityksen Visual studio.

**INP-tiedosto** on custom-komponentin käyttövalikon ulkoasun määrittävä tiedosto.

**IntelliSense** on Visual C# kehitysympäristössä oleva täydennyshaku ominaisuus.

**List Box valikko** on Mathcad-ohjelmistossa oleva rullavalikko johon voidaan lisätä muuttujia.

**Managed-koodi** on alustariippumaton koodi.

**Natiivikoodin** on binäärinen koodi, joka toimii vain tietyllä alustalla.

**Plugin-komponentti** on Tekla Structures -ohjelmiston laajennettu liitoskomponenttisovellus.

**RFI** -työkalu (request for information) on Tekla Structures -ohjelmiston sisällä oleva tiedustelutyökalu, jolla voidaan tiedustella mallinnettavan rakenteen osien tietoja.

**Tekla Open API** on Teklan kehittämä avoin ohjelmointirajapinta, jonka avulla voi kehittää lisäsovelluksia ja lisätoimintoja Tekla-mallinnusympäristössä ja integroida ne omaan ympäristöön.

**TopMostMessageBox** on C#-ohjelmoinnissa käytetty ilmoitusikkuna, jolla voidaan tehdä esimerkiksi varoituksia ohjelmiin.

**Visual C#** Visual studio -ohjelmiston kehitysympäristö, joka on tarkoitettu C# ohjelmoinnista varten.

**XBOX 360** on Microsoft yrityksen pelikonsoli.



# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tehdään mitoituskomponentti Tekla Structures -ohjelmistoon. Mitoituskomponentti on tarkoitettu pilareiden päätylevyjatkosliitokseksi (Column-Splice-liitos). Päätylevyjatkosliitos (Column-Splice-liitos) on tarkoitettu normaaleille valssatuille avoprofiileille. Mitoituskomponentti toimii tavallisen liitoskomponentin tavoin, mutta sillä voidaan lisäksi tarkastaa liitoksen kestävyys liitosta kuormittavien voimien avulla. Mitoituskomponentti tehdään custom-komponentin ja plugin-komponentin avulla. Liitoksen mitoituksen tekee Mathcad-ohjelmisto, joka on linkitetty Tekla Structures -ohjelmaan C#-ohjelmointikielen avulla. Ohjelmointi on toteutettu Visual Studio -ohjelmistolla, Visual C# -ympäristössä.

Tekla Structures -mitoituskomponentin lisäksi opinnäytetyöhön kuuluu tehdä käsinlaskentapohjat vastaavaan tilanteeseen. Käsinlaskentapohjia tulisi pystyä käyttämään yksittäisinä mitoituskortteina tilanteesta riippumatta. Käsinlaskentapohjat tehdään Tekla Structures -mitoituskomponenttia varten tehtyjen mitoituskorttien pohjalle. Käsinlaskentaan tarkoitetut mitoituskortit muistuttavat vahvasti mitoituskomponentin Mathcad-kortteja.

Opinnäytetyön tärkeimmät vaiheet ovat mitoitus tilanteeseen tutustuminen, teräksen ominaisuuksien tutkiminen, custom-komponentin teko, plugin-komponentin teko sekä mitoituskorttien teko. Mitoitus tilanteen lähtötietoina käytettiin aikaisempia mitoituskortteja ja muuta aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Myös ESDEP:n (European Steel Design Education Programme) internetsivuilta löytyy tietoa teräksestä materiaalina sekä sen käyttäytymisestä ja ominaisuuksista yleisesti. Tekla Structures -ohjelmiston komponentteja varten Tekla on tehnyt paljon opetusmateriaalia.

Opinnäytetyöhön on valittu Tekla Structures -ohjelmisto, koska se on yksi johtavista tietomallinnusohjelmistoista, joita käytetään rakennus alalla. Tulevaisuudessa rakentaminen toteutetaan yhä useammin tuote- eli tietomallien avulla. Mathcad-ohjelmisto on valittu opinnäytetyön laskentakorttien tekoon, koska

Mathcad-ohjelmiston ja Tekla Structures -ohjelmiston välillä ei ole Teklan puolesta valmista linkitystä. Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena on tutkia, miten linkitys onnistuisi.

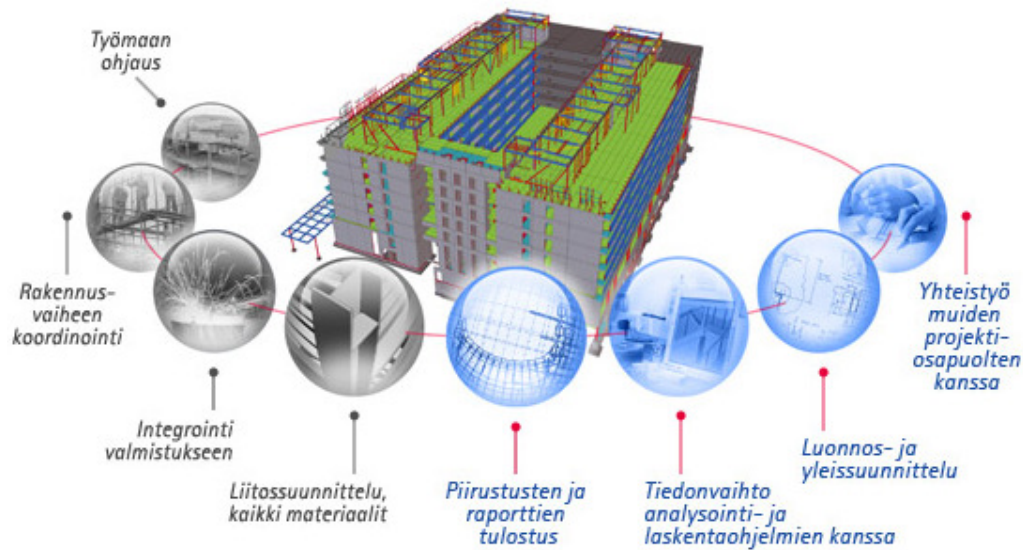
## 2 MALLINTAMINEN

Rakennusten suunnittelu ja suunnitelmien esittäminen kehittyi koko ajan. 1990-luvun aikana käsin piirtämisestä siirryttiin digitaaliseen CAD-suunnitteluun, joka oli tietokoneavusteista. Nyt perinteinen kaksiulotteinen CAD-suunnittelu tai CAD-piirtäminen on siirtymässä sivuun ja kolmiulotteinen suunnittelu (3D) valtaa rakennusalaan.

Kolmiulotteisen suunnittelun lisäksi nykyisin pyritään keskittämään niin paljon tietoa kuin mahdollista yhden kolmiulotteisen mallin alle, tuotemalliksi. Suunnittelun kannalta tuotemalli antaa paljon enemmän mahdollisuuksia tarkempaan ja monipuolisempaan suunnitteluun aikaisempiin tapoihin verrattuna. (Penttilä, Nissinen & Niemioja 2006.)

*Tuotemallintaminen on kokonaisvaltainen, integroitu tapa hallita rakennushankkeen tietoja digitaalisessa muodossa. Tuotemallin avulla rakennusten suunnittelussa, toteuttamisessa, käytössä ja ylläpidossa tarvittava tieto on hallittavissa paremmin kuin perinteisiä piirustuksia käytettäessä. Piirustukset ovat tarkoitettu ihmisten luettaviksi, tulkittaviksi ja ymmärrettäviksi. Tuotemallimuotoinen tieto on tarkoitettu ihmisten lisäksi myös tietokoneohjelmien ja tietojärjestelmien luettavaksi ja tulkittavaksi. (Penttilä ym. 2006, 8.)*

Tuotemalli eli tuotetietomalli (product model, product data model) kuvaa tuotteen rakenteen ja sisältää sen tuottamiseen, sekä sen käyttämiseen tarvittavan tiedon. Englanninkielinen termi BIM (building information model) kuvaa hyvin sitä että tuotemallissa on nimenomaan kyse tietojen mallista (Kuva 2.1).



Kuva 2.1 Tekla Structures BIM (building information model) (Tekla a.)

*Tuotemallintaminen eroaa kolmiulotteisesta (3D) mallintamisesta siten, että CAD-ohjelmilla esitetyn rakennuksen kolmiulotteisen muodon kuvauksen lisäksi tuotemalliin liittyy myös rakennuksen osien ja niihin liittyvien tietojen kuvaus. Visuaalisesti tuotemalli ilmenee tosin yleensä kolmiulotteisena suunnitelmana, jossa rakenteet kuvataan viivojen sijaan kolmiulotteisina kappaleina. (Penttilä ym. 2006, 3.)*

Tuotemallintaminen kehittyi koko ajan, ja tuotemallin olemassaolon näin alkuvaiheessa kehittyminen on varsin voimakasta. Markkinoille on tullut varsin tehokkaita suunnittelutyökaluja, jotka tukevat tuotemallintamista. Suomi on yksi ohjelmistokehittäjien kärkimaista. Tuotemallintamiseen soveltuvia ohjelmistoja on jo käytössä monissa yrityksissä, mutta niitä käytetään vielä perinteiseen tapaan piirtämiseen, havainnollisen informaation tuottamiseen. Tällä hetkellä yksittäisistä hankkeista saadut kokemukset tuotemallintamisesta tulevat luultavasti näyttämään suuntaa kokonaan uuden tavan toimintatavoille. Uudet toimintatavat tulevat ulottumaan koko rakennusalaan. Teräsrakenteita suunnittelevat yritykset ovat olleet edelläkävijöitä 3D-mallintamisen ja BIM-mallintamisen saralla. Teräsrakenteita on suunniteltu 3D-mallin avulla jo 1990-luvun alusta lähtien. Esimerkiksi WSP Finland (tuohon aikaan Kortes) mallinsi ensimmäiset kattilalaitoksen rungot SteelCad-ohjelmistolla jo vuonna 1992. Teräsrakennesuunnittelu on BIM-suunnittelun osalta muuta rakennesuunnittelua noin vuosikymmenen edellä.

Tulevaisuudessa yhden tuotemallin alla on suurin osa rakentamiseen liittyvistä tiedoista kuten:

- suunnitelmadokumentit
- havainnollistavat mallit
- aikataulut
- mitta- ja määrätiedot
- kustannukset
- kiinteistönhallinnan lähtötiedot.

Tuotemallintaminen leviää nopeasti rakennusalaalla ja sille on asetettu suuret kehitysodotukset. Kuvassa 2.2 on esitetty tuotemallintamisen eri vaiheet.

*Tuotemalliin tallennetaan ja siitä saadaan tietoa mm. rakennuksen tiloista, rakenteista, niiden ominaisuuksista, mitoista ja määristä. Tuotemallin avulla tietoa voidaan tallentaa ja siirtää rakennushankkeen osapuolten välillä luotettavammin ja monikäyttöisemmin perinteisiin menetelmiin verrattuna. Tiedon tallentamisen lisäksi tuotemallintamiseen liittyvät erittäin keskeisesti myös rakennushankkeen eri osapuolten välisen yhteistoiminnan periaatteet:*

- *miten tuotemalli tehdään*
- *kuka tuotemallin tekee*
- *mitä tietoja tuotemalliin sisällytetään*
- *mitä ja missä tarkoituksessa tuotemallin tietoja on tarkoitus käyttää*  
(Penttilä ym. 2006, 9.)

#### Mallintamisen teoreettiset vaiheet



Kuva 2.2 Tuotemallintamisen vaiheet (Penttilä ym. 2006, 9)

## 2.1 Mahdollisuudet

Tuotemallintamisen käyttöönotto suunnittelu- ja rakentamisprosessissa tuo lisä-arvoa koko rakennusprojektille. Tuotemallipohjainen suunnittelu parantaa hankkeen kokonaisprosessin hallintaa verrattuna aikaisempiin menetelmiin. Se tehostaa suunnitteluprosessia sekä nostaa rakentamisen laatua ja tuottavuutta.

*Tuotemallipohjainen suunnittelu tuo rakennushankkeen eri osapuolille uusia hyötyjä ja mahdollisuuksia. Osa hyödyistä koituu kaikille osapuolille, kun taas osa kohdistuu vain jollekin osapuolelle. Tuotemallipohjaiset toimintatavat tarkoittavat myös eri osapuolten tehtävien uudelleen järjestelyä. Suunnittelijoiden, rakentajien ja tuoteosatoimittajien väliset tehtävät ja työnjako tulee tuotemallipohjaisessa toimintaympäristössä muuttumaan. Mallipohjaisten mahdollisuuksien hyödyntäminen ei tapahdu hetkessä vaan se edellyttää pitkäjänteitä kehitystoimintaa. (Valjus, Varis, Penttilä & Nissinen 2007, 11.)*

Tuotemallipohjainen suunnittelu antaa erittäin hyvät puitteet koko rakennuksen elinkaaren huomioonottavalle päätöksenteolle. Päätöksen teossa ovat mukana rakennuttaja, tilaaja, suunnittelijat, rakentajat sekä käyttäjät (Kuva 2.3). Kun suunnitelmien yhteensovitus helpottuu ja suunnitelmien ristiriidat vähenevät, rakennuttajien on mahdollista lyhentää rakennusprosessin läpivientiaikaa. Samalla havainnollisuus paranee. Suunnittelijoiden näkökulmasta suunnitelmien yhteensovitus, havainnollisuus ja muunneltavuus helpottuu. Rakennusprojektien määrälaskenta ja kustannustiedon hallinta tehostuu ja tarkentuu, mikä helpottaa tuotetoimittajien ja rakentajien toimintaa. (Valjus ym. 2007.)



Kuva 2.3 Tuotemalli ja sen käyttäjät (Tekla b.)

## 2.2 Edellytykset tietomallipohjaiselle suunnittelulle

Rakentamisalalla pitäisi pyrkiä pois vanhoista kaavoista ja lopettaa sellainen tekeminen, joka perustuu ajattelutapaan, ”onhan näin ennenkin tehty”. Perinteinen CAD-suunnittelu on palvellut hyvin, mutta kehittyäkseen alan pitää oppia sekä omaksua aina jotain uutta. Tuotemalli- eli tietomallipohjainen suunnittelu ja rakentaminen on nykyaikaista ja sitä pitäisi suosia.

Tuotemallipohjaisen toimintatavan leviämisen edellytyksenä on se, että tilaajat vaativat tuotemallia. Tilaajien tulisi olla tietoisia omista mahdollisuuksista ja heidän pitäisi ymmärtää vaatia tätä mahdollisuutta. Myös ohjelmistojen, joita käytetään, tulisi tukea mallintavaa suunnittelua. Kaikilla rakentamiseen ja kiinteistönpitoon osallistuvilla osapuolilla pitäisi olla osaamista käyttää tietomallia aina betonielementtitehtailta kiinteistöhuoltoyrityksiin.

Rakennusalalla paljon käytössä olleet projektipankit eivät vielä juurikaan hyödynnä tuotemalliperusteisen suunnittelun mahdollisuuksia. Nykyään koottu tieto on suurimmaksi osaksi 2D-muotoista, eikä projektipankkeja voi hyödyntää 3D-mallien kanssa.

## 2.3 Kehitysalueet

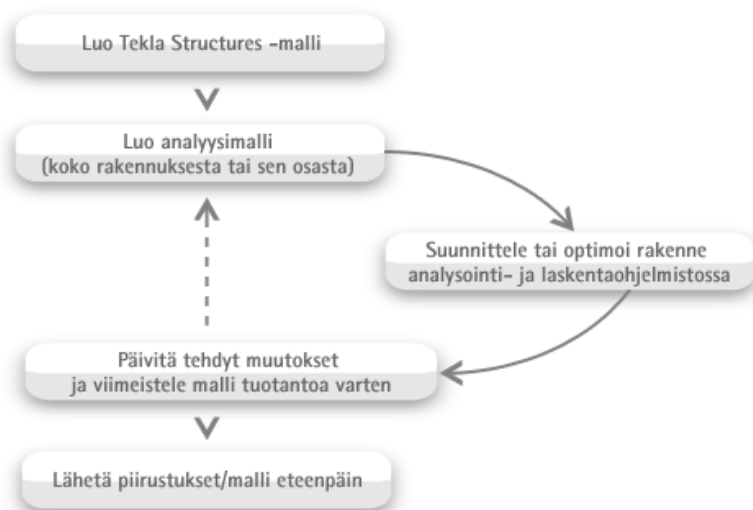
*Mallintavan rakennesuunnittelun alueelta löytyy jatkokehitettävää mm. suunnittelutyökalujen, ohjeistuksen sekä rakennekirjastojen osalta. Esimerkiksi ohjelmistojen piirustusten luomiseen tarkoitetut työkalut ovat vielä puutteellisia. Katava ”statiikkamoottori” linkitettyä tuotemalliohjelmistoon on myös tärkeä rakennesuunnittelijalle. Keskitetysti hallinnoidulle rakenneosa- ja liittymäkirjastolle on myös selkeä tarve. (Valjus ym. 2007, 9.)*

Rakennesuunnittelijan rooli kasvaa tuotemallipohjaisen suunnittelun myötä, paremman kokonaishallittavuuden ansiosta. Rakennesuunnittelijoiden rooli kasvaa myös rakennusten turvallisuuskäytäntöjen perusteella. Eri haasteet, joita tuotemallintaminen antaa rakennesuunnittelijoille, pitää ottaa vastaan. Tämän takia toimivien statiikka- ja mitoitusohjelmien integrointi osaksi rakennesuunnittelun tuotemallintamistapaa on tärkeää. Nykyiset ohjelmat eivät mahdollista eri suunnittelijoiden toimimista samassa tuotemallissa, ja rakenteiden staattinen malli pitää tehdä eri ohjelmalla. (Valjus ym. 2007, 8.)

Nykyisin rakennusprojektin liitososat ja liitoksien käyttöasteet ovat esimerkiksi Excel-taulukossa, jonka perusteella mallia tekevä suunnittelija valitsee malliin sopivan liitososan. Koska mitoituksia ja mallia tekevät suunnittelijat voivat olla jopa eri paikkakunnilla, olisi erittäin tarpeellista kehittää BIM-mallin sisään turvallisempi tapa välittää tietoa mitoituksen ja mallintamisen välillä. Käsintäytetyissä taulukoissa voi olla syötettynä vääriä arvoja väärille liitoksille, tai taulukon lukija voi katsoa taulukosta väärin jonkun arvon. Rakennesuunnittelijoiden vastuu kasvaa tulevaisuudessa kokoajan kehittyvien BIM-mallien myötä. Näin ollen myös rakennesuunnittelijoilla käytössä olevien työkalujen tulee kehittyä samaa vauhtia. Kehittyneet suunnittelutyökalut karsivat myös mahdollisia virheitä, joita voi tulla, kun aikataulupaineet kohdistetaan suunnittelijoihin.

*Useisiin tuotemallinnusohjelmiin on liitetty mahdollisuus käyttää jotain rakenteiden mitoitusohjelmaa, esimerkiksi Tekla Structures/Staad. Joissakin mallinnusohjelmissa on tietyille mitoitusohjelmille kehitetyt tiedonsiirto-ominaisuudet, esimerkiksi Enterprixe/Staad ja Robot. Useat mitoitusohjelmat pystyvät lukemaan yleisimpiä CAD-formaatteja ja luomaan niistä laskentamallin kohtuullisella työllä. Statiikka- ja mitoitustoimintojen toimiva integrointi tuotemallinnusohjelmistoon tai tiedonsiirto-ominaisuuksien parantaminen ohjelmien välillä on rakennesuunnittelun kokonaisuuden hallinnan kannalta erittäin tärkeää. (Valjus ym. 2007, 35.)*

Seuraava askel tuotemallintamisessa on saada statiikkamoottori tuotemallin sisään, ettei tietoa tarvitsisi siirtää ohjelmasta toiseen. Tällä hetkellä rakenteiden mitoitus tapahtuu niin, että rakenteen staattinen malli on omassa ohjelmassa, tuotemalli on omassa ohjelmassa ja mitoitus tapahtuu yksittäisillä mitoituskortteilla tai ohjelmilla, jotka ovat kokonaan riippumattomia tuotemallista sekä staattisesta mallista (kuva 2.4). Yksittäisten mitoituskorttien huono puoli on se, että ei ole varmuutta siitä, onko esimerkiksi liitosta mitoittava mitoituskortti suunniteltu ottamaan huomioon samat ilmiöt, jotka pitäisi ottaa huomioon tuotemallin liitoksessa. Kun yrityksellä on paljon yhteisiä ”jonkun suunnittelijan” tekemiä mitoituskortteja, virheiden mahdollisuus kasvaa.



**Kuva 2.4 Tuotemallin ja analyysimallin yhteys (Tekla c.)**



Tuotemallintaminen ei ole vielä kehittynyt niin pitkälle, että voitaisiin siirtyä suoraan suunnitteluun, jossa staattinen malli, tuotemalli ja mitoituskortit olisivat samassa ohjelmistossa.

Opinnäytetyö sijoittuu välivaiheeseen, jossa staattinen malli on omassa ohjelmassa, mutta esimerkiksi liitoksia mitoittavat mitoituskortit ovat tuotemallissa ja ne yksilöidään vastaamaan tuotemallin liitoksia. Yhdistämällä mitoituskortit ja tuotemalli poistetaan se riski, että suunnittelija valitsisi väärän tai huonosti sopivan mitoituskortin mitoittettavaan rakenteeseen tai liitokseen. Ohjelmistoja, joita opinnäytetyön valmiin mitoituskomponentin ansiosta tarvitsee käyttää, ovat Tekla Structures -ohjelmisto sekä Staad-ohjelmisto. Yksittäisiä mitoituskortteja ei tarvitse enää etsiä yrityksen omista tietopankeista.

### 3 TEKLA STRUCTURES -TIETOMALLINNUSOHJELMISTO

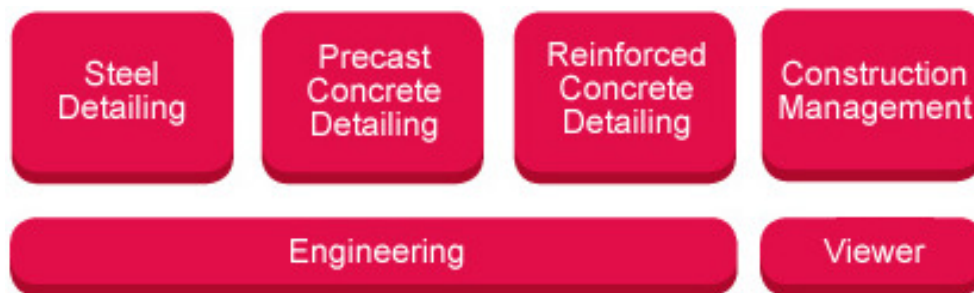
Tekla Structures -tietomallinnusohjelmisto on opinnäytetyön keskeinen työkalu. Ohjelmistosta löytyy kattavasti tietoa Teklan omilta internetsivuilta.

*Tekla Structures on rakennuksen tietomallinnus (BIM) -ohjelmisto, jolla voi luoda ja hallita tarkasti detaljoituja, rakentamisen prosesseja tukevia kolmi- ja nelikulotteisia rakennemalleja. Tekla-mallia voi hyödyntää rakennusprosessin kaikissa vaiheissa luonnossuunnittelusta valmistukseen, pystytykseen ja rakentamisen hallintaan. (Tekla d.)*

Tekla Oyj, alkuperäiseltä nimeltään Teknillinen laskenta Oy, perustettiin vuonna 1966 teknistä suunnittelua tekevien suomalaisten insinööritoimistojen toimesta. Teknillinen laskenta Oy perustettiin, koska yksittäisten insinööritoimistojen ei kannattanut tehdä omia tietokoneohjelmia. Koska Tekla Oyj:n perustajina ovat toimineet Teklan asiakkaat, ovat Teklan nykyisetkin arvot asiakaspohjaisia. Ohjelmistoja kehitetään asiakkaiden kanssa yhdessä ja yrityksen vahvuus perustuu vahvaan teknologiakehitykseen. (Tekla e.)

Tekla Oyj:llä on viisitoista toimistoa ympäri maailmaa ja pääkonttori on Suomessa, Espoossa. Liikevaihto vuonna 2009 oli 50 miljoonaa euroa ja liiketulos vajaat 7 miljoonaa euroa. Tekla Oyj:llä on kaksi liiketoiminta-aluetta: Building & Construction, jonka osuus vuoden 2009 liikevaihdosta oli 73 prosenttia, ja Infra & Energy, jonka liikeosuus oli 27 prosenttia. Kansainvälisen liiketoiminnan osuus on yli 80 prosenttia liikevaihdosta. Asiakkaita Tekla Oyj:llä on lähes 100 maassa. Konsernin palveluksessa on lähes 500 henkilöä, joista noin 200 Suomen ulkopuolella. (Tekla f.)

Tekla Structures -ohjelmisto on tarkoitettu rakennesuunnitteluun, rakenteiden valmistukseen sekä työmaan ja rakentamisen hallintaan, eli rakennustuotantoon. Ohjelmistoa voi täydentää erilaisilla sovelluksilla kuten Project Managerilla, jolla voi hallita ja seurata rakennusprojektia. Kuvassa 3.1 on esitetty Tekla Structures -ohjelmistokokoonpanoja.



Kuva 3.1 Tekla Structures -ohjelmistokokoonpanot (Tekla g.)

Tekla Structures -ohjelmistolla voidaan tehdä sekä luonnos- että yleissuunnittelua mutta myös erittäin pitkälle vietyä detaljisuunnittelua. Ohjelmistolla voidaan vaihtaa tietoa muiden analysointi- ja laskentaohjelmien kanssa ja tulostaa erilaisia dokumentteja kuten piirustuksia ja raportteja. Tekla Structures tukee dwg-tiedonsiirtomuotoa, ja sen pohjalta voidaan kehittää yrityksille omia, yrityksille räätälöityjä toimintoja. (Tekla h.)

Tekla Structures -ohjelmistossa raportit ja piirustukset on keskitetty yhteiseen mallin sisällä olevaan tietokantaan. Yhteisellä tietokannalla varmistetaan, että kaikki muutokset päivittyvät piirustuksiin ja raportteihin. Piirustukset ja raportit ovat tärkeää viestintää suunnittelijan ja urakoitsijan välillä. Niiden avulla kerrotaan mitä, missä ja miten rakennetaan. Piirustusten tulee olla selviä, tarkkoja ja helppolukuisia ja niiden tulee sisältää kaikki tarvittavat tiedot.

Tekla Structures -ohjelmisto nopeuttaa projektiin osallistuvien työskentelyä ja sillä on mahdollista tehdä tarkempia kustannuslaskelmia kuin perinteisillä ohjelmilla. Etenkin tämä ominaisuus auttaa rakennussuunnittelutoimistoja pärjäämään tarjouskilpailussa. Ohjelmisto sopii yhteen tuotannon- ja resurssienohjausjärjestelmien sekä koneautomaatiojärjestelmien kanssa.

Tekla Structures -ohjelmistolla voidaan myös hallita projektin tietoja ja niiden jakamista. Rakennesuunnittelijan tekemään malliin voi esimerkiksi lisätä tietoja ja ohjeita työmaan rakentamista varten. Ohjelmistolla voi myös valvoa rakentamisen edistymistä. Ohjelmistolla pystytään lisäksi tarkastelemaan aikatauluja ja arvioimaan hankkeen rakentamisen kustannuksia.

### **3.1 Tekla Structures -ohjelmistokokoonpanot**

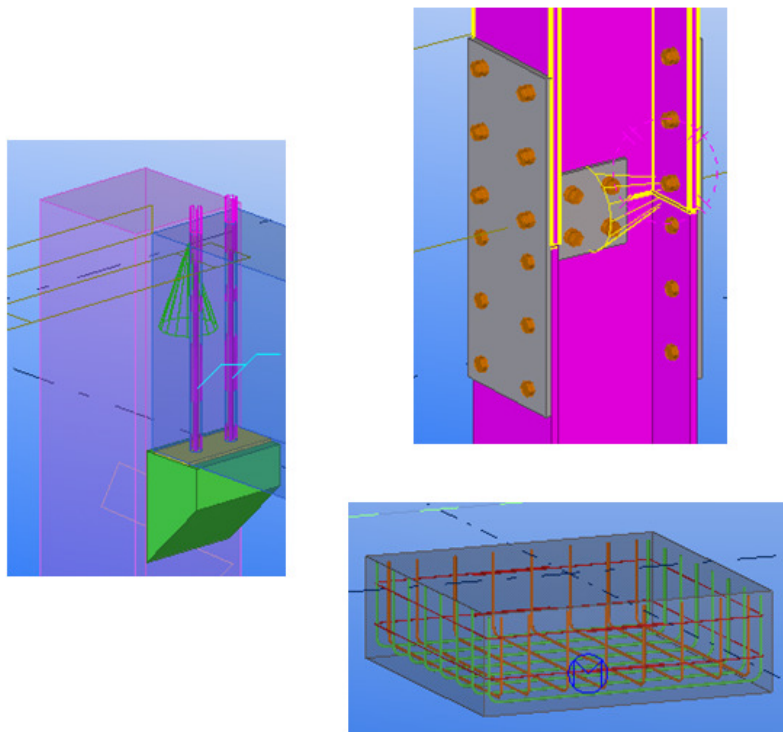
Tekla Structures-ohjelmisto jakautuu useaan eri osaan riippuen siitä, millaista suunnittelua haluaa tehdä. Tekla Structures -ohjelmistokokoonpanot ovat:

- Tekla Structures, Full
- Tekla Structures, Construction Management
- Tekla Structures, Steel Detailing
- Tekla Structures, Precast Concrete Detailing
- Tekla Structures, Reinforced Concrete Detailing
- Tekla Structures, Engineering.

Lisäksi on Tekla Structures Viewer -moduuli, jolla voi raportoida ja katsella rakenteen mallia internetiselaimen avulla, sekä Tekla Structures Drafter -moduuli, jonka avulla voi viimeistellä rakennuspiirustuksia keskitetyn 3D-rakennemallin pohjalta. Viewer soveltuu rakenteen esittelyyn ja konsultointiin rakennusprojektin eri vaiheissa.

Perinteistä rakennesuunnittelua varten tehdyt ohjelmistokokoonpanot ovat Tekla Structures Steel Detailing, Precast Concrete Detailing sekä Reinforced Concrete Detailing. Tekla Structures -ohjelmiston teräslisenssi on tarkoitettu teräsrakenteiden detaljisuunnitteluun. Malliin voidaan suunnitella hyvin tarkasti teräslitoksia, -osia, hitsejä, pultteja ja muuta teräsrakenteisiin liittyvää. Teräsosista saadaan osa- ja osakokoonpanokuvia, konepajasuunnittelua varten. Ohjelma tekee myös raportteja ja luetteloita esimerkiksi kokoonpanoista ja osista. Betonielementti-lisenssillä voidaan suunnitella yksityiskohtaisia elementtidetaljeja sekä betonielementtejä, ja paikallavalulisenssillä voidaan suunnitella esimerkik-

si raudoitteita betonirakenteiden sisään sekä muita paikalla valuun liittyviä detailjitoimintoja. Tekla Structures -ohjelmiston avulla saadaan betonielementti- ja raudituspiirustukset sekä raudoitteiden taivutускаaviot. Yleispiirustuksien tekeminen onnistuu muun muassa taso-, osa- ja asennuspiirustuksien muodossa. Parhaiten ohjelmistolla onnistuu yhä teräsosien mallinnus ja niiden kokoonpanojen tekeminen. Ohjelma numeroi eri osat automaattisesti ja pystyy luomaan eri kokoonpanoja ja yksityiskohtaisia osapiirustuksia. Kuvassa 3.2 on esitetty Tekla Structures Steel Detailing-, Precast Concrete Detailing- sekä Reinforced Concrete Detailing -detailjiesimerkkejä.



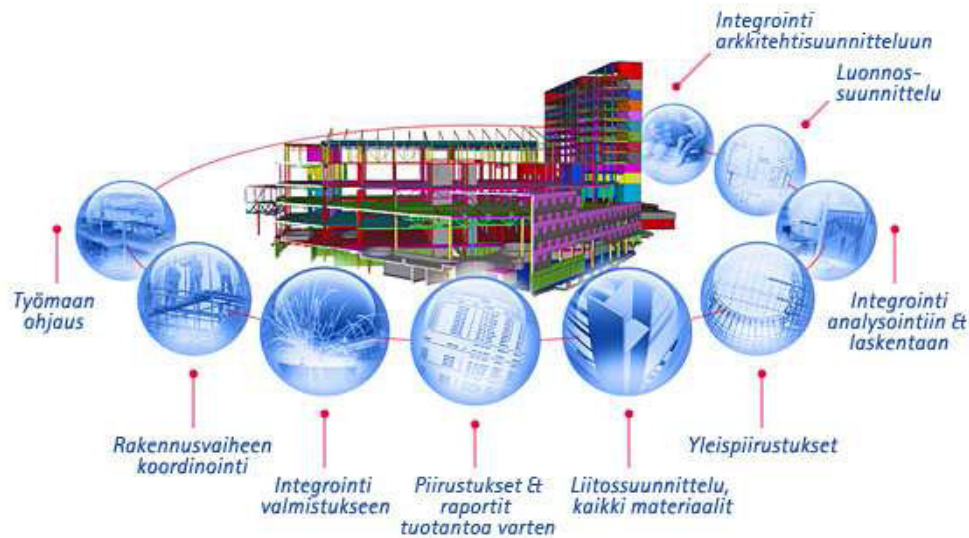
**Kuva 3.2 Eri ohjelmistokokoonpanojen detailjiesimerkkejä**

Tekla Structures Construction Management -ohjelmistokokoonpano on tarkoitettu projektin hallintaa varten. Kokoonpano sisältää rakennusprojektin hallinta- ja seurantatoiminnot. Sen avulla voi hallita ja välittää näitä tietoja toimitusvaiheesta asennukseen. Ohjelmiston avulla voi seurata projektitietoja sekä rakentamiseen liittyviä liiketoiminnallisia tietoja. Erilaisten näkymien avulla voi muuttaa ja lisätä rakennusobjekteihin liittyviä tietoja ja rakennushistorian voi esittää graafisessa muodossa. Visualisointi auttaa ongelmakohtien havaitsemista.

Tekla Structures Engineering -ohjelmistokokoonpano on tarkoitettu eri projektiosapuolten kesken yhteiseen käyttöön. Eri osapuolet voivat käyttää jaettua rakennemallia.

Tekla Structures Full -käyttölisenssin avulla voidaan tehdä kaikista rakenteista ja rakennemateriaaleista yksityiskohtaiset suunnitelmat. Full-käyttölisenssin avulla voi mallien lisäksi tehdä myös rakenteelle kuormitustarkasteluja. Full-ohjelmistokokoonpano voi määrittää myös työmaan rakenteiden asennusjärjestyksen ja tarkastella aikatauluja simulaation avulla. Tekla Structures Full on yhteensopiva analysointi- ja laskentaohjelmien kanssa, ja sen kautta pystytään vaihtamaan ohjelmistojen välistä tietoa 2D- ja 3D-muodossa. Full-lisenssin avulla pystytään myös visualisoimaan ja tarkastamaan mahdolliset päällekkäisyydet. Samaa mallia pystytään käyttämään yhtä aikaa muiden käyttäjien kanssa, ja sitä voidaan katsella internetselaimen avulla.

Tekla Structures sisältää valmiiksi detaljoitujen liitosten kirjaston. Liitoksia tai detaljeja voi lisätä teräsrakenteisiin, betonielementteihin ja paikallavaluihin. Detaljien teko onnistuu erikseen kolmiulotteisena visualisointina. Myös eri liitososien valmistajilta kuten Peikolta on mahdollista ladata komponentteja Tekla Structures -ohjelmistoon. Tekla Structures -ohjelmiston avulla kyetään hallitsemaan myös RFI-kyselyjä (*Request for Information*), mikä tarkoittaa lisätietojen pyyntöä tai kirjaamista, esimerkiksi osan pintakäsittelystä tai toimituksen tilasta. Kuvassa 3.3 on esitetty Tekla Structures -ohjelmiston ominaisuuksia.

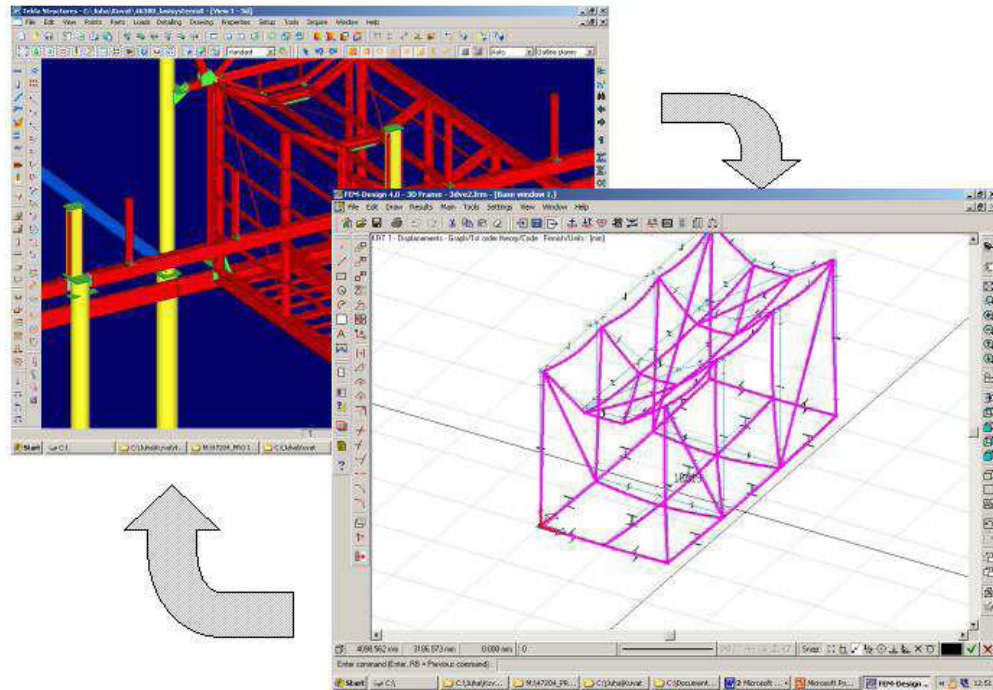


Kuva 3.3 Tekla Structures -ohjelmiston ominaisuuksia (Tekla i.)

Useissa alan mallinnusohjelmissa on sisäänrakennettuna mahdollisuus käyttää rakenteiden mitoitusohjelmaa tai niissä on tietyille mitoitusohjelmille kehitetyt tiedonsiirto-ominaisuudet. Tekla Structures -ohjelma integroidaan A&D-ohjelmiin (Analysis & Design -ohjelmiin) Tekla Open API -ohjelmointirajapinnan kautta. Tuetut järjestelmät ovat:

- SAP2000
- Staad.Pro
- S-FRAME
- GTStrudl
- Robot
- Dlubal RFEM
- RSTAB.

Mitoitusohjelmat pystyvät lukemaan CAD-formaatteja ja luomaan niistä laskentamallin. Statiikan ja mitoituksen sisältyminen mallinnusohjelmaan on tärkeä ominaisuus rakennesuunnittelun kokonaisuuden hallinnassa, varsinkin jos rakennesuunnittelua tekee projektissa useampi toimija (Kuva 3.4). Tekla Structures -ohjelmistolla voidaan analysoida myös rakennemallin geometriaa ja analyysimallin voi yhdistää muihin alan analysointiohjelmiin. Analyysiohjelmissa mallin hyväksytty data (profiili muutokset) voidaan siirtää takaisin Tekla-malliin, jolloin se päivittyy automaattisesti.



**Kuva 3.4 Tekla Structures -ohjelmiston ja A&D-ohjelmiston yhteys (Tekla j.)**

Ohjelmia yhdistettäessä mallit, piirustukset ja raportit voi yhtenäistää keskenään. Mallin tiedot voi yhdistää lisäksi analysointi- ja laskentaohjelmien laskentataulukoihin, ja suunnittelussa voi hyödyntää Excel-yhteensopivuutta.

Eurokoodit yhtenäistävät suunnittelukäytäntöjä Euroopassa, mikä laajentaa laskentaohjelmien markkinoita. Eurokoodipohjainen suunnittelu on otettu huomioon Tekla Structures -ohjelmistossa. Tekla Structures -tuotteessa löytyy mahdollisuus rakenteiden kantokyvyn analysointiin ja mitoitukseen eurokoodien mukaan. Tekla Structures for Engineering -ohjelmisto muodostaa analyysimallin automaattisesti rakennemallista, johon reunaehdot, kuormat ja kuormitusyhdistelyt on annettu. Varsinainen analysointi, mitoitus ja tulosten jälkikäsittely tapahtuu kuitenkin vielä Staad.Pro-laskentaohjelmassa. Rakenteiden mitoitusmahdollisuus sisältää kaikki välineet laskentamallin luomiseksi, kuormitusten määrittämiseksi ja rakenteen analysoimiseksi sekä mitoittamiseksi.



Mallin voi tuoda 3D-tiedostona suoraan StruCad- tai Tekla Structures -mallista. Staad.Prolla voi analysoida ja mitoittaa kaikkien rakennusten rakenteet, rakennelmat, sillat, ristikot, mastot ja nosturit. Analysoinnissa voidaan käyttää staattisia ja dynaamisia kuormituksia, liikkuvia kuormia ja tuulikuormia sekä niiden yhdistelyjä. Värähtelyjen analysointi on myös mahdollista. Rakenteesta voidaan tutkia koko rakenne tai vain sen osia. Tekla Structures -analyysi- ja mitoitusohjelmiston avulla voidaan kolmiulotteisia rakenteita tulkita helposti, sillä Tekla esittää tulokset graafisessa muodossa. Tulokset saadaan myös numeerisina raportteina. Analyysin osana voidaan näyttää jännitykset, voimat ja taipumat, ja mallia voidaan tarkastella yksityiskohtaisemmin esimerkiksi liitosten kohdalla.

### 3.2 Tekla Open API -rajapinta

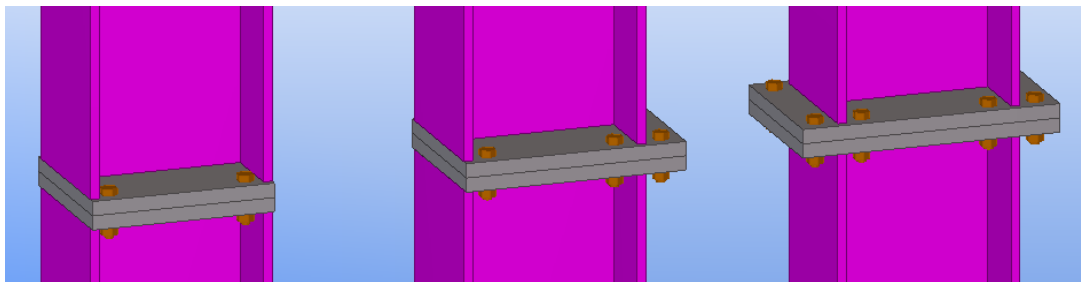
*Tekla Open API on Teklan kehittämä avoin API (Application Programming Interface) -ohjelmointirajapinta, jonka avulla voi kehittää lisäsovelluksia ja lisätoimintoja Tekla-mallinnusympäristössä ja integroida ne omaan ympäristöön. Tekla Open API on toteutettu Microsoftin .NET-tekniikan avulla, ja mitkä tahansa COM- tai .NET-yhteensopivat ohjelmat, kuten MS Accessiin, Exceliin tai Wordiin perustuvat tietokantasovellukset sekä MIS- ja ERP-järjestelmät voivat vastaanottaa dataa Tekla Structuresista, ajaa laskelmat ja palauttaa sitten tulokset takaisin malliin. (Tekla k.)*

Sovelluksia, jotka on kehitetty Tekla Open API -rajapinnan avulla toimimaan yhdessä Tekla Structures -ohjelmiston kanssa, kutsutaan laajennetuiksi sovelluksiksi. Laajennetut sovellukset voivat tallentaa ja suorittaa käyttöliittymän rajapintatoimintoja, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi tehtäessä päivittäisiä raportteja. Tekla Open API -rajapinnan avulla voidaan myös luoda automaatiotyökaluja. Automaatiotyökaluja voidaan hyödyntää esimerkiksi komponentteja ja detaljia tehtäessä. Open API -rajapinnan ja .NETin avulla voi luoda yhteyden toisiin ohjelmistoihin, kuten A&D-ohjelmistoihin, tai sen avulla voi tehdä kokonaan uuden työkalun Tekla Structures -ohjelmistoon. Tätä Teklan Open API-rajapintaa hyödynnetään opinnäytetyön plugin-komponentin teossa.

### 3.3 Tekla Structures custom-komponentti

#### 3.3.1 Pilarin jatkosliitos

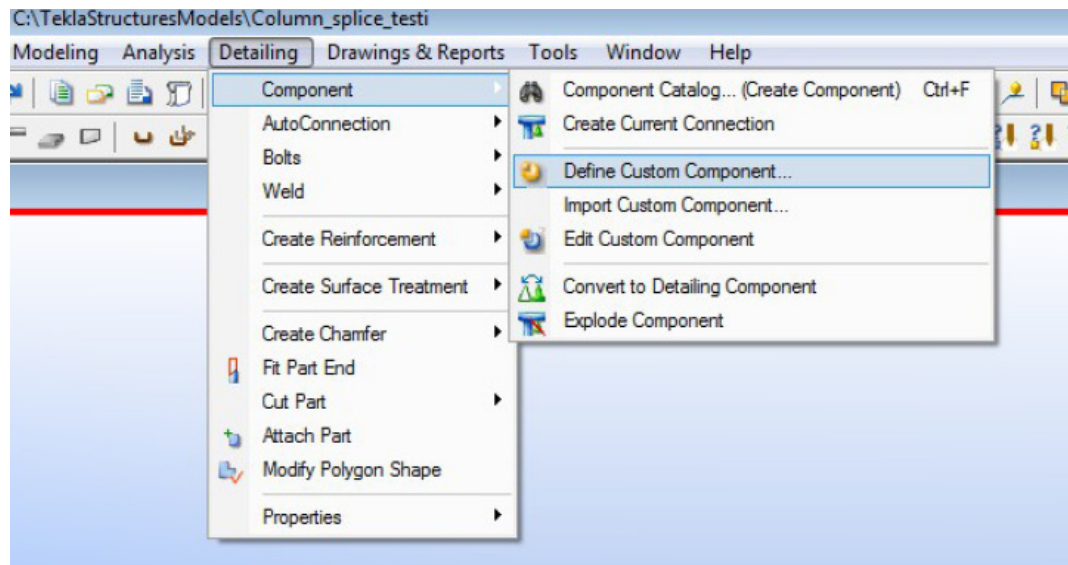
Opinnäytetyössä tehdään yksi päätylevyjatkosliitos teräspilarille, joka voi olla valssattu avoprofiili. Tätä jatkosliitosta muuntelemalla saadaan liitoksesta yhteensä kuusi eri variaatiota. Jatkosliitoksesta voi tehdä liitoksen, jossa kaikki pultit ovat avoprofiilien sisäpuolella. Lisäksi komponentilla voi tehdä seinälinjoille tarkoitetun toispuoleisen jatkosliitoksen sekä liitoksen, jossa pultit voivat tulla joka puolelta avoprofiilista yli. Näistä kolmesta eri liitostapauksesta (Kuva 3.5) voidaan vielä tehdä kustakin kaksi eri variaatiota lisäämällä pultteja.



Kuva 3.5 Kolme perustapausta jatkosliitoksesta

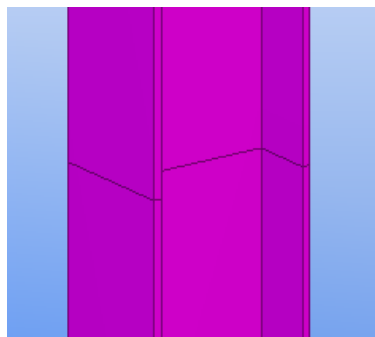
#### 3.3.2 Custom-komponentti

Tekla Structures -ohjelmaan on aluksi luotava sellainen custom-komponentti, joka toimii pilarin jatkosliitoksena. Tätä custom-komponenttia käytetään sitten myöhemmin hyödyksi tehtäessä mitoituskomponenttia. Custom-komponentti on käyttäjän luoma "älykäs" liitos, osa tai yksityiskohta jota voi käyttää mallissa. Custom-komponentti käyttäytyy samalla tavalla kuin Teklan omat komponentit. Opinnäytetyön komponentin tulee olla erittäin monipuolinen ja muuttuva. Custom-komponentin luonti tapahtuu hyvin johdonmukaisesti Tekla Structures-ohjelmiston neuvojen avulla (Kuva 3.6). Komponenttiin tuli rakentaa levyt, pultit, hitsit ja leikkausrajoennat. Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi, kuinka opinnäytetyön custom-komponentti on tehty.



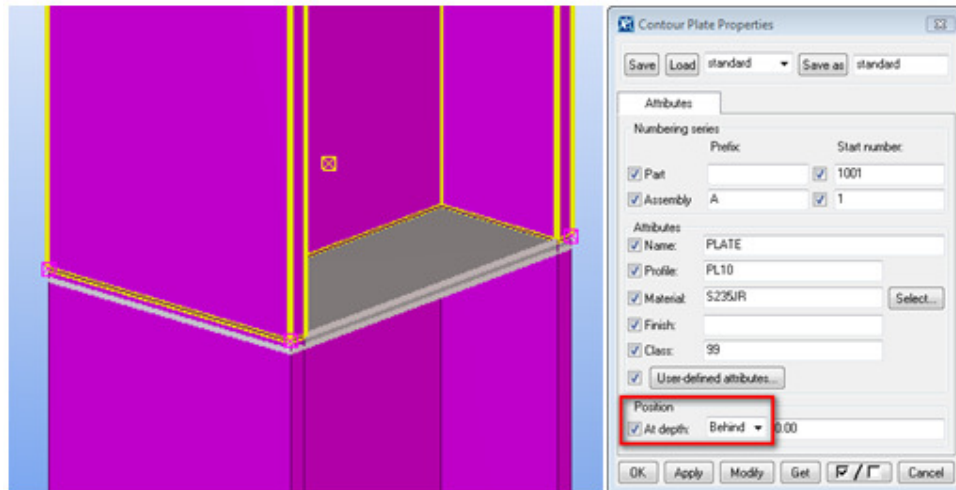
**Kuva 3.6 Define Custom Component**

Aluksi tuli luoda sellainen tilanne, johon liitosta voitaisiin käyttää. Koska lopullinen mitoituskomponentti on suunniteltu pilareiden jatkosliitokseksi ja tarkoituksena on käyttää teräksisiä avoprofiileja, alla olevan kuvan mukainen tilanne olisi sopiva (Kuva 3.7).



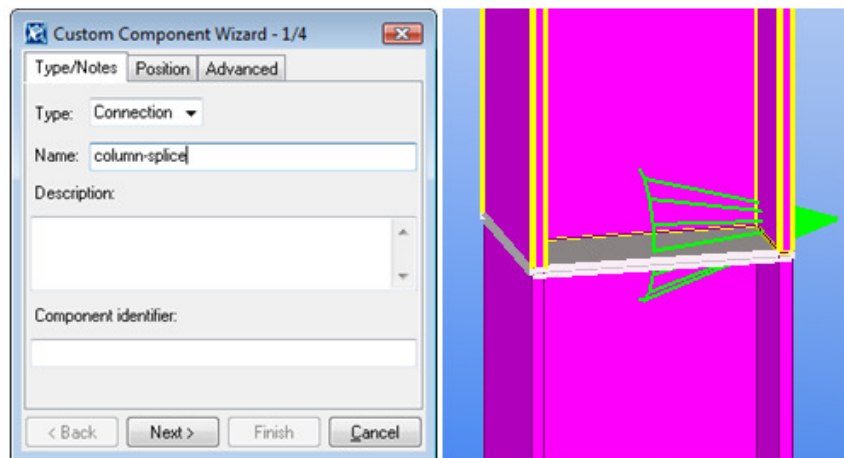
**Kuva 3.7 Pilariliitos**

Seuraavaksi lisätään päätylevy pilareiden väliin. Päätylevy toimii custom-komponentin alkiona, ja sen ympärille aletaan lisätä muita liitososia. Päätylevy pitää positioida behind-ominaisuudella, jotta se asettuu oikeaan paikkaan profiilien suhteen (Kuva 3.8).



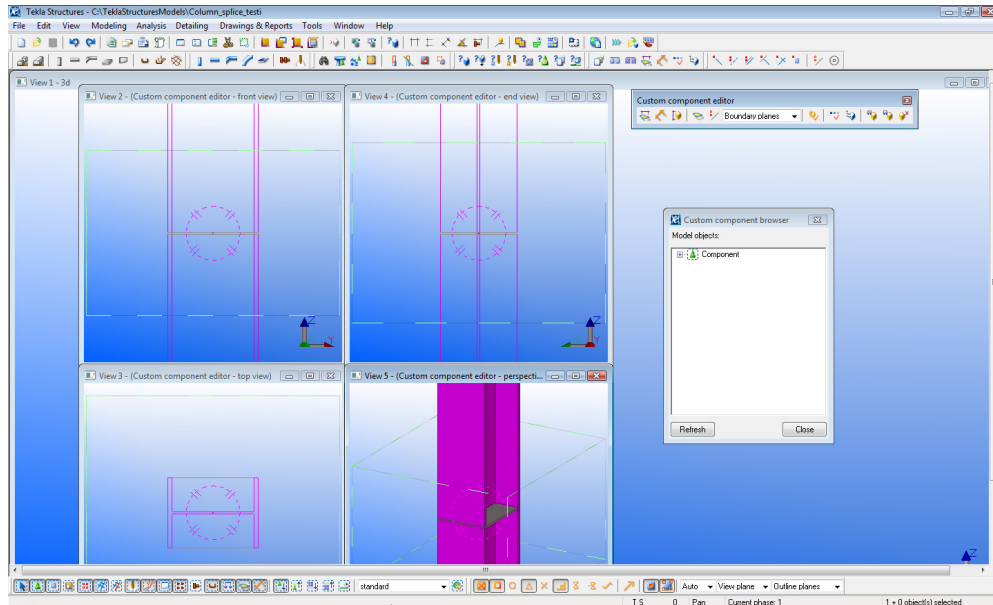
Kuva 3.8 Päätylevyn positiointi

Custom-komponentti tehdään Custom component wisardilla (Kuva 3.9). Component object main part -ominaisuudessa toimii alempi pilarin osa, ja Secondary part -ominaisuudessa toimii ylempi pilarin osa. Tämän jälkeen päätylevy saa komponentin tunnuksen, vihreän kartion.



Kuva 3.9 Custom Component Wizard

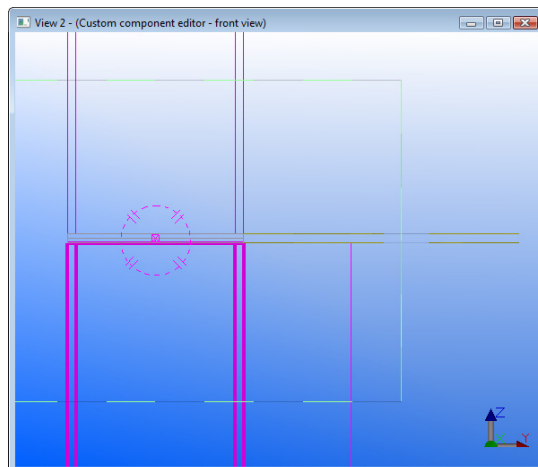
Nyt komponenttiin voidaan alkaa tehdä lisää osia. Osia lisätään Custom component -editorissa (Kuva 3.10), jonka saa auki klikkaamalla hiiren oikeaa näppäintä juuri luodun komponentin päällä.



**Kuva 3.10 Custom component editor**

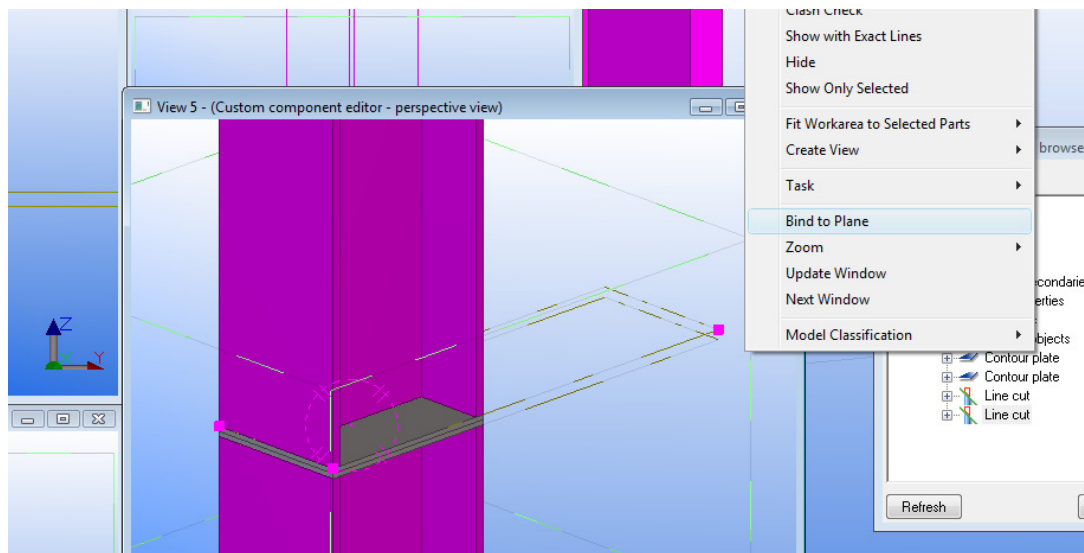
Levy, joka toimii custom-komponenttina, kopioidaan itsensä yläpuolelle. Yläpuolisen levyn positioksi laitetaan front. Näin levyt ovat pilareiden rajapinnassa.

Seuraavaksi profiilit pitää leikata cut part with line -työkalulla niin, etteivät ne ole levyjen kanssa päällekkäin (Kuva 3.11). Leikkaus tapahtuu sivuperspektiivistä kaikkein helpoiten. Kuvassa näkyvät keltaiset linjat ovat leikkauslinjoja.

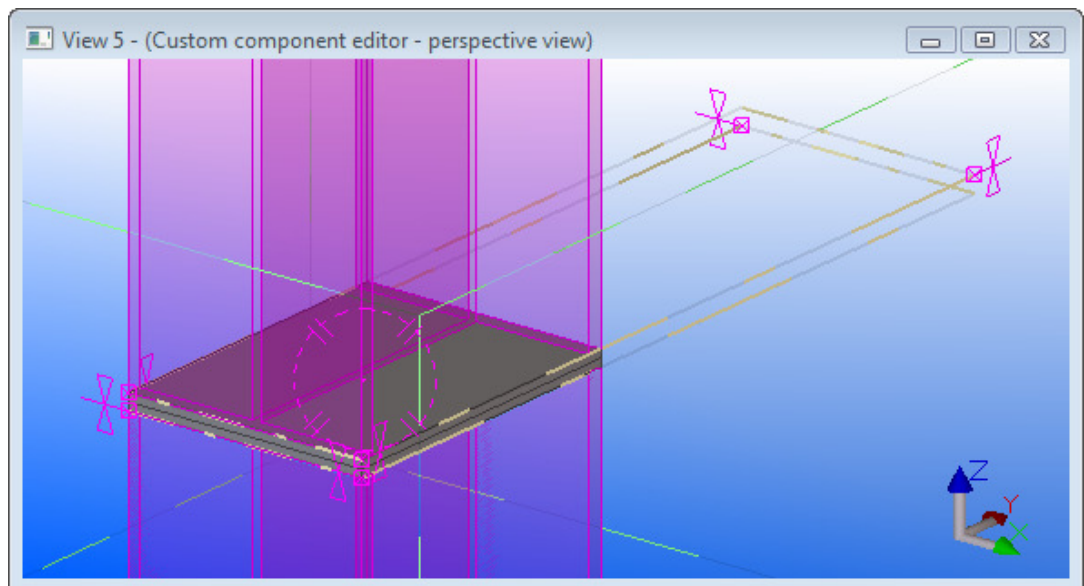


**Kuva 3.11 Leikkauslinjat**

Seuraavaksi leikkauslinjat pitää liittää päätylevyjen profiilipuolisiin tasoihin, jotta profiili leikkautuisi aina levyn tasosta. Leikkauslinjat ankkuroidaan (Bind to Plane) levyn tasoon kolmesta pinkistä ankkurointipisteestä alla olevan kuvan mukaisesti (Kuva 3.12). Kulmapisteiden kohdalle tulee ankkurointia symboloivat ruksit (Kuva 3.13).



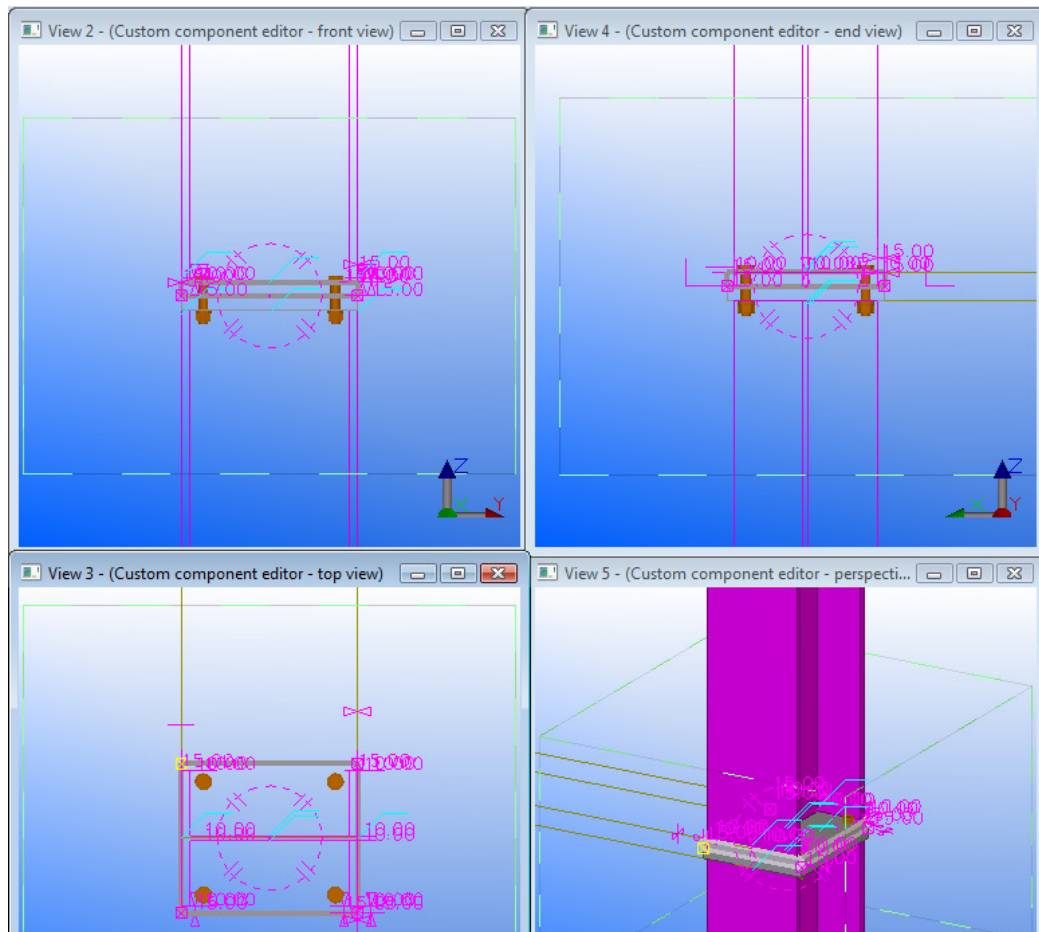
Kuva 3.12 Leikkauslinjojen reunapisteet



Kuva 3.13 Ankkuroidut reunapisteet

Samalla tavalla levyjen kulmat pitää ankkuroida profiilien sivuihin kiinni, jotta profiilin koon muuttuessa levynkin koko muuttuu. Ankkurointi on tärkeä ominaisuus, koska nyt kaikki custom-komponentin ominaisuudet muuttuvat pilariprofiilien parametrien muuttuessa.

Kuten päätylevy niin myös hitsit ja pultit pitää lisätä liitokseen custom component -editorissa. Hitsit ja pultit tulee myös ankkuroida oikeisiin kohtiin suhteessa päätylevyihin sekä pilareihin. Esimerkiksi hitsien tulee olla ankkuroituna päätylevyn ja pilarin liitoskohtaan koko pilarin ympäri, kuten hitsaus oikeastikin tehtäisiin. Pultit tulee ankkuroida niin, että ne ovat koko ajan oikeassa kohdassa pilariprofiilien suhteen. Myös pultin pään ja mutterin tulee olla koko ajan päätylevyn tasossa, vaikka päätylevyjen paksuutta muunneltaisiin (Kuva 3.14).



Kuva 3.14 Kaikki liitoksen osat valmiina

### 3.3.3 Custom-komponentin parametrit

Custom-komponentin on tärkeää toimia kahdella tavalla. Custom-komponentin tulee muuttua profiilien parametrien muuttuessa sekä silloin, kun komponentin käyttäjä haluaa muuttaa jotain asiaa liitoksessa. Kun ankkurointipisteet on tehty, ne pitää linkittää komponentin parametreihin, joita muokkaamalla liitoskomponentin käyttäjä pystyy muokkaamaan päätylevyliitoksen ominaisuuksia tilanteeseen sopiviksi. Lisäksi komponenttiin tulee lisätä muita muuttujia tarpeen mukaan.

Custom-komponentissa on kahdenlaisia parametreja, jotka ohjaavat liitoksen käyttäytymistä. Parametrit jaotellaan P- ja D-alkuisiksi (Kuva 3.15). P-alkuiset parametrit ovat itse lisättyjä parametreja, joiden avulla voidaan antaa liitosta koskevia tietoja yleensä komponentin käyttöikkunaa käyttämällä mallissa olevalle komponentille. D-alkuiset parametrit tulevat valikkoon automaattisesti, kun jokin liitoksen osa on ankkuroitu jostain osasta riippuvaiseksi. D-alkuisia parametreja voidaan myös muokata, vaikka ne syntyvätkin ankkuroinnin yhteydessä. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi päätylevyn reunan etäisyys teräspilarin reunaan.

P2	30	30	Number	Parameter	Show	Päätylevy2
P1	30	30	Number	Parameter	Show	Päätylevy1
D126	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	D126
D125	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	D125

Kuva 3.15 Esimerkkiparametreja

Opinnäytetyön custom-komponentissa on P-alkuisia parametreja yhteensä 38 kappaletta ja D-alkuisia parametreja 126 kappaletta. Parametreja voidaan asettaa liitoksen muokkausvalikossa näkyviksi tai ne voidaan piilottaa sieltä kokonaan pois. Kaikkia parametreja on aivan turha esittää liitoksen muokkausvalikossa, mutta osa muuttujista tulee olla muokattavissa käyttövalikon kautta.



Opinnäytetyön custom-komponentissa tuli olla muokattavissa seuraavat asiat:

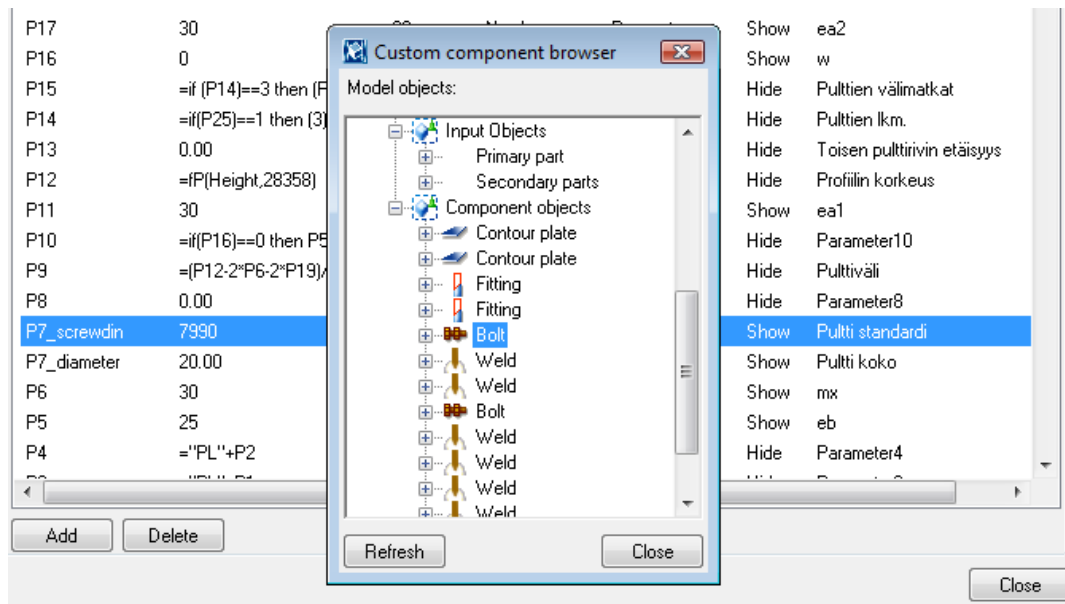
- päätylevyliitos vaihtoehdot (3 kpl)
- pulttien määrä ja niiden keskinäinen väli (leveyssuunnassa)
- pulttien etäisyys profiilin reunoista
- päätylevyjen reunojen etäisyys profiilien reunoista
- päätylevyjen reunojen etäisyys pulteista kun pultit olivat profiilin ulkopuolella
- päätylevyjen paksuudet
- päätylevyjen lujuudet
- hitsin a-mitta (erikseen laipoille ja uumille)
- pulttien lujuus, koko sekä standardi
- mitoitus varten momentti-, leikkaus- sekä normaalivoimat
- Mathcad-yhteysvalikko.

Kuva 3.16 on otettu opinnäytetyön custom-komponentin Custom component-editorissa olevasta, Display variables -valikosta, jossa pääsee muokkaamaan liitoksen parametreja. Kuvassa huomataan, että esimerkiksi pulttikoko on määritetty liitoksen muokkausvalikossa näkyväksi, kun taas pulttien pitkittäisvälimatka on määritetty piilotetuksi. Pulttien pitkittäisvälimatkaa määräytyy pilarin ja pulttien välimatkan mukaan, joten sitä ei voida määrittää itse. Useiden parametrien formula- eli kaavavalikkoon joudutaan joissain tapauksissa luomaan pitkiäkin riippuvuustekijöitä. Esimerkiksi pulttien pitkittäinen välimatka on riippuvainen useasta eri muuttujasta kuten liitosvaihtoehdosta, pultin koosta, profiilin koosta, pultin ja profiilin välimatkasta sekä useista eri ankkurointipisteistä.

Name	Formula	Value	Value type	Variable type	Visibility	Label in dialog box
P15	=if (P14)==3 then (P14-2)*""+P20*""+P21 else if (P14)==4 then P21*""+(P14-3)*""+P22*""+P2...	292.00	Distance list	Parameter	Hide	Pulttien välimatkat
P14	=if(P25)==1 then (3) else if(P25)==2 then (4) else (2) endif endif	2	Number	Parameter	Hide	Pulttien lkm.
P13	0.00	0.00	Text	Parameter	Hide	Toisen pulttivälin etäisyys
P12	=P(Height,28358)	390.00	Length	Parameter	Hide	Profiilin korkeus
P11	30	30	Number	Parameter	Show	ea1
P10	=if(P16)==0 then P5 else (P5+P16*0.5) endif	25.00	Length	Parameter	Hide	Parameter10
P9	=((P12-2*P6-2*P19)/(P14-1))	292.00	Length	Parameter	Hide	Pulttiväli
P8	0.00	0.00	Length	Parameter	Hide	Parameter8
P7_...	7990	7990	Bolt type	Parameter	Show	Pultti standardi
P7_...	20.00	20.00	Bolt size	Parameter	Show	Pultti koko
P6	30	30	Number	Parameter	Show	mx
P5	25	25	Number	Parameter	Show	eb
P4	="PL"+P2	PL30	Profile	Parameter	Hide	Parameter4
P3	="PL"+P1	PL30	Profile	Parameter	Hide	Parameter3
P2	30	30	Number	Parameter	Show	PL2
P1	30	30	Number	Parameter	Show	PL1
D126	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	D126
D125	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	D125
D124	10.00	10.00	Length	Distance	Show	D124

Kuva 3.16 Display variables -ikkuna

Osa Display variables -valikon parametreista tuli linkittää Custom component browser -valikkoon, jotta liitostyökalun käyttäjä voisi muuttaa esimerkiksi päätylevyjen sekä pulttien lujuutta tai hitsien kokoa, liitoksen muokkausvalikosta suoraan (Kuva 3.17). Näin voidaan välittää suunnittelijan tekemistä muokkauksista tieto Tekla Structures -tietomalliin.

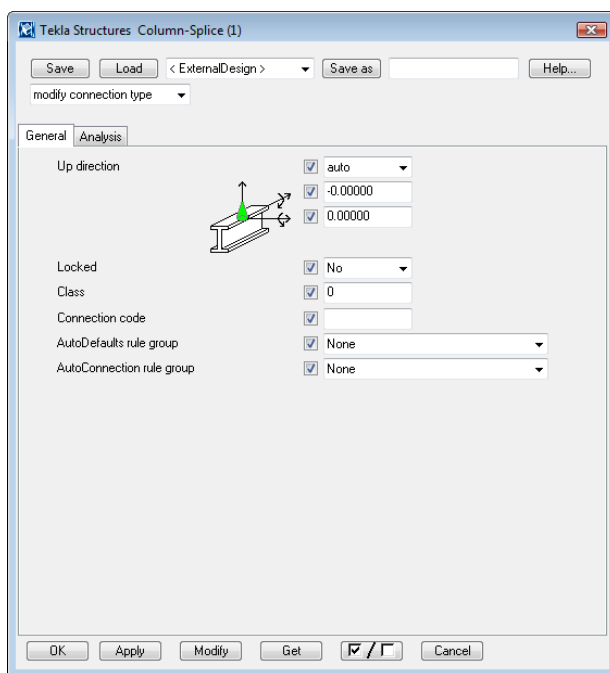


Kuva 3.17 Display variables -valikon yhteys Custom component browser -valikkoon

Display variables -valikkoon tuotiin myös sellaista tietoa, joka ei liity suoraan liitokseen, mutta joka on välttämätöntä saada siirrettyä Mathcad-laskentapohjaan. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi pilariprofiilien lujuudet sekä tunnuksiset (HEA300). Myöhemmin Display variables -valikon kautta tuodaan liitoksen tiedot Mathcad-ohjelmistolle.

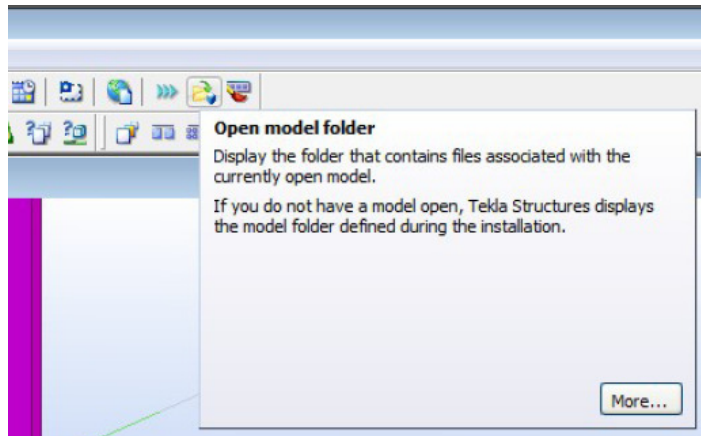
### 3.3.4 INP-tiedostot

Kun custom-komponentin parametrit on saatu luotua järkevällä tavalla, pitää niitä pysytyä muokkamaan. Custom-komponentin muokkaaminen tapahtuu samaan tapaan kuin minkä tahansa komponentin muokkaaminen komponentin omassa käyttövalikossa. Opinnäytetyössä tehdyn Column-Splice-komponentin käyttövalikkoa pitää muokata sellaiseksi, että sillä voidaan muunnella liitoksen ominaisuuksia. Kuva 3.18 näyttää, millainen Column-Splice-komponentin käyttövalikko on, kun sitä ei ole muokattu mitenkään. Valikossa on vain kaksi välilehteä, ja kumpikin välilehti on käyttäjälleen hyödyttömiä.



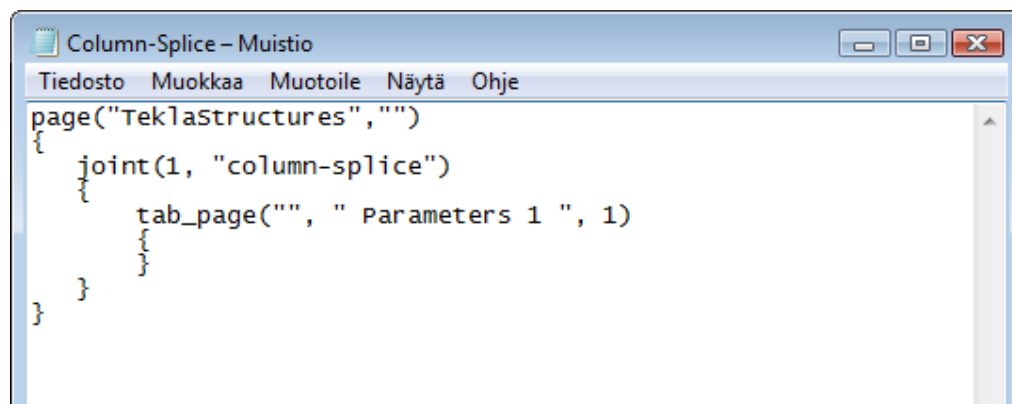
Kuva 3.18 Muokkaamaton Column-Splice-käyttöikkuna

Aluksi liitosvalikkoon on tuotava ne parametrit, joita halutaan muokata liitoksen valikon avulla. Custom-komponentin käyttövalikkoa voi muokata CustomComponentDialogFiles-kansiossa olevaa komponentin omaa INP-tiedostoa muokkaamalla. CustomComponentDialogFiles-kansio sijaitsee Model Folderissa (Kuva 3.19). Tekla on julkaissut hyvän oppaan Tekla Structures -ohjelmiston komponenttien INP-tiedostojen muokkaamista varten.



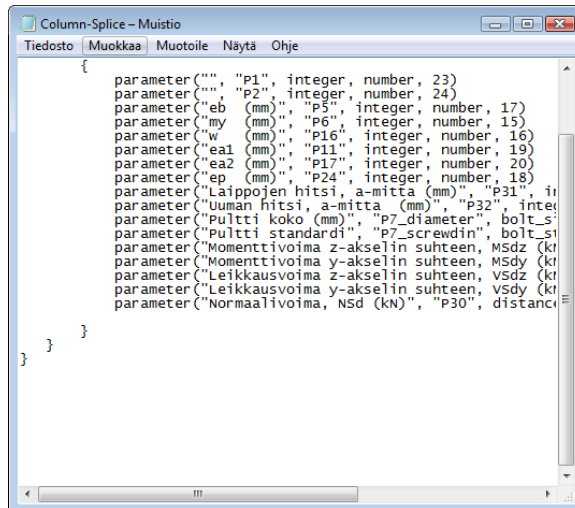
Kuva 3.19 Model folder

Alhaalla oleva kuva näyttää, millainen INP-tiedosto on, kun sitä ei ole muokattu ollenkaan (Kuva 3.20). INP-tiedoston ulkonäkö muistuttaa paljon C#-ohjelmointikieltä.



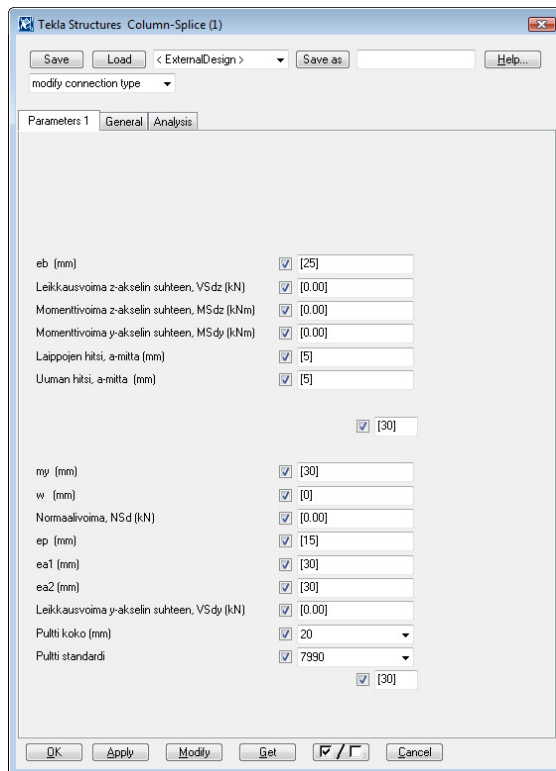
Kuva 3.20 Muokkaamaton Column-Splice INP-tiedosto

Seuraavaksi täytyy INP-tiedostoon tuoda ne parametrit, joita käyttäjät voivat muokata liitostyökalua käyttäessään. Kun parametrit on lisätty INP-tiedostoon, tiedosto on kuvan 3.21 mukainen.



Kuva 3.21 Parametrit lisätty INP-tiedostoon

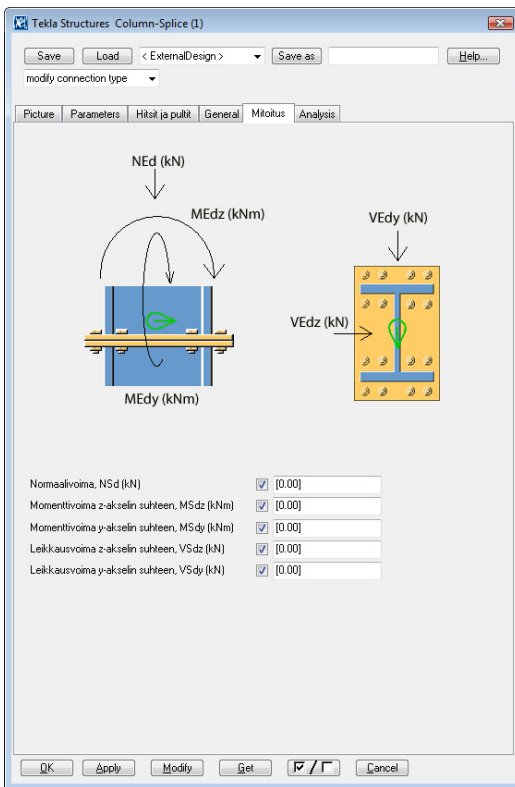
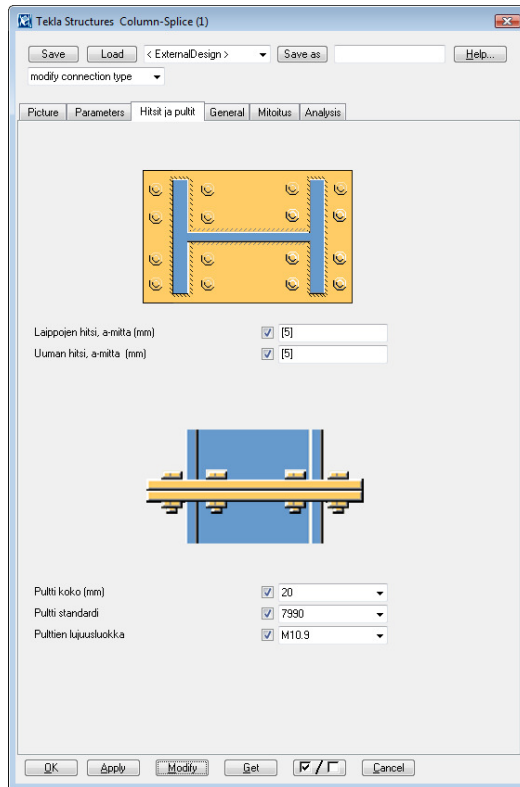
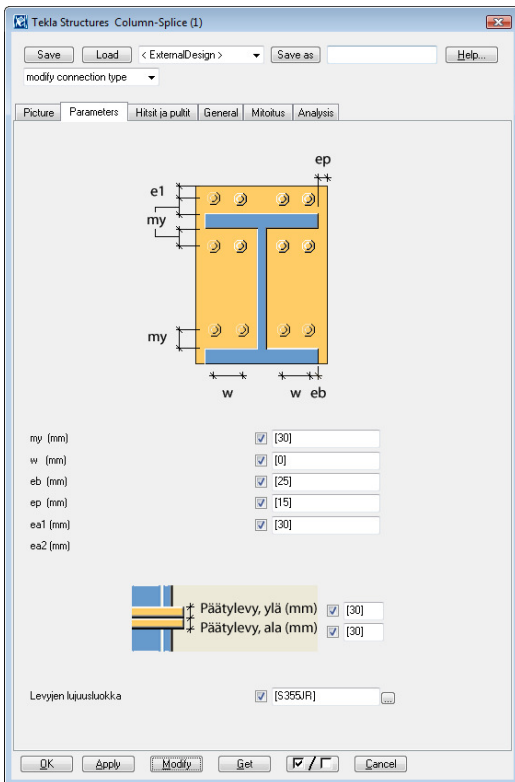
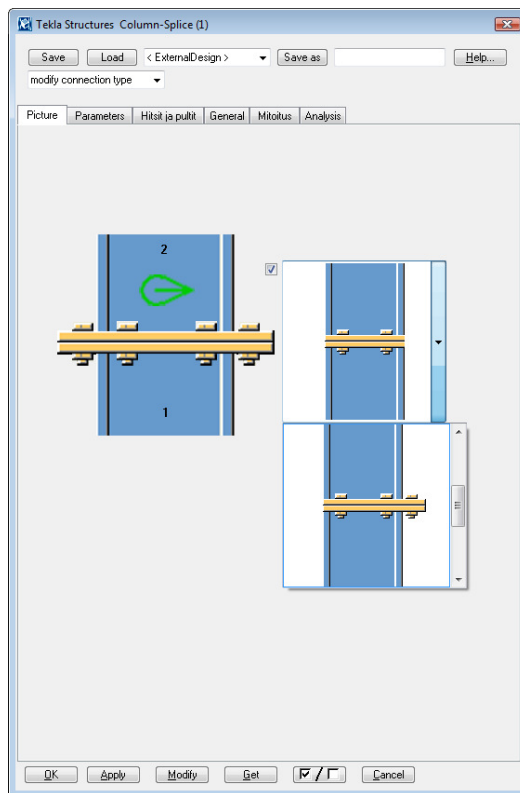
Vaikka parametrit on nyt tuotu liitoksen käyttövalikkoon, on käyttövalikko vieläkin epäselvä kuten kuvasta 3.22 voi huomata. Valikko ei juurikaan kerro mitään liitoksesta käyttäjälleen.



Kuva 3.22 Keskeneräinen käyttöikkuna

Käyttövalikko pitää muokata käyttäjäystävälliseksi ja selkeäksi. INP-tiedostoon kannattaa lisätä välilehtiä, alasvetovalikkoja sekä kuvia, jotka selkeyttävät liitoksen käyttötarkoitusta ja kertovat enemmän liitoksen muunneltavista ominaisuuksista. Jopa alasvetovalikkoihin voidaan lisätä kuvia, jotka selkeyttävät käyttövalikkoa. Opinnäytetyössä käyttövalikkoon lisättiin neljä välilehteä, neljä alasvetovalikkoa, useita kuvia sekä useita parametreja. Osa käyttövalikon muuttujista ja kuvista muuttuu sen mukaan, millainen liitostapaus valitaan ensimmäisestä välilehdestä.

Seuraavaksi näytetään, millainen opinnäytetyön Column-Splice custom-komponentin käyttövalikko on, jos liitos on kuusi- tai kaksitoistapulttinen, seinälinjalle tarkoitettu toispuoleinen jatkosliitos (Kuva 3.23). Lisätyt parametrit on nyt lajiteltu neljään eri välilehteen sen mukaan, mihin asiaan parametrit liittyvät. Ensimmäisellä välilehdellä valitaan jatkosliitoksen muoto. Toisella välilehdellä voidaan muuttaa levyjen ja pulttien välimatkoja ja reunaetäisyyksiä. Kolmannella välilehdellä voi muokata hitsien ja pulttien ominaisuuksia. Viimeinen lisätty välilehti on tarkoitettu mitoitusta varten.



Kuva 3.23 Valmis Column-Splice-käyttövalikko

INP-tiedoston muokkaaminen on erittäin tärkeä työvaihe custom-komponentin luomisessa. INP-tiedostoa tulee muokata, jotta liitoskomponentista saadaan toimiva ja tehokas liitostyökalu jokapäiväistä suunnittelua varten. Jokaisen liitoskomponentin käyttäjän tulisi ymmärtää käyttöikkunan ominaisuudet. Hyvin toimiva custom-komponentti antaa erinomaisen pohjan plugin-komponentin luomiselle.

## **4 YHTEYDEN LUONTI**

Ohjelmointi ei ole arkipäivää rakennesuunnittelussa ja rakenteiden mallintamisessa. Ohjelmointia varten on yrityksillä omat alansa ammattilaiset. Tavallisesti rakennesuunnittelijoiden ei kannata käyttää aikaa ohjelmointiin, joten tämä vaihe plugin-komponentin tekemisessä, tulisi suorittaa ohjelmointiasiantuntijan toimesta. Koska ohjelmointi on kuitenkin hyvin keskeinen asia opinnäytetyön tekemisen kannalta, paneudutaan tässä luvussa ohjelmointiin.

Opinnäytetyön mitoituskomponentti tarvitsi lähdekoodin, jonka avulla plugin-komponentti tehtiin. Myös Tekla Structures -ohjelmiston komponentin ja Mathcad-ohjelmiston välinen yhteys vaati lähdekoodin. Opinnäytetyön lähdekoodi tehtiin Visual Studio 2010 -ohjelmistolla tarkemmin Visual C# -ympäristössä, eli ohjelmointikielenä päätettiin käyttää C#-ohjelmointikieltä. C#-ohjelmointikieli valittiin, koska siitä oli eniten kokemusta ja se on helppo sekä monipuolinen käyttää. Oikean ohjelmointikielen ja ohjelmointiympäristön valinta tehostaa ja helpottaa lähdekoodin kirjoittamista sekä lisää tuotavuutta.

### **4.1 Visual Studio -ohjelmisto**

Visual Studio on Microsoft yrityksen luoma integroitu kehitysympäristö (IDE). Visual Studio -ohjelmistoa voidaan käyttää, kun tehdään graafisia käyttöliittymiä. Käyttöliittymiä voidaan hyödyntää Windows Forms- sovelluksissa, www-sivustoissa, web-sovelluksissa ja web-palveluita luodessa. Opinnäytetyön plugin-komponentti on Windows Forms -sovellus. Visual Studio- ohjelmistolla läh-



dekoodi käännetään sekä alkuperäiseksi binääriseksi koodiksi (native code) että managed codeksi yhtäaikaan kaikille alustoille, jotka tukevat Microsoft Windows- , Windows Mobile-, Windows CE-, NET Framework-, NET Compact Framework- tai Microsoft Silverlight -käyttöjärjestelmiä. Native code on alustariippuvainen koodi ja managed-koodi on hallittu koodi. Koodi tulkitaan yhteiselle kielelle, jota kutsutaan nimellä Common Language Runtime, CLR. CLR-ohjelmaa voidaan tulkita useilla eri alustoilla. (Microsoft.)

Visual Studio sisältää koodieditorin, joka tukee IntelliSense-täydennysalustaa koodia kirjoittaessa sekä code refactoring -ominaisuutta. Code refactoring-ominaisuus helpottaa koodin lukua ja vähentää koodin monimutkaisuutta. Integroitu debuggeri toimii sekä lähde- että konetason debuggerina. Debuggeri on tietokoneohjelma, jota käytetään ohjelmointivirheiden jäljittämiseen ja korjaamiseen. Muita sisäänrakennettuja työkaluja ovat forms designer, GUI-sovelluksien tekemiseen, web-designer, database schema designer. (Microsoft.)

Visual Studio tukee eri ohjelmointikieliä ohjelmointikielipalvelun (language-specific service) avulla. Ohjelmointikielipalvelun avulla koodieditori ja debuggeri tukee lähes kaikkia ohjelmointikieliä, jotka tukevat ohjelmointikielipalvelua. Sisäänrakennettuja kieliä ovat C/C++(Visual C ++), VB.NET ( Visual Basic. NET ), C # (Visual C #), ja F # (Visual Studio 2010). Muiden ohjelmistokieliä palvelut ovat mahdollisia lisäosilla. (Microsoft.)

## 4.2 C#-ohjelmointikieli

*C# (lausutaan "c sharp") on Microsoftilla alkunsa saanut ISO-standardisoitu ohjelmointikieli. Kieli on ulkoasultaan hyvin lähellä Javaa, mutta yhteneväisyyksiä löytyy myös Borlandin Delphi-kielen kanssa. .NET alusta, johon C# kuuluu on nopeasti kehittyvä. (Mureakuha.)*

C# on useisiin erilaisiin ympäristöihin soveltuva oliopohjainen ohjelmointikieli. C#-ohjelmointikielen käyttövahvuudet ovat sen helppokäyttöisyys sekä monipuolisuus. Anders Hejlsberg kehitti kielen, koska hän halusi yhdistää C++:n tehokkuuden ja Java-kielen helppokäyttöisyyden. (Sihvonen 2004.)

C#-koodi voidaan kääntää binääriseksi tai managed-koodiksi, jolloin se voi hyötyä Common Language Runtime -kirjastosta ja sen palveluista. Kirjaston palveluihin kuuluvat muun muassa monikielisyys, roskankerääjät, parannettu turvallisuus, versionhallinta ja alustariippumattomuus. Roskankerääjä (eng. Garbage Collector) vapauttaa turhia muistiresurssin varauksia, mikä nopeuttaa tiedon prosessointia. Lisäksi .NET-ympäristöön on kirjoitettu rajapinnat OpenGL:lle, OpenAL:lle ja monelle muulle suosituille kirjastolle, kuten Open API, jota hyödynnetään Tekla Structures -ohjelmointirajapintana. Windows Vista on rakennettu vahvasti yhteensopivaksi .NETin kanssa. (Sihvonen 2004.)

### 4.2.1 Manage- ja natiivilähdekoodi

C#-ohjelmoinnin huomattava etu on sen kaksikielisyys. Useimmilla kehitysalustoilla lähdekoodi käännetään suoraan natiiviksi binäärikoodiksi, joka ladataan ja ajetaan sillä prosessorilla, jolle se on tarkoitettu. Ajettavat tiedostot sisältävät silloin vain niin sanotut valmiit suoritusohjeet valitulle suorittimelle. (Heikkinen, Kauhanen & Pikkarainen 2008.)

C#-lähdekoodi käännetään natiivikoodin lisäksi myös managed-koodiksi. Managed-ympäristössä koodi käännetään erilliselle välikielelle (Intermediate language eli IL). Välikoodi antaa suoritusohjeita virtuaaliselle, alustariippumattomalle prosessorille. Virtuaaliprosessori on tietokoneen muistissa oleva sovellus eikä oikea prosessori. Virtuaaliprosessori prosessoi lähdekoodin fyysiselle prosesso-

rille sopivaan muotoon. Useimmat managed-koodin ajoympäristöt (Microsoftin mukaan lukien) tukevat ominaisuutta, joka tunnetaan ”Just-in-Time”-kääntämisenä (JIT). JIT-kääntäjä tuottaa managed-virtuaaliprosessorin generoimasta välikoodista natiivia koodia, joka optimoidaan erikseen kohdeprosessorille juuri ennen kuin koodi ajetaan fyysisesti prosessorilla. Koska managekoodia ei sido fyysinen prosessori vaan tieto ajetaan virtuaalisen prosessorin kautta, managekoodi on alustariippumaton. Managekoodi voidaan siis suorittaa missä tahansa alustalla aina PCstä XBOX 360een. (Heikkinen ym. 2008.)

Pelkän ajoympäristön lisäksi managed-ympäristöt tarjoavat myös joukon erilaisia API-kirjastoja, jotka mahdollistavat pääsyn käyttöjärjestelmän ominaisuuksiin. Nämä API-kirjastot mahdollistavat esimerkiksi tiedostojen luvun ja kirjoituksen, erilaisten käyttöliittymäkomponenttien käytön ja käyttöjärjestelmien ominaisuuksiin pääsyn. (Heikkinen ym. 2008.)

## 4.2.2 C#-pienoisohjelmaesimerkki

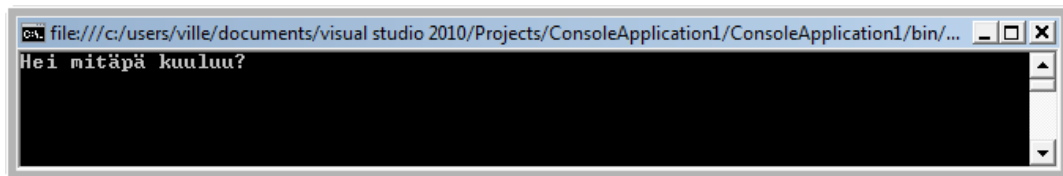
Seuraavaksi näytetään esimerkki C#-ohjelmoinnista. Esimerkkiohjelma on console sovellus ja opinnäytetyössä on kyseessä windows sovellus, mutta ohjelmointityyli on molemmissa samanlainen. Ensimmäinen kuva (Kuva 4.1) on otettu lähdekoodista ja toinen kuva (Kuva 4.2) on otettu pienoishjelmasta, jonka lähdekoodi tekee. Pienoisohjelma tervehtii käyttäjänsä kysymyksellä ja kun käyttäjä vastaa kysymykseen, ohjelma vastaa käyttäjälle uudella kysymyksellä. Esimerkiksi, jos käyttäjä vastaa ohjelman ensimmäiseen kysymykseen "hyvää", ohjelma vastaa siihen "Vai, että hyvää".

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;

using System;

namespace Harjoitus
{
    public class Tervehtija
    {
        public static void Main()
        {
            Console.Write("Hei mitäpä kuuluu? ");
            String vastaus = Console.ReadLine();
            Console.WriteLine("Vai, että {0}", vastaus);
        }
    }
}
```

Kuva 4.1 Pienoisohjelman lähdekoodi



Kuva 4.2 Pienoisohjelma

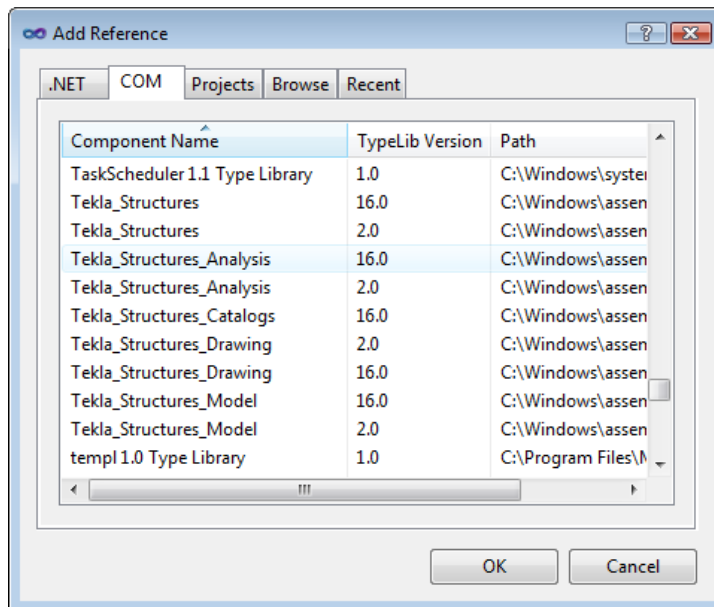
### 4.3 Plugin-komponentti

Plugin-komponentin tekemiseen tarvitaan opinnäytetyön tapauksessa laskentapohjat sekä jatkosliitokseen sopiva custom-komponentti. Plugin-mitoituskomponentti toimii, jos koneelle on asennettu Mathcad- sekä Tekla Structures -ohjelmisto.

Seuraavaksi käsittelen opinnäytetyötä varten tehtyä plugin-ohjelmaa sekä sen lähdekoodia. Lähdekoodi, jonka plugin-komponentti tarvitsee, määriteltiin tilaajan puolelta salaiseksi. Tästä johtuen opinnäytetyössä kerrotaan vain plugin-ohjelman (plugin-formin) koodaamisesta ja koodin rakenteesta yleisesti. Plugin-komponentti on periaatteessa ulkoasu, joka kommunikoi Tekla Structures-ohjelmiston, Mathcad-ohjelmiston sekä custom-komponentin kanssa. Plugin-ohjelma lisää custom-komponentin Tekla Structures -malliin haluttuun paikkaan halutussa muodossa. Tämän lisäksi plugin-ohjelma käy laskemassa mitoituksen Mathcad-ohjelmistossa, jos käyttää niin haluaa.

#### 4.3.1 Lähdekoodin rakenne

Projektiin, jota työstetään, on tuotava aluksi tarvittavat viittaukset (References) (Kuva 4.3). Jotta olisi mahdollista kirjoittaa koodia ulkoiselle komponentille, projektissa on oltava viittaus kyseiseen komponenttiin. References, eli viittaukset, ovat funktioita, joita on mahdollista käyttää tässä projektissa. Lähdekoodin alkuun tuodaan using-osioon halutut referenssit. Opinnäytetyössä oli yhteensä kolmetoista referenssiä, joita plugin-ohjelma käyttää. Lähdekoodin lyhentämiseksi opinnäytetyössä tehtiin yksi referenssi itse. Itsetehty referenssi luotiin Mathcad-linkitystä varten. Kuvassa 4.3 on esimerkkejä siitä, millaisia referenssejä lähdekoodiin voi lisätä.



Kuva 4.3 Referenssien lisäys

Lähdekoodissa on kaksi pääkohtaa. Ensimmäisessä kohdassa koodissa haetaan plugin-käyttöliittymältä tiedot plugin-ohjelmalle StructuresDatan avulla. Toisin sanoen, Tekla Structures -ohjelmistosta haetaan tiedot mitoituskomponentille. Haetut tiedot ovat P-parametreja, ja tieto siirretään Open API -rajapinnan avulla. Opinnäytetyön tapauksessa Tekla Structures -ohjelmisto luo formin. Formi on ikkuna tai valikko (apuohjelma), joka muodostaa sovellukselle käyttöliittymän. Formi on se tekstikenttä, josta tiedot välittyvät Tekla Structures-ohjelmistosta.

Toinen päävaihe on itse plugin-formin määrittäminen. Nyt määritellään, millainen plugin-formi Teklasta halutaan. Tästä alkaa itse ohjelma tai "luokka" (class), joka sisältää PluginBase-ominaisuuksia (Kuva 4.4).

```
[Plugin("Column_Splice")]
[PluginUserInterface(Column_Splice.UserInterfaceDefinitions.dialog)]
public class Column_Splice : PluginBase
{
```

Kuva 4.4 Plugin ("Column\_Splice")

Seuraavaksi luodaan data-muuttuja, joka on tyypiltään StructuresData. Myös model-muuttuja luodaan, ja se on tyypiltään Model. Data- ja Model-muuttujat tarvitaan, jotta saataisiin lähdekoodin ensimmäisen pääkohdan (StructuresData) tiedot tähän luotuun luokkaan (class), jotta tietoja voidaan käyttää plugin-komponentissa myöhemmin (Kuva 4.5). Lähdekoodin tässä vaiheessa otetaan yhteys malliin.

```
public Column_Splice(StructuresData Data)
{
    this.Data = Data;
    Model = new Model(true)
}
```

Kuva 4.5 Muuttujat

Seuraava merkittävä vaihe lähdekoodin kirjoituksessa on override (Kuva 4.6). Tämä override-ominaisuus aktivoituu, kun plugin-komponenttia aletaan käyttää Tekla Structures -ohjelmistossa. Override-ominaisuus kysyy komponentin käyttäjältä kahden osan tunnistetiedot, joihin mitoituskomponentti liittyy, eli main- ja secondary-osat. Override-kohdassa määritellään myös, mistä etsitään Mathcad-laskentapohjat ja minkä nimisiä laskentapohjat ovat (Kuva 4.7). Laskentapohjista määritetään myös kohdat, joista tuloksia tullaan myöhemmin hakemaan.

```
public override List<InputDefinition> DefineInput()...
```

Kuva 4.6 Override

```
string MathCadFilePath = @"C:\TeklaStructures\applications\Mathcad\";

//
// Laskentapohjat
//

string FileBolt4 = "ColumnSplice4Bolt.xmcd"; // 4 Pulttia
string FileBolt6 = "ColumnSplice6Bolt.xmcd"; // 6 Pulttia
string FileBolt8 = "ColumnSplice8Bolt.xmcd"; // 8 Pulttia
```

Kuva 4.7 Laskentapohjat

Seuraavaksi lähdekoodissa tulee run override, joka suoritetaan aina, kun komponentti lisätään malliin tai jo olemassa olevaan komponenttiin tehdään muutoksia (Kuva 4.8). Run override -kohdassa valitaan plugin komponentin main- ja secondary-osiksi osat, jotka on override-kohdassa tunnistettu. Kun main- ja secondary-osat on löydetty, luodaan komponentti näiden osien väliin. Käytettävän komponentin nimi pitää tässä yhteydessä kertoa. Nyt plugin-ohjelmasta tuodaan tietoa custom-komponentille Tekla Structures -malliin. Custom-komponentti saa siis muotonsa mallin osien ja plugin-formissa määritettyjen muuttujien tuloksena.

```
public override bool Run(List<InputDefinition> Input)
{
```

Kuva 4.8 Run

Custom-komponentin luontivaiheessa aktivoituu yhteys Mathcad-laskentapohjaan, jos plugin-formilla näin on käsketty (Kuva 4.9). Yhteyden an-

siosta on mahdollista laskea plugin-formissa, eli plugin-komponentin käyttöikkunassa, määritetyt muuttujat Mathcad-laskentapohjassa. Yhteys luodaan yksinkertaisella if-lauseella. Ainut näkyvä ero opinnäytetyön custom-komponentin ja plugin-komponentin käyttövalikoissa on laskentapohjan käytön aktivoiva alasvetovalikko. Custom-komponentissa sitä ei ole, koska alasvetovalikko on luotu plugin-ohjelman lähdekoodissa.

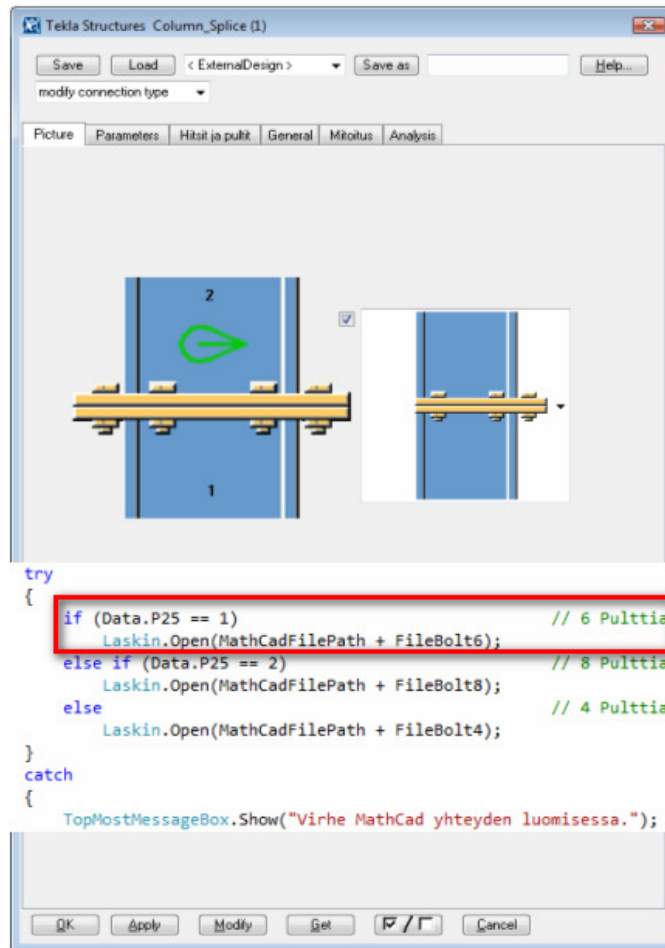
The screenshot shows the 'Analysis' tab of a software interface. It contains two diagrams: a side view of a beam-column joint with forces  $N_{Ed}$  (kN),  $M_{Edz}$  (kNm), and  $M_{Edy}$  (kNm), and a top-down view of the joint with forces  $V_{Edz}$  (kN) and  $V_{Edy}$  (kN). Below the diagrams are input fields for various parameters, each with a checked checkbox and a dropdown menu.

Parameter	Value
Normaalivoima, $N_{Ed}$ (kN)	600.00
Momenttivoima z-akselin suhteen, $M_{Edz}$ (kNm)	250.00
Momenttivoima y-akselin suhteen, $M_{Edy}$ (kNm)	80.00
Leikkausvoima z-akselin suhteen, $V_{Edz}$ (kN)	10.00
Leikkausvoima y-akselin suhteen, $V_{Edy}$ (kN)	25.00
Laskentapohja (MathCad)	EI

Kuva 4.9 Yhteyden aktivointi

Plugin-ohjelma valitsee oikean mitoituskortin kolmesta eri mitoituskortista pulttien määrän mukaan, eli käytännössä alasvetovalikon mukaan. Kuvasta 4.10 huomataan alasvetovalikossa valitun liitostapauksen yhteys lähdekoodiin. Kun alasvetovalikon parametri P25 on 1, liitoksessa on kuusi tai kaksitoista pulttia. Plugin-ohjelma avaa määritetyn parametrin ( $\text{Data.P25}==1$ ) mukaan oikean mitoituskortin (FileBolt6), joka on tarkoitettu kuusi- tai kaksitoistapulttisen jatkosliitoksen mitoittamiseen. Mathcad-mitoituskorttien tulee olla Tekla Structures -ohjelmiston alla lähdekoodissa aikaisemmin määritetyssä kansiossa, jotta Plugin-ohjelma löytää laskentapohjat.





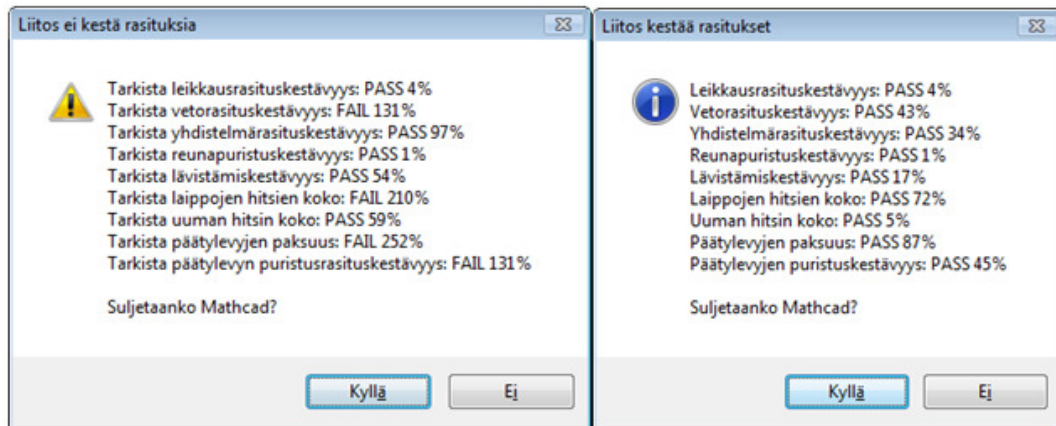
Kuva 4.10 Mathcad-laskentapohjan valinta

Jos plugin-ohjelmisto saa tiedon, että Mathcad-laskentapohjaan halutaan luoda yhteys, plugin-ohjelmisto vie mitoittamisen kannalta tarvittavat tiedot Mathcad-laskentapohjaan. Tässä vaiheessa lähdekoodiin on määritelty joitakin Mathcad-laskentapohjan tekoa helpottavia asioita, kuten jos liitokseen tulee eripaksuiset päätylevyt, laskentapohja laskee ohuemman päätylevyn mukaan. Näin liitoksen mitoitus on varmalla puolella.

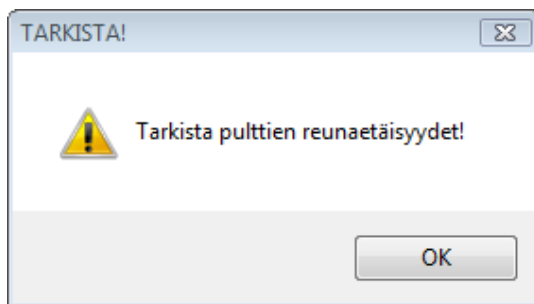
Kun Mathcad-ohjelmistoon on syötetty tarvittavat muuttujat, laskentapohjan tulokset tuodaan plugin-ohjelmaan. Override-osiossa määritettiin, mitä tuloksia laskentapohjista haluttiin tuoda.

Kun valitusta Mathcad-mitoituskortista tuodaan tulokset plugin-ohjelmalle, plugin-ohjelma antaa vastaukset Tekla Structures -ohjelmistolle. Vastaus annetaan TopMostMessageBox-ominaisuuden avulla (Kuva 4.11). Plugin-ohjelmisto antaa ilmoituksen molemmissa tapauksissa: jos liitos kestää rasitukset, tai jos liitos ei kestä rasituksia. Jos liitoksen pulttien reunaetäisyydet ovat riittämättömät,

mitoituskomponentti antaa tästäkin varoituksen (Kuva 4.12). TopMostMessageBox-valikossa voi sulkea taustalla olevan Mathcad-ohjelmiston. Jos laskentapohjaa halutaan tarkastella lähemmin, voi valikosta valita Ei-vaihtoehtoon.



Kuva 4.11 TopMostMessageBox



Kuva 4.12 Pulttien reunaetäisyydet

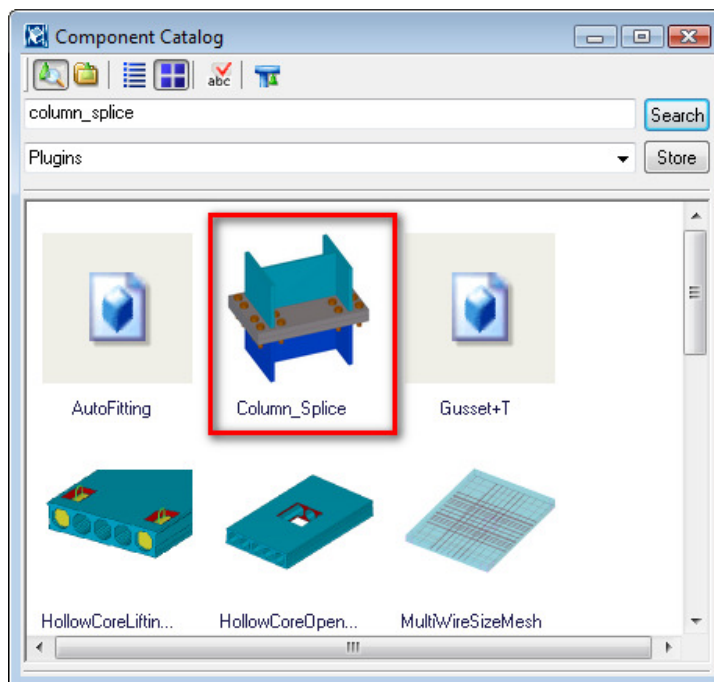
TopMostMessageBox-ominaisuuden avulla ilmoitetaan, mitä plugin-ohjelma tekee tai mitä virheitä plugin-ohjelman suorituksessa on. Tärkein asia, mitä TopMostMessageBox-ominaisuuden avulla ilmoitetaan, on kestääkö liitos rasitukset ja ovatko pulttien reunaetäisyydet sallitut. TopMostMessageBox-ominaisuutta käytetään myös monien eri suoritusvirheiden ilmoittamisessa. Eri-laisia suoritusvirheilmoituksia ovat:

- Virhe Mathcad yhteyden luomisessa
- Virhe pulttien tarkastelussa
- Virhe tietojen lisäämisessä
- Virhe tietojen hakemisessa
- Tiedostoa ei löydy
- Virhe tulosten antamisessa
- Error 1
- Error 2

- Komponentin luominen epäonnistui
- Malliin ei saatu yhteyttä.

Lähdekoodissa viimeiseksi kerrotaan Tekla Structures -ohjelmistolle, millaisen INP-tiedoston Plugin-komponentin formille halutaan. INP-tiedoston muokkaaminen on tärkeä vaihe plugin-komponentin käytön takia. Plugin-komponentin käyttäjävalikon ulkoasun tulisi olla selkeä ja käyttäjäystävällinen. INP-tiedosto kannattaa tehdä custom-komponentin INP-tiedoston pohjalta.

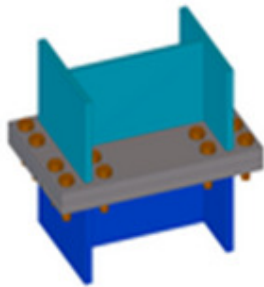
Valmis lähdekoodi buildataan eli rakennetaan tiedostoksi, jonka Tekla Structures -ohjelmisto ymmärtää. Build solutionin tuloksena saadaan kaksi .dll-tiedostoa, jotka vievät Tekla Structures -ohjelmiston alla olevaan plugin-kansioon. Myös plugin-komponenttiin liittyvät kuvat pitää viedä bitmaps-kansioon. Valmis Column\_Splice plugin-komponentti löytyy Component Catalogista ja se on valmis käytettäväksi (Kuva 4.13).



Kuva 4.13 Valmis plugin mitoituskomponentti

## 5 MATHCAD-LASKENTAPOHJIEN TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään läpi, miten kuvan 5.1 mukainen jatkosliitos mitoitetaan. Aluksi kerrotaan, mitä ilmiöitä mitoitetaan ja millaisia rajoituksia laskennassa on. Tämän jälkeen kerrotaan hieman laskentapohjista, ja sitten perehdytään tarkemmin jokaiseen mitoitettavaan ilmiöön ja kuvataan, kuinka laskenta toteutetaan eurocode-standardien avulla.



Kuva 5.1 Column\_Splice mitoituskomponentti

Tekla Structures -ohjelmiston Column\_Splice-mitoituskomponentin yhteyteen on tehty Mathcad-ohjelmistolla laadittuja laskentapohjia yhteensä kolme kappaletta. Laskentapohjat mitoittavat pultteihin kohdistuvat rasitukset, hitseihin kohdistuvat rasitukset sekä päätylevyihin kohdistuvat rasitukset.

### PULTTIEN MITOITUS

- leikkausvoima
- vetovoima
- yhdistelmä, leikkaus- ja vetovoima
- reunapuristuskestävyys
- ruuvien ja mutterien lävistymiskestävyys

### HITSIEN MITOITUS

- laipan hitsin mitoitus
- uumanhitsin mitoitus

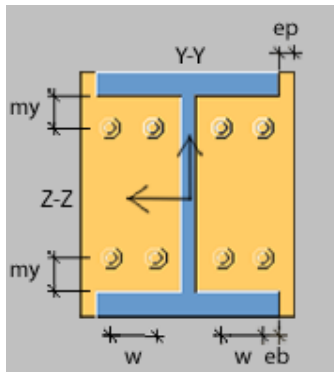
### PÄÄTYLEVYN MITOITUS

- päätylevyn vetorasitus
- päätylevynpuristusrasitus

Näiden ilmiöiden lisäksi mitoituskortit tarkastavat pulttien pääty-, keskiöväli- ja reunaetäisyydet.

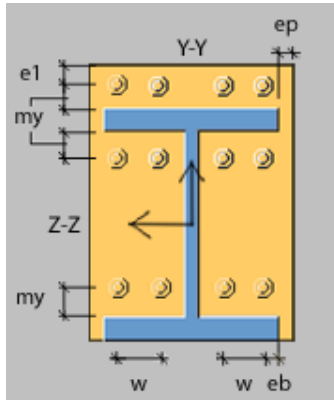
Mathcad-laskentapohjia on yhteensä kuusi kappaletta. Peruslaskentapohjia on kolme. Ne jakautuvat käsinlaskentapohjiksi sekä Tekla Structures -ohjelmiston kanssa käytettäväksi laskentapohjiksi. Käsinlaskentapohjat perustuvat Tekla Structures -ohjelmiston kanssa käytettäväksi tarkoitettuihin laskentapohjiin. Käsinlaskentapohjia on muokattu niin, että niitä olisi mahdollisimman helppo käyttää yksittäisinä mitoituskortteina.

Kolmesta peruslaskentapohjasta ensimmäistä voidaan käyttää sellaisen päätylevyliitoksen mitoituksessa, jossa on neljä tai kahdeksan pulttia (Kuva 5.2). Pultit sijaitsevat laippojen sisäpuolella. Tämä liitosratkaisu on vaihtoehtoista siis- tein, koska pilariprofiilien ulkopuolelle ei tule liitososia.



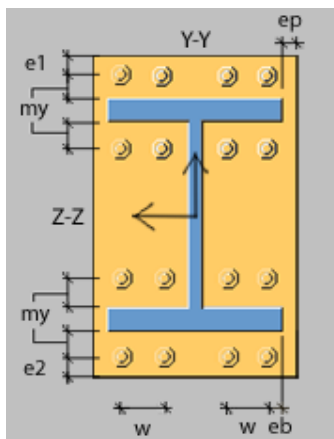
Kuva 5.2 Päätylevyliitos 4 tai 8 pulttia

Toinen päätylevyliitoksen laskentapohja mitoittaa kuusi tai kaksitoista pulttia sisältävän liitoksen. Liitos on tarkoitettu seinälinjoille (Kuva 5.3). Liitosta voidaan käyttää, kun ensimmäisen liitosvaihtoehdon kapasiteetti ei riitä ja pilarin lähellä on niukasti tilaa.



Kuva 5.3 Päätylevyliitos 6 tai 12 pulttia

Kolmas päätylevyliitoksen laskentapohja mitoittaa kahdeksan tai kuusitoista pulttia sisältävän liitoksen. Liitoksessa puolet pulteista sijaitsee pilariprofiilin laippojen ulkopuolella (Kuva 5.4). Liitos on kestävin kolmesta vaihtoehdoista, mutta samalla liitos on varsin massiivinen.



Kuva 5.4 Päätylevyliitos 8 tai 16 pulttia

## 5.1 Yleistä

Laskentapohjissa on merkitty erikseen eri väreillä ne kohdat, joihin tiedot tuodaan Tekla Structures -ohjelmistosta, ja ne kohdat, jotka antavat tuloksia. Sinisellä pohjalla oleviin muuttujiin arvot tuodaan Tekla Structures- ohjelmistosta, ja laskentapohjissa keltaisella pohjalla olevat arvot ovat tuloksia.

Laskentapohjat käyttävät SI-järjestelmän mukaisia mittayksiköitä. Tekla Structures -mitoituskomponenttiin ja Mathcad-laskentapohjiin on merkitty, mitä yksikköä tulee missäkin kohdassa käyttää.

Laskentapohjat käyttävät varmuuskertoimia  $\gamma_{M0}$  ja  $\gamma_{M2}$ . Liitosten varmuuskertoimet ovat määritetty SFS-EN 1993-1-8 taulukon 2.1 mukaisesti.

Materiaalien osavarmuuskertoimet on määritetty SFS-EN 1993-1-1 kohdan 6.1 mukaan.

$$\gamma_{M0} = 1.0$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Pilariprofiilin ja päätylevyn vetomurtolujuus määritetään SFS-EN 1993-1-1 taulukon 3.1 mukaisesti. Standardina on käytetty EN 10025-2. Jos levy on yli neljäkymmentä millimetriä, laskentapohja ei ota vetomurtolujuuden heikkenemistä huomioon (Taulukko 5.1). Tämä on ilmoitettu laskentapohjien ohjeet -osiossa.

**Taulukko 5.1 Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot (SFS-EN 1993-1-1, taulukko 3.1.)**

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Pilariprofiilien mitta- ja muototoleranssit, joita laskentapohjat käyttävät, ovat standardin SFS-EN 10034 mukaiset.

## 5.2 Käsinlaskentapohjat

Kuudesta Mathcad-laskentapohjasta kolme on käsinlaskentapohjia. Nämä kolme laskentapohjaa jakautuvat kullekin liitostapaukselle. Käsinlaskentapohjat perustuvat Tekla Structures -ohjelmiston kanssa käytettäväksi tarkoitetuille laskentapohjille. Käsinlaskentapohjia on muokattu niin, että niitä olisi mahdollisimman helppo käyttää yksittäisinä mitoituskortteina. Niitä voidaan käyttää itsenäisinä mitoituskortteina, kuten muita Excell- tai Mathcad-mitoituskortteja.

Käsinlaskentapohjissa, kuten myös mitoituskomponentin laskentapohjissa, erotellaan syötettävät muuttujat tuloksista värien avulla. Sinisellä pohjalla oleviin kohtiin tietoa tuodaan, ja keltaisella pohjalla olevat tiedot ovat tuloksia. Osa syö-



tettävistä muuttujista on List Box -valikossa, (kuten profiili) laskentapohjan käytön helpottamisen vuoksi (Kuva 5.5). Myös käsinlaskentapohjissa on merkitty, mitä yksiköitä tulisi missäkin kentässä käyttää. Kuvassa nähdään ensimmäisen liitosvaihtoehdon, eli liitoksen jossa pultit ovat profiilin laippojen sisäpuolella, List Box -valikkoja.

<u>PROFIILIN POIKKILEIKKAUSSUUREET</u>		<u>PULTIN POIKKILEIKKAUSSUUREET</u>	
profiili	<div>HEA 360</div> <div>HEA 400</div> <div>HEA 450</div>	pulttien lukumäärä	<div>4 Pulttia</div> <div>8 Pulttia</div>
profiilin lujuus	<div>S235</div> <div>S275</div>	pultti	<div>M6.8</div> <div>M8.8</div> <div>M10.9</div>
korkeus	<div><math>h_c = 390\text{-mm}</math></div>	halkaisija (mm)	<div>12</div> <div>14</div> <div>16</div>
leveys	<div><math>b_c = 300\text{-mm}</math></div>		

Kuva 5.5 List Box -valikot

## 5.3 Pultit

Pulttien ja liitettävien osien oletetaan olevan SFS-EN 1993-1-1 ja SFS-EN 1993-1-8 mukaisia. Laskentapohja olettaa pulttien reikien olevan normaaleita pyöreitä standardin SFS-EN 1090-2 mukaisia reikiä.

### 5.3.1 Pultin pinta-ala

Laskentapohja käyttää pultin pinta-alana pultin jännityspoikkipinta-alaa  $A_s$ . Pultin jännityspoikkipinta-ala on määritelty teräsrakenneyhdistyksen ESDEP kohdan 11.3.1.6 mukaan (Taulukko 5.2).

Taulukko 5.2 Ruuvien jännityspinta-alat (ESDEP 11.3.1.6, taulukko 2.)

Nimellishalkaisija $d_b$	Nimellisala A	Jännitysala $A_s$
8	50,3	36,6
10	78,5	58,0
12	113	84,3
14	154	115
16	201	157
18	254	192
20	314	245
22	380	303
24	452	353
27	573	459
30	707	561

### 5.3.2 Pultin myötöraja ja vetomurtolujuus

Pulttien myötörajan  $f_{yb}$  ja vetomurtolujuuden  $f_{ub}$  arvot, tulevat teräsrakenneyhdistyksen ESDEP kohdan 11.3.1.4 mukaan (Taulukko 5.3).

Taulukko 5.3 Ruuvien myötöraja- ja vetomurtolujuus arvot (ESDEP 11.3.1.4, taulukko 1.)

Teräslaatu	4.6	5.6	6.5	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ [MPa]	240	300	300	480	640	900
$f_{ub}$ [MPa]	400	500	600	600	800	1000

### 5.3.3 Pultin reiät ja mutterien halkaisijat

Ruuvien reiät ovat standardin SFS-EN 1090-2 Requirements for the execution of steel structures mukaisia (Taulukko 5.4). Laskentapohja käyttää normaaleita pyöreitä reikiä.

**Taulukko 5.4 Requirements for the execution of steel structures (SFS-EN 1090-2, taulukko 11.)**

Nominal bolt or pin diameter d (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27 and over
Normal round holes <sup>a</sup>	1 <sup>b c</sup>		2					3
Oversize round holes	3		4				6	8
Short slotted holes (on the length) <sup>d</sup>	4		6				8	10
Long slotted holes (on the length) <sup>d</sup>	1,5 d							
<sup>a</sup> For applications such as towers and masts the nominal clearance for normal round holes shall be reduced by 0,5 mm unless otherwise specified.								
<sup>b</sup> For coated fasteners, 1 mm nominal clearance can be increased by the coating thickness of the fastener.								
<sup>c</sup> Bolts with nominal diameter 12 and 14 mm, or countersunk bolts may also be used in 2 mm clearance holes under conditions given in EN 1993-1-8.								
<sup>d</sup> For bolts in slotted holes the nominal clearances across the width shall be the same as the clearances on diameter specified for normal round holes.								

Mutterien halkaisijat tahojen kohdalta on määritetty ISO 7042 -standardin mukaan. Mutterin halkaisija on sama kuin pultin pään halkaisija.

### 5.3.4 Pulttien reunaetäisyydet ja keskiövälietäisyydet

Pulttien reunaetäisyydet sekä keskiövälietäisyydet tulee määrittää laskentapohjaan taulukon 5.5 sekä kuvan 5.6 mukaisesti. Laskentapohjaa on yksinkertaistettu niin, että keskiöväli  $p_{2:n}$  minimiarvo on sama kuin keskiövälin  $p_{1:n}$  minimiarvo. Reunaetäisyydet määritetään Tekla Structure -ohjelmistossa, Column\_Splice plugin-komponentin käyttövalikossa.

**Taulukko 5.5 Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.3.)**

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo <sup>1) 2) 3)</sup>		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys $e_1$	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Suurempi arvoista $8t$ ja $125 \text{ mm}$
Reunaetäisyys $e_2$	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Suurempi arvoista $8t$ or $125 \text{ mm}$
Etäisyys $e_3$ Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ <sup>4)</sup>			
Etäisyys $e_4$ Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ <sup>4)</sup>			
Keskiöväli $p_1$	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja $200 \text{ mm}$	Pienempi arvoista $14t$ ja $200 \text{ mm}$	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja $175 \text{ mm}$
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja $200 \text{ mm}$		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja $400 \text{ mm}$		
Keskiöväli $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja $200 \text{ mm}$	Pienempi arvoista $14t$ ja $200 \text{ mm}$	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja $175 \text{ mm}$
<p>1) Keskiöväleillä, pääty- ja reunaetäisyyksillä ei ole ylärajaa paitsi seuraavissa tapauksissa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- puristetuissa rakenneosissa paikallisen lommahduksen ja korroosion välttämiseksi korroosiorasituksen alaisena ja;</li> <li>- korroosiorasitukselle alttiit vedetyt rakenneosat korroosion välttämiseksi.</li> </ul> <p>2) Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus lasketaan standardin EN 1993-1-1 mukaan olettamalla levy pilariksi ja käyttämällä nurjahduspituutena arvoa <math>0,6p_1</math>. Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallista lommahdusta ei tarvitse tarkistaa, jos <math>p_1/t</math> on pienempi kuin 9e. Reunaetäisyys saa olla enintään ulokkeelliselle puristetulle taso-osalle esitetyn arvon suuruinen paikallisen lommahduksen estämiseksi, ks. standardi EN 1993-1-1. Tämä vaatimus ei koske päätyetäisyyttä.</p> <p>3) <math>t</math> on uloimman liitettävän osan pienempi paksuus.</p> <p>4) Pidennettyjen reikien raja-arvot esitetään kohdan 1.2.7 mukaisessa viitestandardiryhmässä 7.</p> <p>5) Limitetyille kiinnitinriveille voidaan käyttää minimiarvoa <math>p_2 = 1,2d_0</math>, jos kahden limityksessä olevan kiinnittimen välinen minimietäisyys <math>L \geq 2,4d_0</math>, ks. kuva 3.1b).</p>				



**Taulukko 5.6 Yksittäisen kiinnittimen leikkauskestävyys leikettä kohti (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)**

Murtumismuoto	Ruuvit	Niitit
Leikkauskestävyys leikettä kohti	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- kun ruuvien kierteet ovat leikkaustasossa (A on ruuvien jännityspoikkipinta-ala <math>A_s</math>): <ul style="list-style-type: none"> <li>- lujuusluokat 4.6, 5.6 ja 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>- lujuusluokat 4.8, 5.8, 6.8 ja 10.9: <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> </li> <li>- kun ruuvien kierteetön osa on leikkaustasossa (A on ruuvien bruttopoikkileikkauksen pinta-ala): <math>\alpha_v = 0,6</math></li> </ul>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$

Varmuuskerroin  $\gamma_{M2}$  on 1,25 SFS-EN 1993-1-8 taulukon 2.1 mukaan. Kerroin  $\alpha_v$  on joko 0,6 tai 0,5 sen mukaan, minkä lujuusluokan pulttia käytetään. Leikkauskestävyyden laskemisessa käytetään A-arvona ruuvien jännityspoikkipinta-alaa  $A_s$ . Näin laskenta antaa varmalla puolella olevan ratkaisun, kun kierteet eivät ole leikkaustasossa, mutta toimii myös silloin, kun kierteet ovat leikkaustasossa.

## 5.4.2 Vetovoima

Vetovoimatarkastelussa etsitään liitoksen kovimmassa vetovoimarasituksessa oleva pultti ja verrataan siihen kohdistuvaa rasitusta yksittäisen pultin vetokestävyyteen. Yksittäisen pultin vetokestävyys lasketaan taulukon 5.7 mukaisesti. Laskentapohjassa käytetään  $k_2$ -kertoimena vain arvoa 0,9, koska pulttien ei oleteta olevan uppokantaisia.

**Taulukko 5.7 Yksittäisen kiinnittimen vetokestävyys (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)**

Vetokestävyys <sup>2)</sup>	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>Missä <math>k_2 = 0,63</math> uppokantaisille ruuveille, Muissa tapauksissa <math>k_2 = 0,9</math>.</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
-----------------------------	--	---

Suurimmassa vetorasituksessa oleva pultti löytyy tekemällä useita erinäisiä tarkasteluja, jotka ovat riippuvaisia liitokseen vaikuttavista voimista sekä liitoksen muodosta. Jokainen laskentapohja laskee erikseen oman liitostilanteen rasitettumman pultin momenttivoimien ja normaalivoiman avulla. Yleensä rasitetuin

pultti on uloimman pulttirivin jokin reunapultti, jos liitokseen vaikuttavat momenttivoimat profiilin vahvemmassa ja heikommassa suunnassa.

#### 5.4.3 Yhdistelmä veto- ja leikkausvoima

Mathcad-laskentapohja ottaa huomioon myös pulttien yhdistetyn leikkaus- ja vetovoimakestävyyden taulukon 5.8 mukaisesti. Yhdistetty leikkaus- ja vetovoimatarkastelu tehdään liitoksen vedetyintä pulttia tarkastelemalla.

**Taulukko 5.8 Yksittäisen kiinnittimen yhdistetty leikkaus- ja vetovoima (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)**

Yhdistetty leikkaus- ja vetovoima	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$
-----------------------------------	--

#### 5.4.4 Reunapuristuskestävyys

Reunapuristuskapasiteetti  $F_{b,Rd}$  määritetään SFS-EN 1993-1-8 taulukon 3.4 mukaan. Arvoa verrataan leikkausvoimien resultanttiin, jaettuna pulttien lukumäärällä  $F_{v,Ed}$ . Taulukossa on myös määritelty arvot  $\alpha_b$  ja  $k_1$ . (Taulukko 5.9)

**Taulukko 5.9 Reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo yksittäisille kiinnittimille (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)**

Reunapuristuskestävyys <sup>1), 2), 3)</sup>	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>missä <math>\alpha_b</math> on pienin arvoista <math>\alpha_d</math>; <math>\frac{f_{yb}}{f_u}</math> ja 1,0;</p> <p>siirrettävän voiman suunnassa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- levyn pään ruuveille: <math>\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}</math>;</li> <li>- muille kuin pään ruuveille: <math>\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}</math></li> </ul> <p>kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- reunarivin ruuveille: <math>k_1</math> on pienin arvoista <math>2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7</math> ja 2,5</li> <li>- muille kuin pään ruuveille: <math>k_1</math> on pienin arvoista <math>1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7</math> ja 2,5</li> </ul>
--	--

## 5.4.5 Pultin ja mutterin lävistymiskestävyys

Lävistymiskestävyys mitoitetaan vertaamalla arvoa  $F_{tEd}$  sekä arvoa  $B_{p,Rd}$ . Arvo  $F_{tEd}$  on liitoksen suurimassa vetorasituksessa olevan pultin vetovoima.  $B_{p,Rd}$  on määritelty SFS-EN 1993-1-8 mukaan (Taulukko 5.10). Mutterien halkaisijat ta-hojen kohdalta on määritelty ISO 7042 -standardin mukaan.

**Taulukko 5.10 Yksittäisen kiinnittimen ruuvien ja mutterien lävistymiskestävyyden mitoitusarvo (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)**

Ruuvien ja mutterien lävistymiskestävyys	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	Tarkistus tarpeeton
--	--	---------------------

## 5.5 Hitsit

Laskentapohjaa voidaan käyttää standardin EN 1993-1-1 mukaisille hitsattaville rakenneteräksille, kun hitsattavan osan aineenpaksuus on vähintään neljä millimetriä. Jos hitsataan kahta eri lujuusluokan terästä, käytetään hitsien mitoituksessa alemman lujuusluokan teräksen arvoja. Koska liitososien tulee olla aina vähintään yhtä lujia kuin itse profiili, laskentapohja käyttää hitsien mitoituksessa profiilin lujuusluokan teräksen lujuuden arvoja. Laskentapohja ei ota huomioon lamellirepeytymistä.

Hitsit mitoitetaan puristus-, veto- ja leikkausvoimille. Puristusjännitykset on huomioitu, koska suoraan ei voida olettaa, että pohjalevyn ja pilarin päässä on tiivis kosketus. Koska ei voida olettaa, että profiilin pään ja levyn välillä on tiivis kosketus, hitsin on kestävä puristusvoimatkin. Jos kyseisien osien välillä on tiivis kosketus, on asia mainittava kokoonpanopiirustuksessa.

### 5.5.1 Hitsien mitoitus

Laskentapohja mitoittaa laippojen ja uuman hitsit erikseen. Uuman mitoituksessa otetaan huomioon vain  $M_{ed}$  momenttivoima,  $V_{ed}$  leikkausvoima sekä  $N_{ed}$  normaalivoima. Laippojen hitsien mitoituksessa otetaan huomioon momenttivoi-



mat Medy sekä Medz, leikkausvoima Vedz ja normaalivoima Ned. Pienahitsin kestävyys on täytettävä kuvan 5.7 mukaiset ehdot.

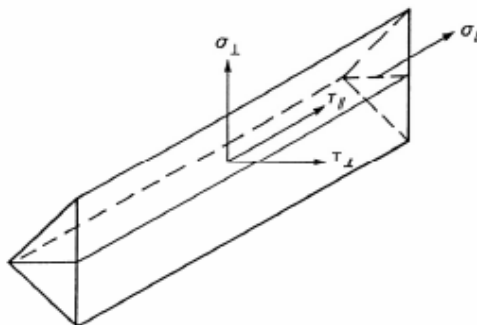
Pienahitsin kestävyys on riittävä, jos molemmat seuraavat ehdot ovat voimassa:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{ja} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

Kuva 5.7 Pienahitsin kestävyden mitoitusarvo (SFS-EN 1993-1-8, 50.)

Hitsit mitoitetaan SFS-EN 1993-1-8 kohdan 4.5.3.2 mukaan komponenttimenettelmällä, jossa voimat jaetaan hitsin akseleiden suuntaisiin voimiin. Laskentapohja laskee laskentapintaa vastaan kohtisuoran normaalijännityksen sekä hitsin akselin suuntaisen leikkausjännityksen, laskentapinnan tasossa. Laskentapintaa vastaan kohtisuoran normaalijännityksen oletetaan olevan sama kuin hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys laskentapinnan tasossa, kuten hitsatut profiilit käsikirjan luvussa 3 esimerkissä 3.5. Pienahitsin korrelaatiokerroin  $\beta_w$  määritetään SFS-EN 1993-1-8 taulukon 4.1 mukaan. Pienahitsin jännitykset on kuvattu kuvassa 5.8.

- $\sigma_{\perp}$  on laskentapintaa vastaan kohtisuora normaalijännitys;
- $\sigma_{\parallel}$  on hitsin akselin suuntainen normaalijännitys;
- $\tau_{\perp}$  on hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa);
- $\tau_{\parallel}$  on hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa).



Kuva 5.8 Pienahitsin jännitykset (SFS-EN 1993-1-8, kuva 5.4.)

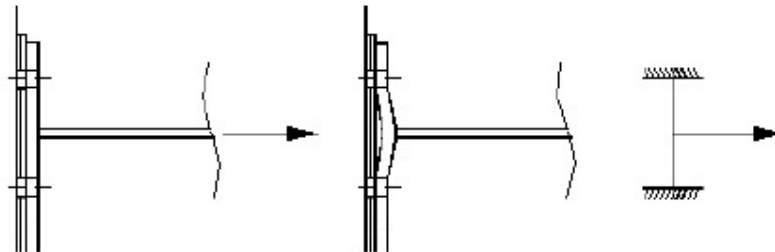
Laskentapohja tekee myös rinnakkaistarkastelun, jossa hitsien koko määräytyy muodonmuutoskyvyn perusteella. Rinnakkaistarkastelu määrittää hitsien koot laipoille ja uumalle erikseen (Kaava 2 ja 3). Rinnakkaistarkastelu tulee tehdä, koska jos liitos on staattisesti määräämättömän rakenteen osana, hitsin koko määrittyy muodonmuutoskyvyn perusteella.

$$a_{f,2} = \frac{0,7\beta_W}{\sqrt{2}} t_f \quad (2)$$

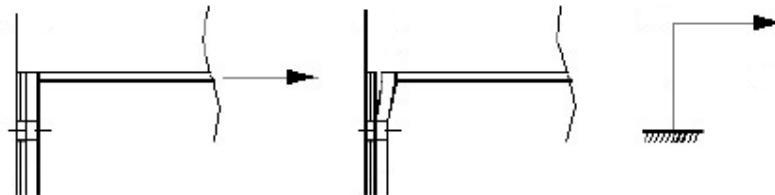
$$a_{f,2} = \frac{0,7\beta_W}{\sqrt{2}} t_W \quad (3)$$

## 5.6 Päätylevy

Laskentapohja mitoittaa päätylevyn kimmoisesti. Päätylevyn on kestettävä siihen kohdistuva vetorasitus  $N_{Ed,pl}$  sekä siihen kohdistuva puristusjännitys  $\sigma_{Rd}$ . Vetorasituksen ajatellaan vaikuttavan päätylevyyn kahdella eri tavalla sen mukaan, ovatko pultit laipan ulko- ja sisäpuolella vai pelkästään laipan sisäpuolella. Kuvat 5.9 ja 5.10 esittää molemman tilanteen staattisen mallin.



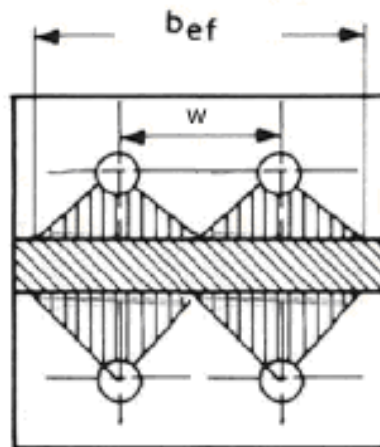
Kuva 5.9 Päätylevyliitoksen staattinen malli, kun pultit ovat laipan kummallakin puolella



Kuva 5.10 Päätylevyliitoksen staattinen malli, kun pultit ovat vain laipan sisäpuolella

Suurimmassa rasitustilassa olevan pulttiryhmän efektiivinen leveys on  $b_{\text{eff},1}$  (Kuva 5.11).  $W$  on yksittäisen pulttiryhmän viereisten pulttien välimatka. Jos se laipan puolikas, johon pultit vaikuttavat, on leveydeltään lyhyempi kuin  $b_{\text{eff},1}$ , leveytenä käytetään laipan puolikasta. Efektiivinen leveys lasketaan kaavalla 4.

$$b_{\text{eff},1} := 2 \cdot m_y \cdot \sqrt{3} + w \quad (4)$$



Kuva 5.11 Pulttiryhmän efektiivinen leveys

Päätylevyn mitoituksessa ei oteta huomioon päätylevyn palamurtoa. Palamurrosta olisi tullut monia erilaisia variaatioita ja näiden variaatioiden lisääminen jokaiseen mitoituskorttiin olisi ollut erittäin työlästä. Koska kyseessä on pilarin jatkosliitos, voidaan olettaa, että suurimmat rasitukset liitokselle tulevat normaallivoimista sekä momenttivoimista. Palamurto päätettiin rajata pois mitoituksesta, koska leikkausvoimien oletetaan olevan liitoksen kohdalla melko pieniä. Jos FEM-mallista nähdään, että liitokseen kohdistuu huomattavia leikkausvoimia, täytyy päätylevyjen palamurto ottaa erityiseen tarkasteluun.

### 5.6.1 Päätylevyn vetokapasiteetti

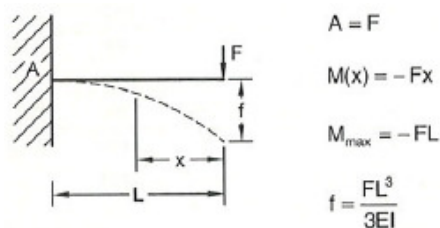
Päätylevyn vetokapasiteetin ratkaisu perustuu päätylevyn paksuuden ja päätylevyn tehollisen leveyden kykyyn vastustaa päätylevyn ja vedetyn laipan liittymäkohdassa vaikuttavaa vetovoimaa. Päätylevyn ja vedetyn laipan liittymäkohdassa vaikuttava vetovoima, aiheutuu profiiliin vaikuttavista momenttivoimista. Yhtymäkohdan vetovoima ja pulttien etäisyys yhtymäkohdasta aiheuttavat momenttivoiman, joka päätylevyn on kestävä. Vaadittu päätylevyn paksuus ratkaistaan RIL 167-2 Teräsrakenteet 2 luvun 5.6.3.4 Päätylevyliitokset avulla, kaavalla 5.

$$t \geq \left[ \frac{6F_{RT\alpha}}{f_y b_{ef}} \right]^{0,5} \quad (5)$$

Päätylevyn momenttikapasiteetti  $M_{el,Rd}$  voidaan johtaa edellä esitetystä kaavasta (kuva 6). Päätylevyn vetovoimakapasiteetti  $F_{el,Rd}$  voidaan laskea momenttikapasiteetin  $M_{el,Rd}$  sekä laipan ja pultin välimatkan  $m_y$  avulla (Kaava 6). Vetovoimakapasiteetti lasketaan kahdella eri tavalla sen mukaan, ovatko pultit laipan kummallakin puolella vai pelkästään laipan sisäpuolella.

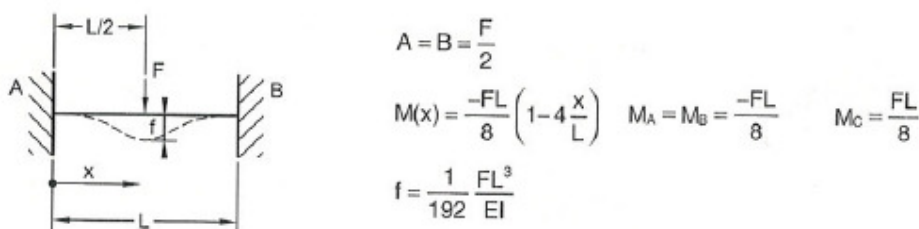
$$M_{el,Rd} := \frac{b_{eff,1} \cdot t^2 \cdot f_{y,pl}}{6\gamma_{M0}} \quad (6)$$

Riippuen päätylevyliitoksen staattisesta mallista  $F_{el,Rd}$  vetovoimakapasiteetti määritetään seuraavasti. Staattinen malli on otettu Rakentajain kalenterista 2007 luvusta 1.2. Staattisia malleja on kaksi: toisesta päästä jäykästi tuettu malli (Kuva 5.12) tai molemmista päistä jäykästi tuettu malli (Kuva 5.13). Jos staattisessa mallissa on kyse ensimmäisestä vaihtoehdosta,  $F_{el,Rd}$  lasketaan kaavalla 7. Jos kyseessä on toinen vaihtoehto,  $F_{el,Rd}$  lasketaan kaavalla 8.



Kuva 5.12 Staattinen malli yhdeltä reunalta jäykästi tuettu (Rakentajain kalenteri 2007, 50.)

$$F_{el,Rd} := \frac{M_{el,Rd}}{m_y} \quad (7)$$



Kuva 5.13 Staattinen malli kahdelta reunalta jäykästi tuettu (Rakentajain kalenteri 2007, 56.)

$$F_{el,Rd} := \frac{M_{el,Rd} \cdot 8}{2m_y + t_f} \quad (8)$$

Muuttuja  $t_f$  on laipan paksuus ja muuttuja  $m_y$  on laipan ja pultin välimatka.

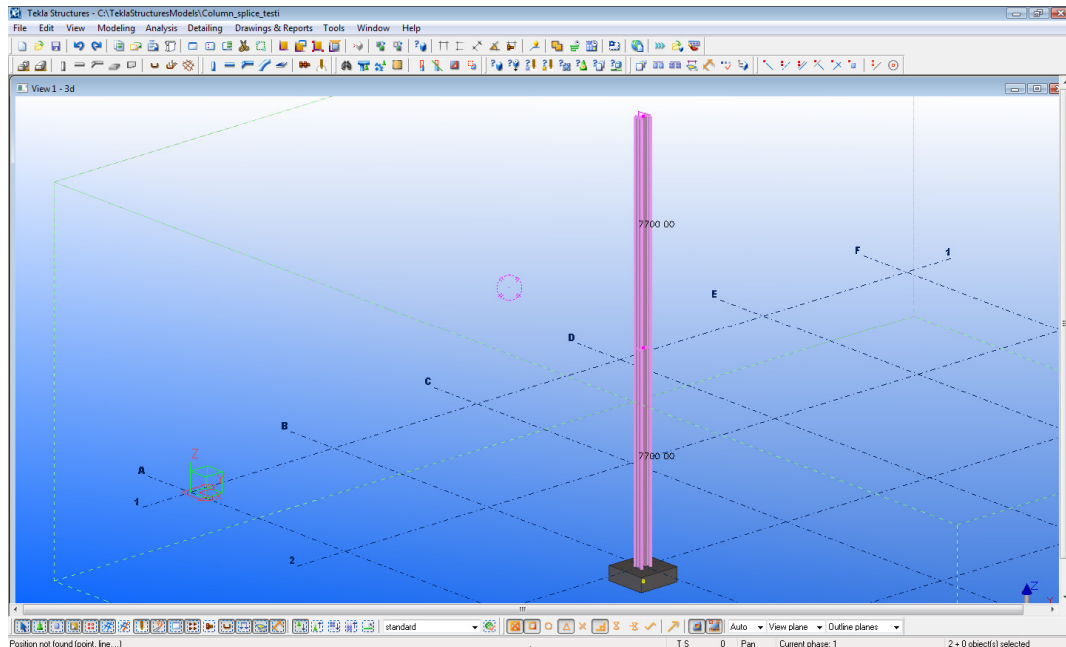
### 5.6.2 Päätylevyn puristuskapasiteetti

Päätylevy mitoitetaan myös puristukselle. Päätylevyn on kestettävä momentti-voimista  $M_{Ed,y}$  ja  $M_{Ed,z}$  sekä normaalivoimasta  $N_{Ed}$  aiheutuva puristusjännitys. Koska profiiliin, joka on päätylevyssä kiinni, oletetaan olevan yhtä luja tai heikompi kuin päätylevy, käytetään päätylevyn mitoituksessa profiilin lujuutta. Näin laskenta on varmalla puolella. Mitoitus tapahtuu vertaamalla päätylevyn puristuskapasiteettia  $\sigma_{Rd}$  profiilin lujuuteen  $\sigma_{Ed}$ , joka lasketaan kaavalla 9.

$$\sigma_{Ed} := \frac{f_{y,p}}{\gamma_{M0}} \quad (9)$$

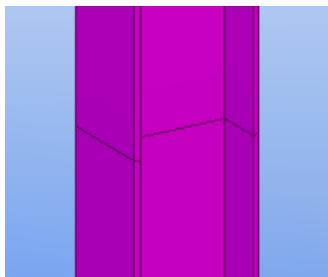
## 6 ESIMERKKI MITOITUSKOMPONENTIN KÄYTÖSTÄ

Esimerkkinä käytetään kuvitteellista rakennusprojektia. Rakennusprojekti päätehtään tehdä BIM-tuotemallin avulla. Mallinnus tehdään Tekla Structures-ohjelmistolla. Pilareiden suunnittelu on käynnissä ja huomataan, että pilareita täytyy jatkaa (Kuva 6.1). A&D-ohjelmistosta saadaan tieto, mitä kuormia tulee pilarin jatkosliitoskohtaan.



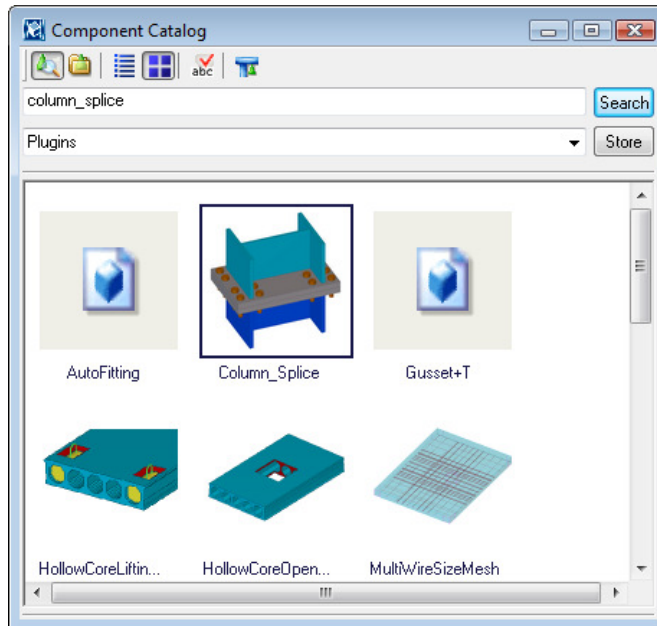
Kuva 6.1 Pilarit

Pilari on rakennuksen seinälinjalla ja siihen kohdistuu kohtuullisen suuria voimia. Liitososien ei haluta tulevan pilarin sivulinjojen yli. Liitos saa tulla rakennuksen sisäpuolelle hieman yli pilareista. Kuvassa 6.2 esitetään pilareiden liitoskohta.



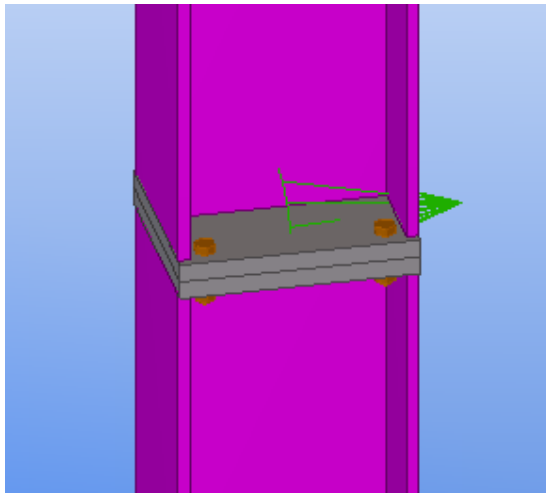
Kuva 6.2 Liitoskohta

Liitoskohta päätetään toteuttaa päätylevyjatkosliitoksella. Liitokseen käytetään Column\_Splice plugin-komponenttia (Kuva 6.3). Plugin-komponentilla tehdään myös tarvittava liitoksen mitoitus.



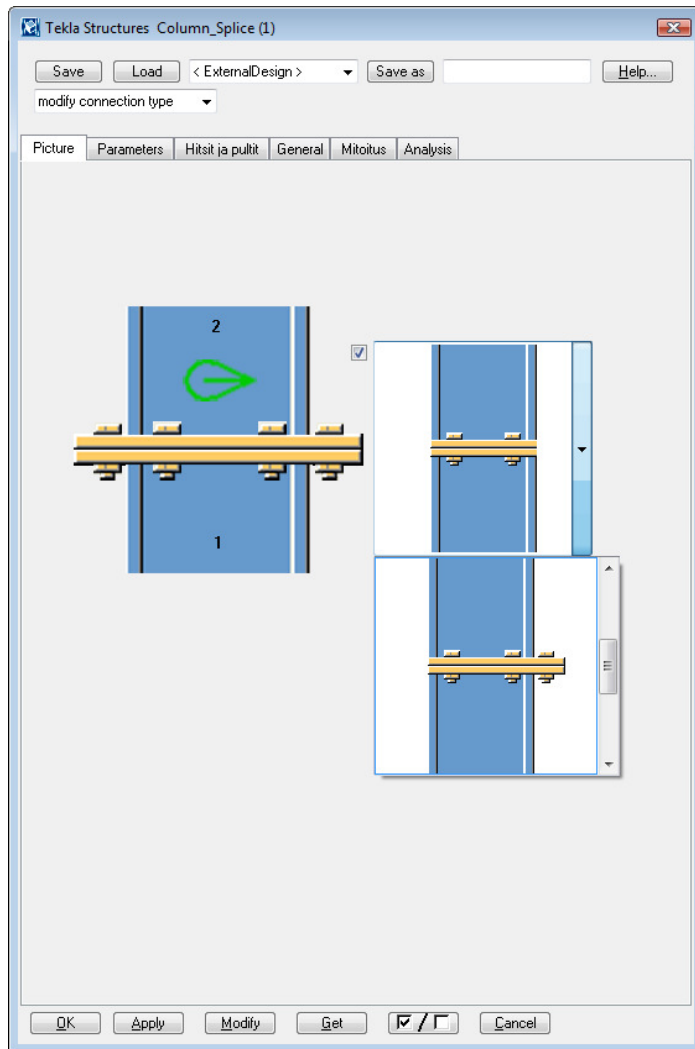
Kuva 6.3 Liitoksen valinta

Liitos ilmestyy pilareiden väliin kuten tavallinen custom-komponentti (Kuva 6.4). Liitoksen ulkomuoto ei vielä vastaa suunniteltua liitosta.



Kuva 6.4 Liitos

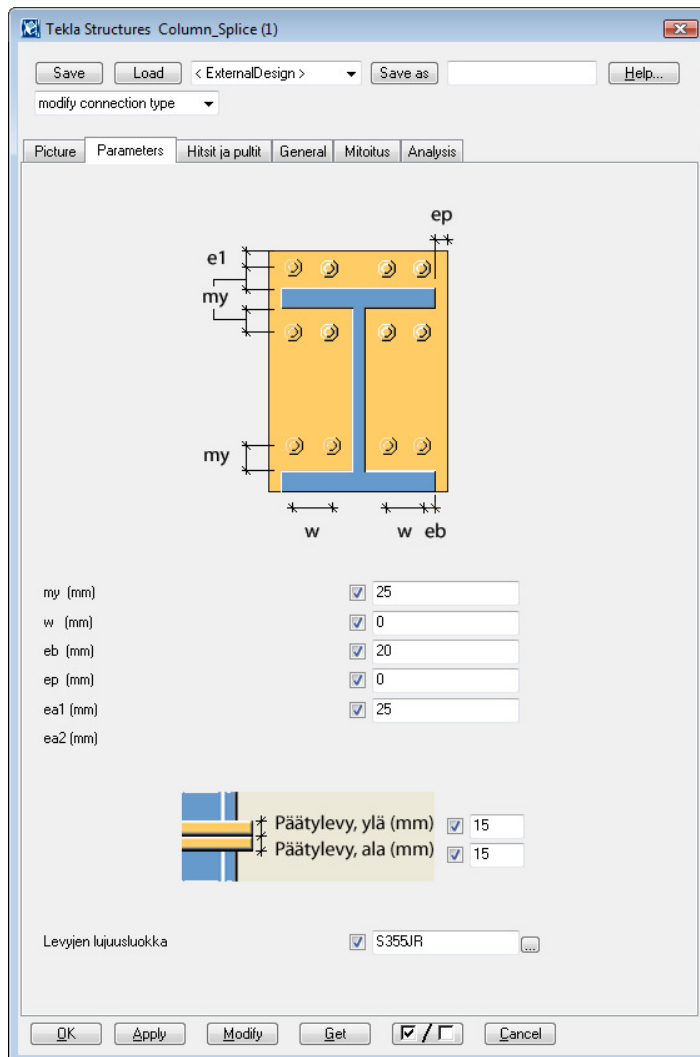
Kun liitos on lisätty Tekla Structures -malliin, sitä voidaan alkaa muokata. Koska liitokseen tulee suuria voimia ja liitos sijaitsee seinälinjalla, käytetään tilanteessa toispuoleista päätylevyliitosta, jossa on kuusi pulttia (Kuva 6.5).



Kuva 6.5 Liitoksen muodon valinta

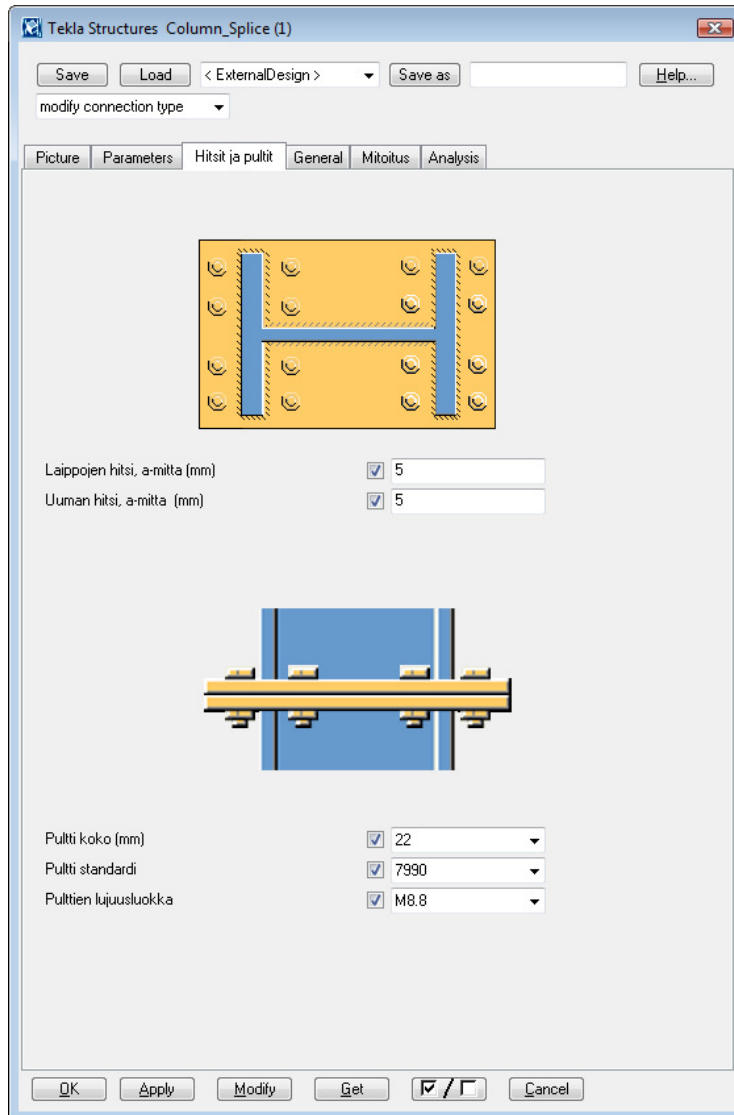


Seuraavaksi muokataan liitoksen parametrejä sopiviksi (Kuva 6.6). Liitokseen määritetään reuna- ja keskiövälietäisyydet sekä päätylevyjen paksuudet ja lujuudet. Arvo  $e_p$  määritetään nolllaksi, koska päätylevyt eivät saaneet tulla pilareiden reunojen yli leveyssuunnassa. Arvo  $w$  määritetään myös nolllaksi, koska liitokseen halutaan kuusi eikä kaksitoista pulttia.



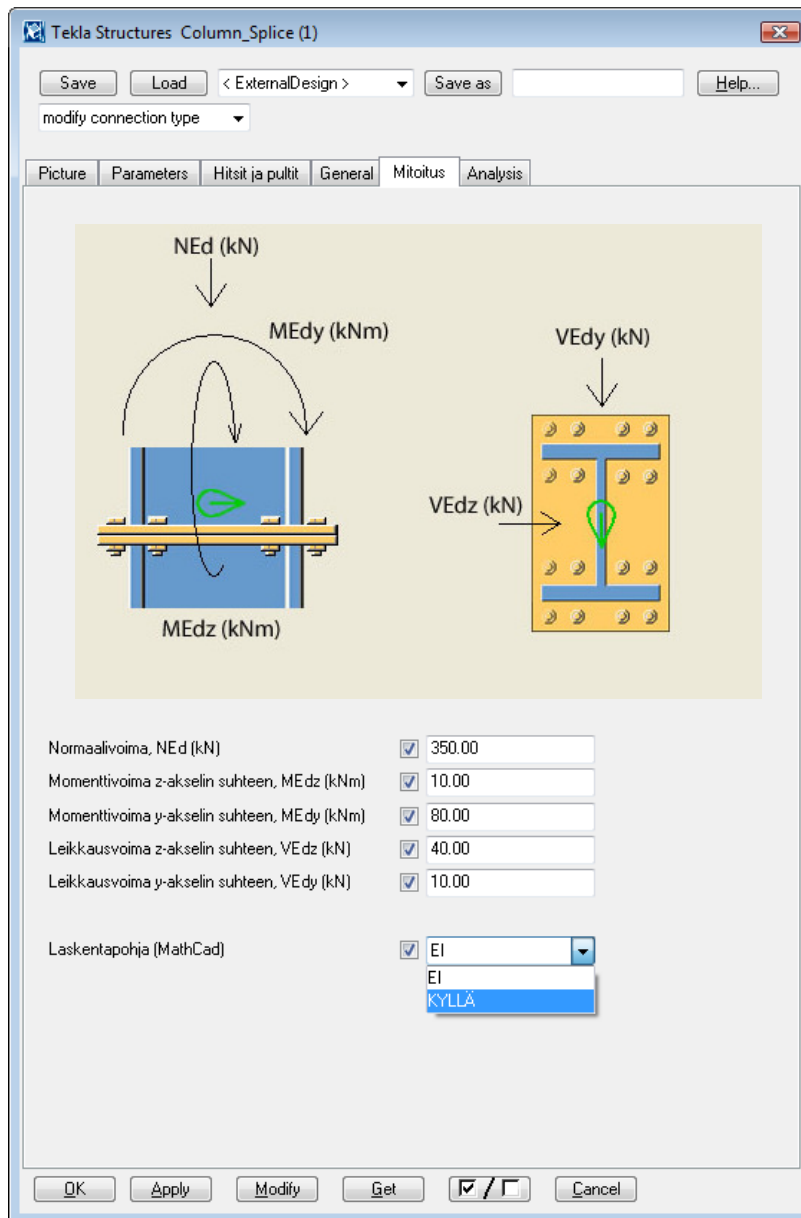
Kuva 6.6 Liitoksen parametrit

Seuraavalla välilehdellä voidaan määrittää hitsien ja pulttien koot (Kuva 6.7). Pienahitsien a-mitat voidaan määrittää uumalle ja laipoille erikseen. Pulteille löytyy yleisimmin käytetyt pultti koot sekä lujuudet. Pulttistandardi tulee suoraan Tekla Structures -ohjelmistosta.



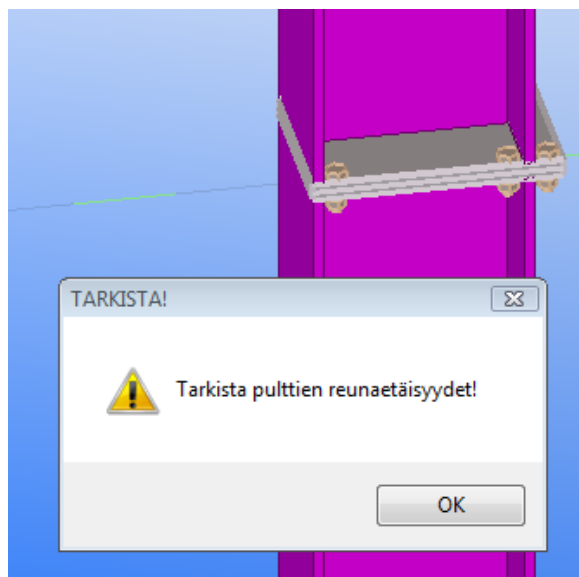
Kuva 6.7 Hitsit ja pultit -välilehti

Seuraavassa välilehdessä päätetään tehdä liitoksen mitoitus A&D-ohjelmiston antamien tuloksien perusteella (Kuva 6.8). Kuormat syötetään oikeisiin kenttiin mitoitusvälilehdessä olevan kuvan avulla. Mitoitus käynnistetään valitsemalla Laskentapohjan (MathCad) alasvetovalikosta KYLLÄ ja painamalla Modify-painiketta.



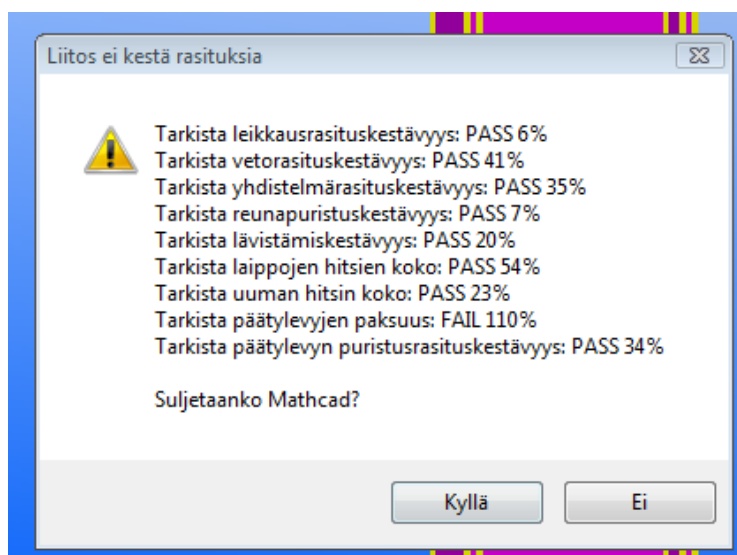
Kuva 6.8 Mitoitusvälilehti

Plugin-mitoituskomponentti antaa varoituksen, jonka mukaan suunnitellun liitoksen pulttien reunaetäisyydet ovat liian pienet (Kuva 6.9).



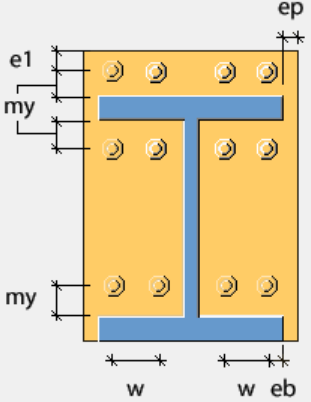
Kuva 6.9 Reunaetäisyydet varoitus

Mitoituskomponentti antaa myös varoituksen, jonka mukaan suunniteltu pilarin jatkosliitos ei kestä rasituksia, jotka aiheutuvat annetuista kuormista (Kuva 6.10). Varoituksesta huomataan, että päätylevyt on alimitoitettu. Tässä vaiheessa suunnittelija voi tutkia laskentapohjaa Mathcad-ohjelmiston puolella, jos haluaa. Mathcad-ohjelmisto aukeaa Tekla Structures -ohjelmiston taakse.



Kuva 6.10 Käyttöastevaroitus



Seuraavaksi liitosta joudutaan muokkaamaan sellaiseksi, että liitos kestää siihen kohdistuvat rasitukset (Kuva 6.11). Liitoksessa olevien pulttien reunaetäisyyksiä kasvatetaan ja päätylevyistä tehdään paksummat.



The diagram shows a T-joint weld configuration. A central vertical plate of width  $w$  is welded to a horizontal plate of width  $w + e_b$ . The vertical plate has a thickness  $my$  and the horizontal plate has a thickness  $ep$ . The distance from the center of the vertical plate to the edge of the horizontal plate is  $e_1$ . The distance from the center of the vertical plate to the edge of the vertical plate is  $ea_1$ . The distance from the center of the vertical plate to the edge of the vertical plate is  $ea_2$ .

$my$ (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 50
$w$ (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 0
$e_b$ (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 40
$ep$ (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 0
$ea_1$ (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 40
$ea_2$ (mm)	

 Päätylevy, ylä (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 20
 Päätylevy, ala (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 20

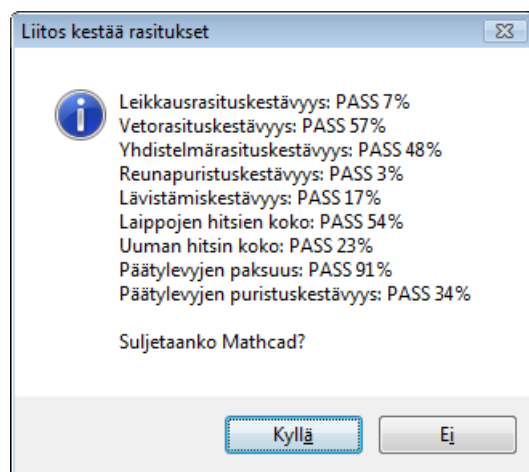
Kuva 6.11 Muutokset päätylevyssä

Koska pulttien käyttöasteet ovat melko pieniä, voidaan pulttien kokoa pienentää (Kuva 6.12). Pulttien lujuutta ei saa enää pienentää.

Pultti koko (mm)	<input checked="" type="checkbox"/> 20
Pultti standardi	<input checked="" type="checkbox"/> 7990
Pulttien lujuusluokka	<input checked="" type="checkbox"/> M8.8

Kuva 6.12 Muutokset pulteissa

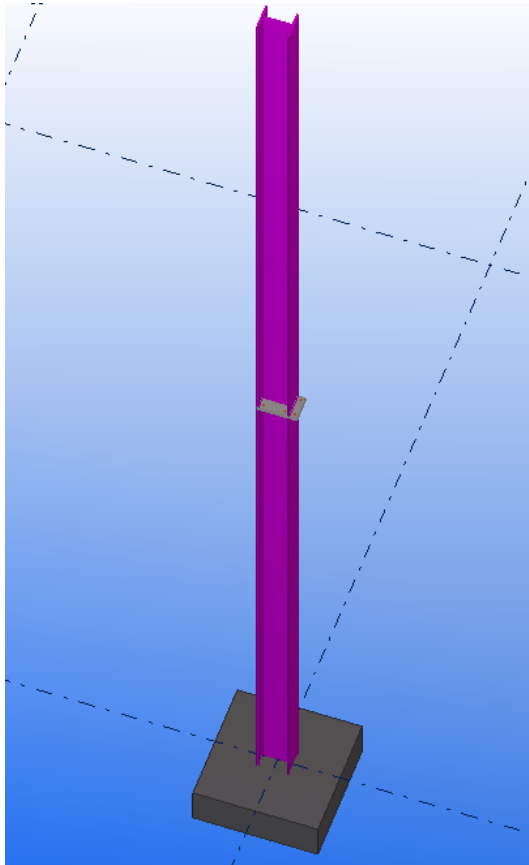
Kun liitos on muokattu uudestaan, päivitetään liitos Modify-näppäimellä. Mitoituskomponentti suorittaa mitoituksen uudestaan Mathcad-ohjelmistossa ja antaa vastauksen Tekla Structures -ohjelmistoon. Liitos kestää nyt rasitukset eivätkä pulttien reunaetäisyydetkään ole liian pienet (Kuva 6.13).



Kuva 6.13 Liitos kestää rasitukset

Jos suunnittelija haluaa, voi hän tulostaa Mathcad-laskentapohjan. Laskentapohja tulostetaan Mathcad-ohjelmistossa, joka aukeaa Tekla Structures -ohjelmiston taakse. Tämän mitoitus-esimerkin Mathcad-tuloste on opinnäytetyön liitteessä 1.

Nyt BIM-malliin on suunniteltu ja mitoitettu pilarin jatkosliitos plugin-mitoituskomponentin avulla (Kuva 6.14). Jos seinälinjan jokaisessa pilarissa on sama tilanne ja samat kuormat liitoksen kahdalla, voi mitoituskomponenttia käyttää tästä edes normaalina custom-komponenttina. Tällöin tulee vain estää Mathcad-yhteyden muodostus käyttövalikon mitoitusvälilehdellä. Plugin-komponentti muistaa siihen syötetyt kuormat, joten mitoituksen tuloste on saatavissa myöhemminkin.



**Kuva 6.14 Valmis pilarin jatkosliitos**

## 7 YHTEENVETO

Tämän opinäytetyön tarkoituksena oli tehdä mitoituskomponentti Tekla Structures -ohjelmistoon. Mitoituskomponentin avulla voidaan mitoittaa liitos siihen kohdistuvien rasituksien perusteella. Mitoituskomponentti tehtiin sovellettavaksi teräspilarin päätylevyjatkosliitokseen. Mitoituskomponentti luotiin niin, että sitä voidaan käyttää yleisimmissä valssatuissa avoprofiileissa.

Opinnäytetyössä tutkittiin, kuinka olisi järkevintä luoda yhteys Tekla Structures-mallinnusohjelmiston ja Mathcad-laskentaohjelmiston välille. Ohjelmistojen välille ei ollut tehty valmista yhteyttä Open API -rajapinnan avulla.

Ohjelmistojen välinen yhteys luotiin Visual Studio -kehitysympäristössä, C#-ohjelmointikielellä. C#:lla luotiin plugin-komponentti, joka yhdisti Tekla Structures -ohjelmiston sekä Mathcad-ohjelmiston. Plugin-komponentti tehtiin custom-komponentin pohjalta.

Opinnäytetyön valmis työkalu teki mitoituksen ja mallintamisen yksinkertaisemmaksi ja turvallisemmaksi. Mallinnettavaan liitokseen integroitu laskentapohja otti huomioon kaikki liitoksen vaikuttavat tärkeäksi havaitut asiat. Mitoituskomponentin yksilöity laskentakortti sulki pois mahdollisuuden käyttää väärää laskentakorttia liitoksessa.

Opinnäytetyön osana tehtiin tilaajana toimineelle yritykselle uudet eurokoodipohjaiset pilarin jatkosliitos tapaukseen käyvät käsinlaskentamitoituskortit.



## 8 POHDINTA

Tärkein asia, mikä opinnäytetyötä tehdessä tuli ilmi, oli, että Tekla Structures-ohjelmiston sekä Mathcad-ohjelmiston välille on mahdollista luoda yhteys. Yhteyden luonti Mathcad-ohjelmistoon on paljon monimutkaisempaa kuin Excel-tilukkolaskentaohjelmaan, mutta se oli jo tiedossa ennen opinnäytetyön aloittamista. On kuitenkin tärkeää pystyä linkittämään Mathcad ja Tekla Structures, koska Mathcad-ohjelmisto on erittäin hyvä työväline rakenteiden mitoittamisessa. Kaavapohjainen laskentatyö antaa etulyöntiaseman verrattuna tilukkolaskentaan. Kaavapohjainen laskenta on visuaalisesti paljon helpompi tulkita, seurata ja tarkastaa kuin tilukkolaskenta.

Mitoituskomponentin tekeminen oli hyvin työlästä, mutta hyvin tehdyn ensimmäisen mitoituskomponentin lähdekoodi antaa erinomaisen pohjan tulevien mitoituskomponenttien tekemiselle. Jo valmista lähdekoodia muokkaamalla tilanteeseen sopivaksi tulevien mitoituskomponenttien tekeminen on paljon nopeampaa. Ohjelmointi tulisi kuitenkin tehdä ohjelmointiasiantuntijan toimesta. Ohjelmointiasiantuntijoiden ja rakennesuunnittelijoiden yhteistyö tuottaa erinomaisia työkaluja rakennesuunnittelua varten.

Opinnäytetyön yksi tarkoitus oli spesifioida laskentapohjat tiettyyn liitostapaukseen sopivaksi. Tämä päämäärä saavutettiin mielestäni erittäin hyvin. Olisi hienoa, jos tulevaisuudessa kaikkiin liitoskomponentteihin liittyisi yksilöity laskentapohja. Nyt kun eurokoodimitoitusta on yleisessä käytössä koko Euroopassa, Tekla voisi kehittää komponentteihin laskentapohjat eurokoodiin perustuen. Laskentapohjat voisivat ottaa kansalliset eriytyvät huomioon valittaessa käyttöympäristöä. Esimerkiksi valittaessa Suomi ympäristö laskentapohja ottaisi huomioon Suomen kansalliset asiakirjaliitteet.

Eurokoodipohjaisen mitoituksen käyttökelpoisuutta ja monimutkaisuutta on kritisoitu eri tilanteissa. Opinnäytetyössä eurokoodin monimutkaisuus tuli esille päätylevyn mitoituksessa. Päätylevyn mitoitus olisi ollut erittäin monimutkaista eurokoodin mukaisesti. Päätylevyn mallintaminen T-osina ja yksittäisien pulttirivien pyöreä ja ei-pyöreä myötökuvion käyttö jokaisissa laskentapohjissa olisi ollut erittäin haasteellista. Tarvittavien tietojen tuonti Tekla Structures- ohjelmistosta ja niiden automaattinen käyttö varmasti oikeiden tuloksien tuottamiseksi olisi vaatinut pidemmän tutkimusajan.

Pulttien mitoituksessa on useita sellaisia kertoimia, joiden merkitystä ei selvästi kerrota SFS-EN 1993-1-8 -standardissa. Pultin leikkauskestävyyden mitoituksessa pultin tehollinen pinta-ala ja lujuus kerrotaan myös kertoimella  $\alpha_v$ . Kerroin  $\alpha_v$  on joko 0,6 tai 0,5 sen mukaan, minkä lujuusluokan pulttia käytetään. Miksi arvot ovat juuri 0,6 ja 0,5? Mielestäni myös pultin reunapuristuksen mitoituksessa käytetyt  $\alpha_b$ - ja  $k_1$ -kertoimet on määritelty hieman epämääräisesti.

Opinnäytetyössä jouduttiin rajaamaan pois laskentapohjista asioita kuten lamellirepeytyminen, päätylevyjen palamurrot sekä lujuuksien pienentäminen, kun on kyseessä yli neljäkymmentä millimetriä paksuja rakennelevyjä. Tärkeiden asioiden rajaaminen mitoituksen ulkopuolelle on valitettavaa, mutta opinnäytetyön koko oli pidettävä jollain tavalla hallittuna.

Laskennassa on monia yksinkertaistettuja asioita kuten esimerkiksi pohjalevyn vetokapasiteetin mitoitus. Pohjalevy vastustaa todennäköisesti enemmän momenteista aiheutunutta vetoa, kuin mitä teoreettinen laskentatapa antaa tulokseksi. Kyllähän päätylevy vastustaa vetorasitusta efektiivisen leveyden  $b_{eff,1}$  ulkopuolellakin.

Opinnäytetyötä tehdessäni huomasin, kuinka tärkeää on osata ohjelmoinnin perusasioita jo pelkästään Tekla Structures -ohjelmiston työkaluja tehdessä. Custom-komponentin parametrien määrittäminen ja käyttövalikon ulkoasun määrittämisen INP-tiedoston muokkaus tapahtuu lähes samoin kuin C#-ohjelmointi. Hyvien ATK-taitojen omaaminen on varmasti miltei välttämätöntä tulevaisuuden rakennesuunnittelussa.

Opinnäytetyön rajaus oli erittäin haastavaa, ja osaksi sen takia opinnäytetyöstä tuli melko laaja. Itse liitos ja sen mitoitus saatiin rajattua hyvinkin tehokkaasti, mutta mitoituskomponentin teko vaati erittäin syvällistä perehtymistä Tekla Structures -ohjelmistoon sekä ohjelmointiin. Hyvin toimivan ja monipuolisesti muunneltavan custom-komponentin tekemien oli aikaa vievä prosessi. Myös toimivan plugin-ohjelman eli plugin-komponentin tekeminen vaati syvällisen perehtymisen C#-ohjelmointikieleen.

Rakennesuunnittelijoiden vastuu kasvaa tulevaisuudessa koko ajan kehittyvien BIM-mallien myötä. Näin ollen, myös rakennesuunnittelijoilla käytössä olevien työkalujen tulee kehittyä samaa vauhtia. Kehittyneet suunnittelutyökalut karsivat myös mahdollisia virheitä, joita voi tulla, kun aikataulupaineet kohdistetaan suunnittelijoihin. Rakenteen mallintamiseen ja mitoitukseen tulee suunnitella varmat ja nopeasti käytettävät työkalut.

En tiedä, kuinka kauan tällaisia omia mitoituskomponentteja tarvitsee tehdä. Tekla kehittää omaa BIM-tekniikkaa koko ajan, ja voi olla, että he onnistuvat luomaan hyvinkin täydellisen suunnittelun työkalun lähitulevaisuudessa. Ainakin kuormitustarkastelut ja A&D-ohjelmien integrointi Tekla Structures -ohjelmistoon kehittyvät koko ajan huimaa vauhtia. Varma asia on kuitenkin se, että tietomallintaminen tulee olemaan yleisin tapa hallita ja suunnitella rakennusprojekteja tulevaisuudessa. Mallinnusohjelmien tehokkaan käytön ja niiden yhteistoiminnan mitoituksen kanssa pitää olla saumatonta.

## KUVAT

Kuva 2.1 Tekla Structures BIM (building information model), s.11

Kuva 2.2 Tuotemallintamisen vaiheet, s.12

Kuva 2.2 Tuotemalli ja sen käyttäjät, s.14

Kuva 2.3 Tuotemallin ja analyysimallin yhteys, s.16

Kuva 3.1 Tekla Structures –ohjelmistokokoonpanot, s.19

Kuva 3.2 Eri ohjelmistokokoonpanojen detaljiesimerkkejä, s.21

Kuva 3.3 Tekla Structures -ohjelmiston ominaisuuksia, s.23

Kuva 3.4 Tekla Structures -ohjelmiston ja A&D-ohjelmiston yhteys, s.24

Kuva 3.5 Kolme perustapausta jatkosliitoksesta, s.26

Kuva 3.6 Define Custom Component, s.27

Kuva 3.7 Pilariliitos, s.27

Kuva 3.8 Päätylevyn positiointi, s.28

Kuva 3.9 Custom Component Wizard, s.28

Kuva 3.10 Custom component editor, s.29

Kuva 3.11 Leikkauslinjat, s.29

Kuva 3.12 Leikkauslinjojen reunapisteet, s.30

Kuva 3.13 Ankkuroidut reunapisteet, s.30

Kuva 3.14 Kaikki liitoksen osat valmiina, s.31

Kuva 3.15 Esimerkkiparametreja, s.32

Kuva 3.16 Display variables -ikkuna, s.33

Kuva 3.17 Display variables -valikon yhteys Custom component browser-valikkoon, s.34

Kuva 3.18 Muokkaamaton Column-Splice-käyttöikkuna, s.35

Kuva 3.19 Model folder, s.36

Kuva 3.20 Muokkaamaton Column-Splice INP-tiedosto, s.36

Kuva 3.21 Parametrit lisätty INP-tiedostoon, s.37

Kuva 3.22 Keskeneräinen käyttöikkuna, s.37

Kuva 3.23 Valmis Column-Splice-käyttövalikko, s.39

Kuva 4.1 Pienoisohjelman lähdekoodi, s.44

Kuva 4.2 Pienoisohjelma, s.44

Kuva 4.3 Referenssien lisäys, s.46

Kuva 4.4 Plugin ("Column\_Splice"), s.46

Kuva 4.5 Muuttujat, s.47

Kuva 4.6 Override, s.47

Kuva 4.7 Laskentapohjat, s.47

Kuva 4.8 Run, s.47

Kuva 4.9 Yhteyden aktivointi, s.48

Kuva 4.10 Mathcad-laskentapohjan valinta, s.49

Kuva 4.11 TopMostMessageBox, s.50

Kuva 4.12 Pulttien reunaetäisyydet, s.50

Kuva 4.13 Valmis plugin mitoituskomponentti, s.51

Kuva 5.1 Column\_Splice mitoituskomponentti, s.52

Kuva 5.2 Päätylevyliitos 4 tai 8 pulttia, s.53

Kuva 5.3 Päätylevyliitos 6 tai 12 pulttia, s.53

Kuva 5.4 Päätylevyliitos 8 tai 16 pulttia, s.54

Kuva 5.5 List Box -valikot, s.57

Kuva 5.6 Kiinnittimien pääty- ja reunaetäisyyksien sekä keskiövälän merkinnät (SFS-EN 1993-1-8), s.61

Kuva 5.7 Pienahitsin kestävyysden mitoitusarvo (SFS-EN 1993-1-8), s.65

Kuva 5.8 Pienahitsin jännitykset (SFS-EN 1993-1-8), s.65

Kuva 5.9 Päätylevyliitoksen staattinen malli, kun pultit ovat laipan kummallakin puolella, s.66

Kuva 5.10 Päätylevyliitoksen staattinen malli, kun pultit ovat vain laipan sisäpuolella, s.66

Kuva 5.11 Pulttiryhmän efektiivinen leveys, s.67

Kuva 5.12 Staattinen malli yhdeltä reunalta jäykästi tuettu, s.69

Kuva 5.13 Staattinen malli kahdelta reunalta jäykästi tuettu, s.69

Kuva 6.1 Pilarit, s.70

Kuva 6.2 Liitoskohta, s.70

Kuva 6.3 Liitoksen valinta, s.71

Kuva 6.4 Liitos, s.71

Kuva 6.5 Liitoksen muodon valinta, s.72

Kuva 6.6 Liitoksen parametrit, s.73

Kuva 6.7 Hitsit ja pultit välilehti, s.74

Kuva 6.8 Mitoitusvälilehti, s.75

Kuva 6.9 Reunaetäisyydet varoitus, s.76

Kuva 6.10 Käyttöastevaroitus, s.76

Kuva 6.11 Muutokset päätylevyssä, s.77

Kuva 6.12 Muutokset pulteissa, s.77

Kuva 6.13 Liitos kestää rasitukset, s.78

Kuva 6.14 Valmis pilarin jatkosliitos, s.79

## **TAULUKOT**

Taulukko 5.1 Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot, s.56

Taulukko 5.2 Ruuvien jännityspinta-alat, s.58

Taulukko 5.3 Ruuvien myötöraja- ja vetomurtolujuus arvot, s.58

Taulukko 5.4 Requirements for the execution of steel structures, s.59

Taulukko 5.5 Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet, s.60

Taulukko 5.6 Yksittäisen kiinnittimen leikkauskestävyys leikettä kohti, s.62

Taulukko 5.7 Yksittäisen kiinnittimen vetokestävyys, s.62

Taulukko 5.8 Yksittäisen kiinnittimen yhdistetty leikkaus- ja vetovoima, s.63

Taulukko 5.9 Reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo yksittäisille kiinnittimille, s.63

Taulukko 5.10 Yksittäisen kiinnittimen ruuvien ja mutterin lävistymiskestävyyden mitoitusarvo, s.64

## LÄHTEET

Heikkinen, Kauhanen & Pikkarainen 2008. Heikkinen Teemu, Kauhanen Pavel & Pikkarainen Antti. 2008. XNA Pelikehitysympäristönä. Theseus. Opinnäyte-työ.

Microsoft. [http://msdn.microsoft.com/en-US/library/fx6bk1f4\(v=VS.80\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-US/library/fx6bk1f4(v=VS.80).aspx) (Luettu 16.2.2011)

Mureakuha. <http://wiki.mureakuha.com/wiki/CS-opas> (Luettu 16.9.2010)

Penttilä H. Nissinen S. & Niemioja S. 2006. Tuotemallintaminen rakennushank-keessa yleiset periaatteet. Helsinki: Rakennustieto OY

Sihvonen 2004. <http://www.cs.helsinki.fi/u/pohjalai/k04/ohpe/seminar/Sivonen-CSharp.pdf> (Luettu 29.11.2010)

Tekla a. <http://www.tekla.com/FI/SOLUTIONS/BUILDING-CONSTRUCTION/STRUCTURAL-ENGINEERS/Pages/Default.aspx> (Luettu 1.2.2011)

Tekla b. <http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/structural-engineers/collaboration/Pages/Default.aspx> (Luettu 1.2.2011)

Tekla c. <http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/structural-engineers/integration-with-A-D/Pages/Default.aspx> (Luettu 2.2.2011)

Tekla d. <http://www.tekla.com/fi/products/Pages/Default.aspx> (Luettu 2.2.2011)

Tekla e. <http://www.tekla.com/FI/ABOUT-US/HISTORY/Pages/Default.aspx> (Luettu 2.2.2011)

Tekla f. <http://www.tekla.com/FI/ABOUT-US/FACTS-AND-FIGURES/Pages/Default.aspx> (Luettu 8.1.2011)

Tekla g. <http://www.tekla.com/FI/PRODUCTS/TEKLA-STRUCTURES/Pages/Default.aspx> (Luettu 30.1.2011)

Tekla h. <http://www.tekla.com/FI/PRODUCTS/TEKLA-STRUCTURES/Pages/Default.aspx> (Luettu 22.12.2010)

Tekla i. <http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/steel-fabricators-detailers/Pages/Default.aspx> (Luettu 29.1.2011)

Tekla j. <http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/structural-engineers/integration-with-A-D/Pages/Default.aspx> (Luettu 29.1.2011)



Tekla k. <http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/Pages/basic-concepts.aspx#tekla-open-api> (Luettu 10.1.2011)

Valjus J. Varis M. Penttilä H. & Nissinen S. 2007. Tuotemallintaminen rakennussuunnittelussa. Helsinki: Rakennustieto

<b>PILARIN JATKOSLIITOS</b>		<b>Työn nro.</b> 01	<b>Päiväys:</b> 16.2.2011
<b>Kohde:</b>  Opinnäytetyö	<b>Kuvaus:</b>  Liite 1		<b>Suunnittelija:</b>  Ville Leikas

## LÄHTÖTIEDOT

### KUORMAT (MRT) Y-Y SUUNTA

MOMENTTIVOIMA	$M_{Ed,y} = 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$
LEIKKAUSVOIMA	$V_{Ed,y} = 10 \text{ kN}$
NORMAALIVOIMA	$N_{Ed} = 350 \text{ kN}$

### KUORMAT (MRT) Z-Z SUUNTA

MOMENTTIVOIMA	$M_{Ed,z} = 10 \text{ kN} \cdot \text{m}$
LEIKKAUSVOIMA	$V_{Ed,z} = 40 \text{ kN}$

### PROFIILIN POIKKILEIKKAUSSUUREET

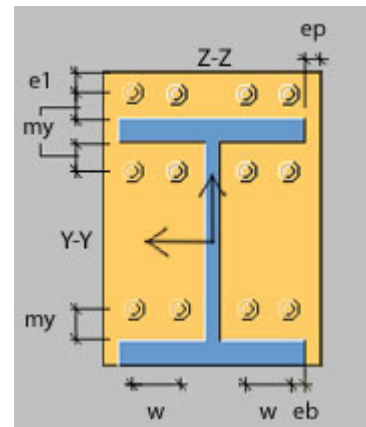
profiili	profiilivalinta = "HEA400"
profiilin lujuus	$f_{y,p} = 235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
korkeus	$h_c = 390 \cdot \text{mm}$
leveys	$b_c = 300 \cdot \text{mm}$
uuman paksuus	$t_w = 11 \cdot \text{mm}$
laipan paksuus	$t_f = 19 \cdot \text{mm}$
jäyhyysmom. y	$I_y = 4.5 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$
jäyhyysmom. z	$I_z = 8.6 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$
pinta-ala	$A_p = 1.6 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$

### PULTIN POIKKILEIKKAUSSUUREET

pulttien lukumäärä	$n_B = 6$
pultti	pultti = "M8.8"
halkaisija	$d = 20 \cdot \text{mm}$
pultin lujuus	$f_u = 800 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
efektiivinen pinta-ala	$A_s = 245 \cdot \text{mm}^2$
Jännityskapasiteetti	$F_{t,Rd} = 141.1 \cdot \text{kN}$
Leikkausjännityskapasiteetti	$F_{v,Rd} = 94.1 \cdot \text{kN}$

## PÄÄTYLEVYN POIKKILEIKKAUSSUUREET

päätylevyn lujuus	$f_{y,pl} = 355 \cdot \frac{N}{mm^2}$
korkeus	$h = 480 \cdot mm$
leveys	$b = 300 \cdot mm$
paksuus	$t = 20 \cdot mm$
pultti/laippa välimatka	$m_y = 50 \cdot mm$
pulttireunan välimatka	$e_b = 40 \cdot mm$
pulttivälimatka	$w = 0 \cdot mm$
e1 välimatka	$e_1 = 40 \cdot mm$
päätylevyn ja laipan reunan välimatka	$e_p = 0 \cdot mm$



## HITSIT

laipan hitsi (a-mitta)	$a_f = 5 \cdot mm$
uuman hitsi (a-mitta)	$a_w = 5 \cdot mm$

## PULTTIRYHMÄN POLAARINEN MOMENTTI

### Z<sub>y</sub> (mm)

$$Z_{y1} := \frac{n_B}{3} \cdot \frac{\left[ \left( m_y + \frac{t_f}{2} \right)^2 + \left( h_c - t_f - \frac{t_f}{2} - m_y \right)^2 \right]}{\left( h_c - t_f - \frac{t_f}{2} - m_y \right)} = 645.7 \cdot mm$$

$$Z_{y2} := \frac{n_B}{3} \cdot \frac{\left[ \left( m_y + \frac{t_f}{2} \right)^2 + \left( h_c - t_f - \frac{t_f}{2} - m_y \right)^2 + \left( h_c + m_y - \frac{t_f}{2} \right)^2 \right]}{\left( h_c + m_y - \frac{t_f}{2} \right)} = 1.3 \times 10^3 \cdot mm$$

### Z<sub>z</sub> (mm)

$$Z_{z1} := 3 \cdot \frac{(b_c - 2 \cdot e_b)^2}{(b_c - 2 \cdot e_b)} = 660 \cdot mm$$

$$Z_{z2} := 3 \cdot \frac{\left[ (b_c - 2 \cdot e_b)^2 + (b_c - 2 \cdot e_b - w)^2 + (w)^2 \right]}{(b_c - 2 \cdot e_b)} = 1.3 \times 10^3 \cdot mm$$

$$Z_z := \begin{cases} Z_{z1} & \text{if } n_B = 6 \\ Z_{z2} & \text{if } n_B = 12 \end{cases} \quad \boxed{Z_z = 660 \cdot mm}$$

$$Z_y := \begin{cases} Z_{y1} & \text{if } M_{Ed,y} > 0 \\ Z_{y2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \boxed{Z_y = 645.7 \cdot mm}$$

# PULTTIEN MITOITUS

## LEIKKAUSVOIMA

VOIMA

$$F_{v.Ed} := \frac{\sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,z}^2}}{n_B}$$

$$F_{v.Ed} = 6.9 \cdot \text{kN}$$

KAPASITEETTI

$$F_{v.Rd} = 94.1 \cdot \text{kN}$$

KÄYTTÖASTE

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 7.3 \cdot \%$$

LEIKKAUS = "PASS"

## VETOVOIMA

VOIMA

$$F_{t.Ed} := \frac{-N_{Ed}}{n_B} + \frac{|M_{Ed,y}|}{Z_y} + \frac{|M_{Ed,z}|}{Z_z}$$

$$F_{t.Ed} = 80.7 \cdot \text{kN}$$

KAPASITEETTI

$$F_{t.Rd} = 141.1 \cdot \text{kN}$$

KÄYTTÖASTE

$$\frac{F_{t.Ed}}{F_{t.Rd}} = 57.2 \cdot \%$$

VETO = "PASS"

## YHDISTELMÄ VETO- JA LEIKKAUSVOIMA

VOIMA

$$F_{yhd.} := \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.Ed}}{1.4F_{t.Rd}}$$

$$F_{yhd.} = 0.5$$

KAPASITEETTI

$$F_{yhd.Max} := 1$$

KÄYTTÖASTE

$$\frac{F_{yhd.}}{F_{yhd.Max}} = 48.2 \cdot \%$$

YHDISTELMÄ = "PASS"

### REUNAPURISTUSKESTÄVYYS

VOIMA

$$F_{v.Ed} = 6,9 \cdot \text{kN}$$

KAPASITEETTI

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u.pl} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b.Rd} = 247,3 \cdot \text{kN}$$

KÄYTTÖASTE

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 2,8 \cdot \%$$

REUNAPURISTUSKESTÄVYYS = "PASS"

### PULTIN JA MUTTERIN LÄVISTYMSKESTÄVYYS

VOIMA

$$F_{t.Ed.} = 80,7 \cdot \text{kN}$$

KAPASITEETTI

$$B_{p.Rd} := \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_{u.pl}}{\gamma_{M2}}$$

$$B_{p.Rd} = 461,4 \cdot \text{kN}$$

KÄYTTÖASTE

$$\frac{F_{t.Ed.}}{B_{p.Rd}} = 17,5 \cdot \%$$

LÄVISTYMSKESTÄVYYS = "PASS"

# HITSIEN MITOITUS

## LAIPAN HITSIN MITOITUS

### JÄNNITYS LAIPAN KESKILINJALLA

$$\sigma_x := \left( \frac{|M_{Ed,y}|}{I_y} \cdot \frac{h_c - t_f}{2} \right) + \left( \frac{|M_{Ed,z}|}{I_z} \cdot \frac{b_c}{2} \right) + \left( \frac{N_{Ed}}{A_p} \right) \quad \sigma_x = 72.5 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

### HITSIN a-MITTA (LAIPPA)

$$a_f = 5 \cdot mm \quad \gamma_{Mw} := 1.25$$

$$\sigma_T := \frac{\sigma_x}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_f} \cdot t_f \quad \sigma_T = 97.3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{II} := \frac{V_{Ed,z}}{2 \cdot a_f \cdot (b_c)} \quad \tau_{II} = 13.3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

### JÄNNITYSVERTAILU

$$\text{jännitysvertailu} \quad \sqrt{\sigma_T^2 + 3 \cdot (\sigma_T^2 + \tau_{II}^2)} = 196.1 \cdot \frac{N}{mm^2} < \quad \frac{f_{u,p}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = 360 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{jännitysvertailu 2} \quad \sigma_T = 97.3 \cdot \frac{N}{mm^2} < \quad 0.9 \cdot \frac{f_{u,p}}{\gamma_{Mw}} = 259.2 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

### KÄYTTÖASTE

$$\frac{\sqrt{\sigma_T^2 + 3 \cdot (\sigma_T^2 + \tau_{II}^2)}}{\frac{f_{u,p}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}} = 54.5 \cdot \%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>laippa</sub> = "PASS"

$$\frac{\sigma_T}{0.9 \cdot \frac{f_{u,p}}{\gamma_{Mw}}} = 37.6 \cdot \%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>2laippa</sub> = "PASS"

## UUMAN HITSIN MITOITUS

### JÄNNITYS UUMAN PÄÄSSÄ

$$\sigma_{x,yht} := \frac{|M_{Ed,y}|}{I_y} \left( \frac{h_c}{2} - t_f \right) + \frac{N_{Ed}}{A_p}$$

$$\sigma_{x,yht} = 53.3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

### HITSIN a-MITTA YHTYMÄKOHDASSA:

$$a_w = 5 \cdot mm$$

$$\sigma_{T,uuma} := \frac{\sigma_{x,yht}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_w} \cdot t_w$$

$$\sigma_{T,uuma} = 41.4 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{II,uuma} := \frac{V_{Ed,y}}{2 \cdot a_w \cdot (h_c - 2 \cdot t_f)}$$

$$\tau_{II,uuma} = 2.8 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

### JÄNNITYSVERTAILU:

$$\sqrt{\sigma_{T,uuma}^2 + 3 \cdot (\sigma_{T,uuma}^2 + \tau_{II,uuma}^2)} = 83 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{f_{u,p}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = 360 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

### KÄYTTÖASTE:

$$\frac{\sqrt{\sigma_{T,uuma}^2 + 3 \cdot (\sigma_{T,uuma}^2 + \tau_{II,uuma}^2)}}{\frac{f_{u,p}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}} = 23.1 \cdot \%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>uuma</sub> = "PASS"

$$\frac{\sigma_{T,uuma}}{0.9 \cdot \frac{f_{u,p}}{\gamma_{Mw}}} = 16 \cdot \%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>2uuma</sub> = "PASS"

JOS RAKENNE ON ST. MÄÄRÄÄMÄTÖN HITSIN KOKO MÄÄRÄYTYY  
MUODONMUUTOSKYVYN PERUSTEELLA

**LAIPAN HITSI ST. MÄÄR.**

$$a_{f,2} := \frac{0.7 \cdot \beta_w}{\sqrt{2}} \cdot t_f$$

$$a_{f,2} = 7.5 \cdot \text{mm}$$

**UUMAN HITSI ST. MÄÄR.**

$$a_{w,2} := \frac{0.7 \cdot \beta_w}{\sqrt{2}} \cdot t_w$$

$$a_{w,2} = 4.4 \cdot \text{mm}$$



# PÄÄTYLEVYN KIMMOINEN MITOITUS

## PULTTIRYHMÄN EFEKTIIVINEN LEVEYS

$$b_{\text{eff}} := 2 \cdot m_y \cdot \sqrt{3} + w \quad b_{\text{eff},1} := \begin{cases} b_{\text{eff}} & \text{if } b_{\text{eff}} \leq \frac{b_c}{2} - \frac{t_w}{2} \\ \frac{b_c}{2} - \frac{t_w}{2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad b_{\text{eff},1} = 144.5 \cdot \text{mm}$$

## PÄÄTYLEVYN KAPASITEETTI

$$M_{\text{el,Rd}} := \frac{b_{\text{eff},1} \cdot t^2 \cdot f_{y,\text{pl}}}{6 \gamma_{M0}} \quad M_{\text{el,Rd}} = 3.1 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{\text{el,Rd1}} := \frac{M_{\text{el,Rd}}}{m_y} \quad F_{\text{el,Rd2}} := \frac{M_{\text{el,Rd}} \cdot 8}{2m_y + t_f}$$

$$F_{\text{elRd}} := \begin{cases} F_{\text{el,Rd1}} & \text{if } M_{\text{Ed},y} > 0 \\ F_{\text{el,Rd2}} & \text{if } M_{\text{Ed},y} \leq 0 \end{cases} \quad F_{\text{elRd}} = 62.2 \cdot \text{kN}$$

## PÄÄTYLEVYN VETORASITUS

$$N_{\text{Ed,pl}} := \frac{\frac{|M_{\text{Ed},z}|}{l_z}}{2} + \frac{\frac{|M_{\text{Ed},y}|}{l_y}}{2} + \frac{-N_{\text{Ed}}}{4} \quad N_{\text{Ed,pl}} = 56.3 \cdot \text{kN}$$

## KÄYTTÖASTE

$$\frac{N_{\text{Ed,pl}}}{F_{\text{elRd}}} = 90.6 \cdot \%$$

PÄÄTYLEVY = "PASS"

## PÄÄTYLEVYN PURISTUSKESTÄVYYS

$$\sigma_{\text{Rd}} := \left( \frac{|M_{\text{Ed},y}|}{I_y} \cdot \frac{h_c - t_f}{2} \right) + \left( \frac{|M_{\text{Ed},z}|}{I_z} \cdot \frac{b_c}{2} \right) + \left( \frac{N_{\text{Ed}}}{A_p} \right) \quad \sigma_{\text{Rd}} = 72.5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$
$$\sigma_{\text{Ed}} := \frac{f_{y,p}}{\gamma_{M0}} \quad \sigma_{\text{Ed}} = 213.6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## KÄYTTÖASTE

$$\frac{\sigma_{\text{Rd}}}{\sigma_{\text{Ed}}} = 33.9 \cdot \%$$

PÄÄTYLEVYN\_PURISTUS = "PASS"

# LOPPUTULOS

## PULTTIEN MITOITUS

### LEIKKAUSVOIMA

$$\text{KÄYTTÖASTE} \quad \frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 7.3\%$$

LEIKKAUS = "PASS"

### VETOVOIMA

$$\text{KÄYTTÖASTE} \quad \frac{F_{t.Ed.}}{F_{t.Rd}} = 57.2\%$$

VETO = "PASS"

### YHDISTELMÄ VETO- JA LEIKKAUSVOIMA

$$\text{KÄYTTÖASTE} \quad \frac{F_{yhd.}}{F_{yhd.Max}} = 48.2\%$$

YHDISTELMÄ = "PASS"

### REUNAPURISTUSKESTÄVYYS

$$\text{KÄYTTÖASTE} \quad \frac{F_{v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 2.8\%$$

REUNAPURISTUSKESTÄVYYS = "PASS"

### PULTIN JA MUTTERIN LÄVISTYMIKKESTÄVYYS

$$\text{KÄYTTÖASTE} \quad \frac{F_{t.Ed.}}{B_{p.Rd}} = 17.5\%$$

LÄVISTYMIKKESTÄVYYS = "PASS"

## HITSIEN MITOITUS

### LAIPAN HITSIN MITOITUS

#### KÄYTTÖASTE

$$\frac{\sqrt{\sigma_T^2 + 3 \cdot (\sigma_T^2 + \tau_{II}^2)}}{\frac{f_{u,p}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}} = 54.5\%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>laippa</sub> = "PASS"

$$\frac{\sigma_T}{0.9 \cdot \frac{f_{u,p}}{\gamma_{Mw}}} = 37.6\%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>2laippa</sub> = "PASS"

### UUMAN HITSIN MITOITUS

#### KÄYTTÖASTE

$$\frac{\sqrt{\sigma_{T,uuma}^2 + 3 \cdot (\sigma_{T,uuma}^2 + \tau_{II,uuma}^2)}}{\frac{f_{u,p}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}} = 23.1\%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>uuma</sub> = "PASS"

$$\frac{\sigma_{T,uuma}}{0.9 \cdot \frac{f_{u,p}}{\gamma_{Mw}}} = 16\%$$

JÄNNITYSVERTAILU<sub>2uuma</sub> = "PASS"

JOS RAKENNE ON ST. MÄÄRÄÄMÄTÖN HITSIN KOKO MÄÄRÄYTYY  
MUODONMUUTOSKYVYN PERUSTEELLA

LAIPAN HITSI ST.MÄÄR.

$$a_{f,2} = 7.5 \cdot \text{mm}$$

UUMAN HITSI ST. MÄÄR.

$$a_{w,2} = 4.4 \cdot \text{mm}$$

## PÄÄTYLEVYN KIMMOINEN MITOITUS

### VETOKAPASITEETTI JA PURISTUSKESTÄVYYS

#### KÄYTTÖASTE

$$\frac{N_{Ed,pl.}}{F_{eIRd}} = 90.6\%$$

PÄÄTYLEVY = "PASS"

$$\frac{\sigma_{Rd}}{\sigma_{Ed}} = 33.9\%$$

PÄÄTYLEVYN\_PURISTUS = "PASS"