

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Talonrakennustekniikka

Santeri Laasanen

Teräsrakenneliitokset, mallintaminen ja FEM-analysointi

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Santeri Laasanen

Teräsrakenneliitokset, mallintaminen ja FEM-analysointi, 77 sivua, 8 liitettä

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: Lehtori Petri Himmi, LAB-ammattikorkeakoulu, Erkki Hyhkö, Sitowise Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Tekla Structures -ohjelmaan teräsrakenteiden liitosmitoitusta varten liitoskirjasto, jonka avulla saataisiin teräsrakenteiden suunnittelusta ja mallintamisesta suunnittelijan kannalta helpompaa ja nopeampaa. Liitoskirjastoon sisällytettiin aluksi kolme teräsrakenteiden perusliitosta, mutta tulevaisuudessa komponenttia voidaan kehittää ja laajentaa useammille liitosvaihtoehdoille. Työn tilaajana on Sitowise Oy.

Liitokset laskettiin ensin käsin, jotta saatiin kattava ja selkeä ymmärrys liitoksen komponenteista ja niiden käyttäytymisestä. Liitoskirjaston tueksi SKOL-laskentapohjia apuna käyttäen tehtiin jokaisesta liitoksesta Excel-taulukointi, josta nähdään kaikkien liitoksien mitoittavat kapasiteetit, ruuvien koot ja määrät sekä hitsin koko.

Lopuksi yksi liitoksista mallinnettiin vielä IDEA StatiCa -ohjelmaan, jossa pystyttiin syventämään liitoksen tutkimista ja vertailemaa ohjelman mahdollisia eroja laskentatuloksissa sekä rakenteiden käyttäytymisessä.

Asiasanat: Tekla Structures, teräsrakenteet, teräслиitos, mallinnus, FEM, Idea statica, CBFEM

Abstract

Santeri Laasanen

Steelstructure joints, modeling and FEM-analysis, 78 pages, 8 Appendices

LAB University of Applied Sciences

Construction and civil engineering, Lappeenranta

Construction technology

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Lecturer Petri Himmi, LAB- University of Applied Sciences, Erkki

Hyhkö, Sitowise Oy

The purpose of the thesis was to make a jointlibrary to Tekla Structures for the joint dimensioning of steel structures, which would make the design and modeling of steel structures easier and faster for the designer. Initially, three basic joints for steel structures were included in the jointlibrary, but in the future the component can be developed and expanded for more joint options. The client of the work is Sitowise Oy.

Joints were first calculated by hand to provide a comprehensive and clear understanding of the joint components and their behavior. To support the jointlibrary, an excel spreadsheet was made for each joint using SKOL calculation template, showing the dimensioning capacities, bolt sizes and quantities, and the size of the weld for all joints.

Finally, one of the joints was modeled into the IDEA Statica program, where we were able to deepen the study of the joint and compare the possible differences in the calculation results and the behavior of the structures.

Keywords: Tekla Structures, steel structures, steeljoint, modeling, FEM, Idea statica, CBFEM

Sisällys

Symboliluettelo	5
1 Johdanto.....	7
2 Tietomalli ja mallintaminen.....	8
2.1 Teräsrakenteet	10
2.2 Mallintamisen edellytykset ja kehityskohdat	12
3 Tutkittavat liitokset	13
4 Mitoitus	14
4.1 Ripalevyliitos.....	15
4.1.1 Palkin uuman leikkauskapasiteetti.....	17
4.1.2 Leikkauskapasiteetti reikien kohdalla	18
4.1.3 Palkin pään palamurtumiskestävyys.....	18
4.1.4 Palkin uuman reunapuristuskestävyys.....	20
4.1.5 Levyn leikkauskestävyys reikien kohdalla.....	22
4.1.6 Levyn palamurtumiskestävyys.....	24
4.1.7 Levyn reunapuristuskestävyys	25
4.1.8 Hitsin kestävyyskapasiteetti.....	27
4.1.9 Ruuvien leikkauskapasiteetti resultanttivoimalle	29
4.1.10 Lopputulos	30
4.2 Sideliitos, upotettu liitoslevy	31
4.2.1 Ruuvien leikkauskestävyys.....	32
4.2.2 Reunapuristuskestävyys.....	33
4.2.3 Palamurtuminen	35
4.2.4 Ruuvi kiinnitysluokkien mukaiset ehdot	38
4.2.5 Ripalevyn kestävyys.....	39
4.2.6 Hitsit	39
4.2.7 Putken hitsialueen leikkauskestävyys.....	40
4.2.8 Nurjahdus.....	41
4.2.9 Lopputulos	43
4.3 Sideliitos, päätylevy	43
4.3.1 Leikkauskestävyys	45
4.3.2 Leikkausvoiman mitoitusarvo yhtä ruuvia kohden.....	46
4.3.3 Reunapuristuskestävyys.....	46
4.3.4 Palamurtuminen	47
4.3.5 Ruuvien kiinnitysluokkien mukaiset ehdot	51
4.3.6 Ripalevyn kestävyys.....	51
4.3.7 Hitsi A.....	52
4.3.8 Hitsi B.....	57
4.3.9 Nurjahdus.....	59
4.3.10 Lopputulos	60
5 Tekla Structures ja liitoskirjasto	60
6 IDEA StatiCa	67
7 Yhteenveto	75
8 Pohdinta	76
Lähteet	78

Symboliluettelo

A	poikkileikkauksen pinta-ala
b	poikkileikkauksen leveys
h	poikkileikkauksen korkeus
h_w	laippojen välinen etäisyys
b_w	uuman korkeus
t_w	uuman paksuus
t_f	laippojen paksuus
r	pyörityksen säde
$V_{pl,Rd}$	plastisuusteorian mukainen leikkauskestävyys
γ_M	osavarmuusluku
A_v	leikkauspinta-ala
f_y	myötöraja
F_u	vetomurtolujuus
A_{nt}	vedon rasittama nettopinta-ala
A_{nv}	leikkauksen rasittama nettopinta-ala
e_1, e_2, e_3	reunaetäisyydet
p_1, p_2	reikien keskiöetäisyydet
n	reikien lukumäärä
$f_{b,sd}$	leikkausvoimaresultantti reunimmaisen reiän kohdalla
e_k	epäkeskisyys
x_n	vaakasuuntaisen ruuvien etäisyys kiertoakeskiöstä
z_n	pystysuuntaisen ruuvien etäisyys kiertoakeskiöstä
I_p	polaarinen neliömomentti
M_{sd}	epäkeskisyystä aiheutuva taivutusmomentti
$F_{wb,Rd}$	palkin uuman reunapuristuskestävyys
e	reunaetäisyys
f_{ub}	ruuvien vetomurtolujuus
d	ruuvien nimellishalkaisija
d_0	reiän halkaisija
l	levyn korkeus
t_1	levyn paksuus
σ_{vert}	hitsin jännitys
σ_{\perp}	hitsin jännitys
N_M	taivutusmomentin voimapari
$V_{w,Rd}$	hitsin kestävyyskapasiteetti
$F_{v,Rd}$	ruuvien leikkauskapasiteetti
α_v	ruuvityypistä riippuva kerroin
τ_{II}	jännitys leikkausvoimasta
Z_{ed}	Z-vaatimuksen mitoitusarvo, joka riippuu hitsauksen aikaisesta metallin estetystä kutistumisesta johtuvien venymien suuruudesta
Z_{rd}	on standardin EN 10164 mukaan materiaalille käytettävissä oleva Z-arvon mitoitusarvo, ts. Z15, Z25 tai Z35
l_{hitsi}	hitsin tehollinen pituus
$F_{v,Ed}$	leikkausvoiman mitoitusarvo

$F_{b,Rd}$	reunapuristuskestävyys
$V_{eff,Rd}$	palamurtokestävyys
b_{eff}	tehollinen leveys
A_{eff}	tehollinen pinta-ala
L_{eff}	hitsin tehollinen pituus
β_w	korrelaatiokerroin
L_{0y}	nurjahduspituus
X	pienennystekijä
α	epätarkkuustekijä
λ	muunnettu hoikkuus

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tehdään Tekla Structures -mallinnusohjelmaan liitoskirjasto teräsrakenteiden liitosmitoitusta varten. Liitoskirjastoon tehdään aluksi kolmesta teräsrakenteiden perusliitoksesta (ripalevyliitoksesta ja kahdesta sideliitoksesta) taulukointi, joista pystytään alasvetovalikoiden avulla määrittämään liitoksen haluttu koko. Laskennan tukena käytetään myös valmiita teräsrakenteiden liitosten SKOL-laskentapohjia. Työn tarkoituksena on saada mahdollisimman selkeä, suunnittelijan kannalta helppokäyttöinen ja suunnittelu/mitoitustyötä nopeuttava suunnittelupohja.

Opinnäytetyössä tehdään myös käsinlaskentana valitut liitokset Excel -pohjien ja Teklan mitoituskomponenttien tueksi, jotta saadaan vertailulaskelma ja varmistus tuloksien suuruusluokkien ja käyttöasteiden oikeellisuudesta. Käsinlaskennat ja Excel -laskentapohjat mitoitetaan eurokoodien ohjeiden mukaisesti. Jotta laskennat voidaan todeta oikeiksi, tulee molemmista laskentatavoista saada samat lopputulokset. Molemmissa laskentatavoissa käydään yksityiskohtaisesti läpi kaikki liitokseen vaikuttavat ilmiöt ja komponentit.

Ohjelmaksi, johon liitoskirjasto tehdään, valittiin Tekla Structures, sillä tällä hetkellä suurin osa suunnittelutyötä varsinkin mallintamisen osalta tehdään Sitowisellä kyseisellä ohjelmalla.

Lisäksi yksi liitoksista mallinnetaan myös IDEA StatiCa -ohjelmalla, jonka tarkoituksena on syventää liitoslaskentaa ja selvittää tietomallipohjaisen ohjelman laskennassa ilmeneviä mahdollisia eroavaisuuksia ja niiden syitä.

Opinnäytetyön kannalta oleelliset vaiheet ja haasteet ovat aluksi valittuihin liitoksiin tutustuminen ja kaikkien ilmiöiden ja komponenttien tunnistaminen, laskennan oikeellisuuden toteaminen, liitoskirjaston luominen Teklaan ja IDEA StatiCa -ohjelman opetteleminen sekä ohjelmaan halutun liitoksen mallintaminen ja tulosten vertailu.

2 Tietomalli ja mallintaminen

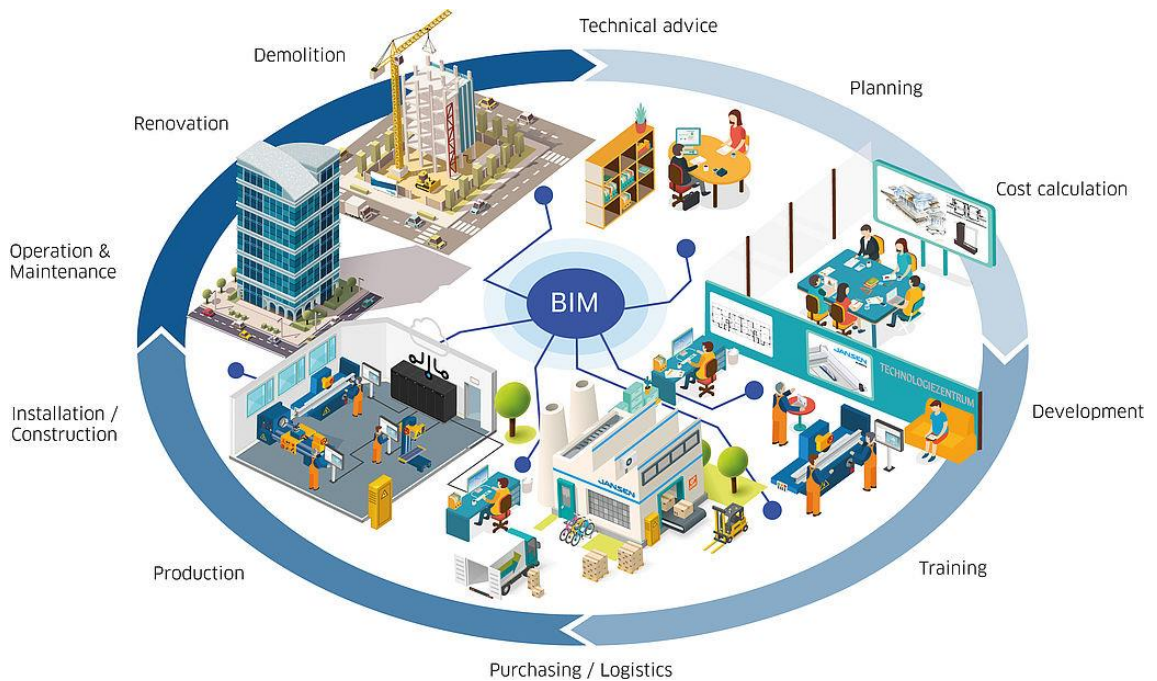
3D-mallintaminen tarkoittaa pohjimmiltaan kolmiulotteisen mallin luomista, joista monet ovat kehittyneet ennen 2000-lukua olleista CAD-pohjaisista ohjelmistoista. 2000-luvun alussa lähes kaikki suunnittelu oli pääosin digitalisoitua 2D -mallinnusta, jonka rinnalle alkoi 2000-luvun edetessä tulemaan myös 3D-mallinnusta. 2D-mallinnus eroaa 3D-mallinnuksesta käytännössä siten, että 2D-mallinnuksessa mallinnetaan x- ja y-koordinaatiston mukaan, ja 3D-mallinnuksessa koordinaatistona on x, y ja z. Kun vähitellen on siirrytty 2D-mallintamisesta 3D-mallintamiseen, suunnittelun tarkkuus ja havainnollistaminen on parantunut huomasti. 3D-mallissa pystytään jo suunnitteluvaiheessa huomiomaan paremmin ja laajemmin monet ongelmakohdat ja ristiriidat. Kolmiulotteinen malli toi tullessaan monia hyötypuolia verrattuna aikaisempaan 2D-mallinnukseen, joista suurimpina hyötyjä ovat yhdistelmämallin luominen, törmäystarkastelut ja kokonaisuuksien helppo havainnollistaminen. Kolmiulotteisessa mallissa havaittujen ongelmien korjaaminen suunnitteluvaiheessa on myös huomattavasti halvempaa ja tehokkaampaa kuin 2D-mallin pohjalta tehdyn valmiin tuotoksen korjaaminen esimerkiksi työmaalla, mitä ei mallinnusvaiheessa pystytty huomaamaan. (Murphy, McGovern & Pavia, 2011.)

3D-mallinnukseen tarkoitettujen ohjelmistojen käyttö voi vaatia hieman enemmän opettelua ja osaamista kuin 2D-mallinnukseen tarkoitettujen ohjelmistojen, mutta kun kolmiulotteiseen mallinnukseen tarkoitettu ohjelma on sisäistetty, se pystyy tarjoamaan paljon monipuolisemman ja kattavamman suunnittelupohjan suunnittelijalle. 3D-mallista pystytään mallinnuksen jälkeen myös tulostamaan kaikki tarvittavat piirustukset ja kuvat valmistusta sekä työmaata varten. 2D-mallinnusta ei kuitenkaan ole kokonaan unohdettu, vaan sitä käytetään päivittäin 3D-mallintamisen tukena ja lähtötietojen hankinnassa mallinnusta varten.

Tietomalli eli BIM (building information model), kokoaa nimensä mukaan kaiken mahdollisen tiedon rakennuksen tai muun hankkeen koko elinkaaren ajalta, jotta saadaan mahdollisimman helppokäyttöinen ja kattava kokonaisuus. Tulee kuitenkin muistaa, että tietomalli ei ole vain 3D-malli, vaan tietomalli on 3D-malleista koostuva kokonaisuus, joka sisältää pelkkään 3D-malliin verrattuna huomattavasti enemmän informaatiota. Hyvänä esimerkkinä voidaan ottaa esimerkiksi 3D-

malli talosta ilman mitään tietosisältöä, jossa tilaaja näkee vain rakennuksen visuaaliset muodot. Kun taas tietosisältöä sisältävä 3D -malli, josta suunnittelija näkee rakennuksen kaikki rakennekerrokset ja materiaalit.

Tietomalli ei ole vain rakennuksen suunnitteluvaihetta varten vaan siihen voidaan myös upottaa rakennuksen huoltoon ja ylläpitoon liittyvää informaatiota.



Kuva 1. Tietomalli kokonaisuudessaan (SBR digitalization LLC)

Tietomallin sisältämän tietomäärän ansiosta pystytään minimoimaan riskejä sekä parantamaan rakentamisen laatua ja tarkkuutta. Asiakkaan kannalta pystytään tarjoamaan kattavampi tietopaketti kohteesta ja mallin avulla pystytään myös ottamaan paremmin huomioon hankkeen elinkaarikustannukset sekä ympäristöolosuhteet.

Nykyisillä menetelmillä pystytään yhteen tietomalliin ottamaan mukaan monia eri osapuolia, jotka suunnittelevat omia osa-alueitaan yhteiseen jatkuvasti päivittyvään yhdistelmämalliin. Tämä mahdollistaa suunnitelmien yhteensopivuuden tarkastamisen ja ennaltaehkäisee rakennusaikaisia ristiriitoja sekä säästää kustannuksia ja aikaa. Jotta tietomalli toimisi kaikkien osapuolten kannalta halutulla tavalla, tulee kaikilla osapuolilla olla yhteiset säännöt ja tiedot siitä, miten tietomalli

tehdään. Jokaisella osapuolella tulee olla selkeät tehtävät, tieto mitä tietoja malliin halutaan sisällyttää ja millaiseen tarkoitukseen koko mallia on tarkoitus käyttää. Tärkeimpänä asiana mallinnuksen onnistumiselle on kuitenkin mallin pitäminen tarpeeksi yksinkertaisena ja selkeänä, helposti analysoitavana ja rakenteita tulee pystyä tarkastelemaan yksityiskohtaisesti.



Kuva 2. Tekla Structures -ohjelmistolla mallinnettu rakennus, josta voidaan helposti havainnoida rakennuksen tilat ja eri mallien yhteensopivuudet (Tekla 2014)

Edellytyksenä toimivalle tietomallipohjaiselle suunnittelulle on, että kaikkien hankkeen osapuolien tulisi omaksua ja sisäistää tietomallipohjaisen suunnittelun edut ja mahdollisuudet. Kaikilla tulisi olla myös mahdollisuudet ja vaadittavat ohjelmat mallintavaan suunnitteluun ja suunnitelmien tarkasteluun. (Eastman, Teicholz, Sacks & Liston 2011.)

2.1 Teräsrakenteet

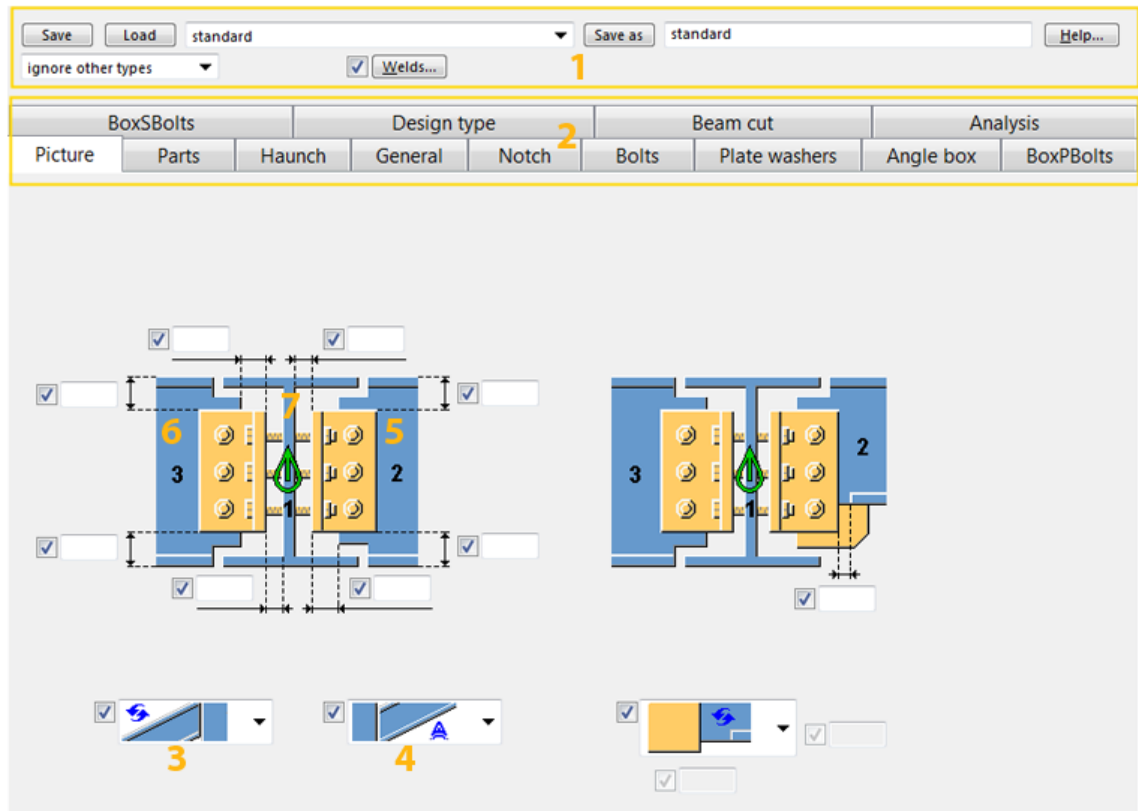
Teräsrakenteiden BIM-suunnittelu on muuhun mallintamiseen verrattuna huomattavasti muita edellä. Teräsrakenteiden 3D-mallintaminen aloitettiin jo 1990-luvulla, jolloin muu mallintaminen pyöri vielä pääosin 2D-mallintamisessa.

Teräsrakenteiden 3D-mallintamisen pitkän historian aikana on pystytty poistamaan suunnittelussa mahdollisesti tulevat mittavirheet (inhimilliset virheet pois

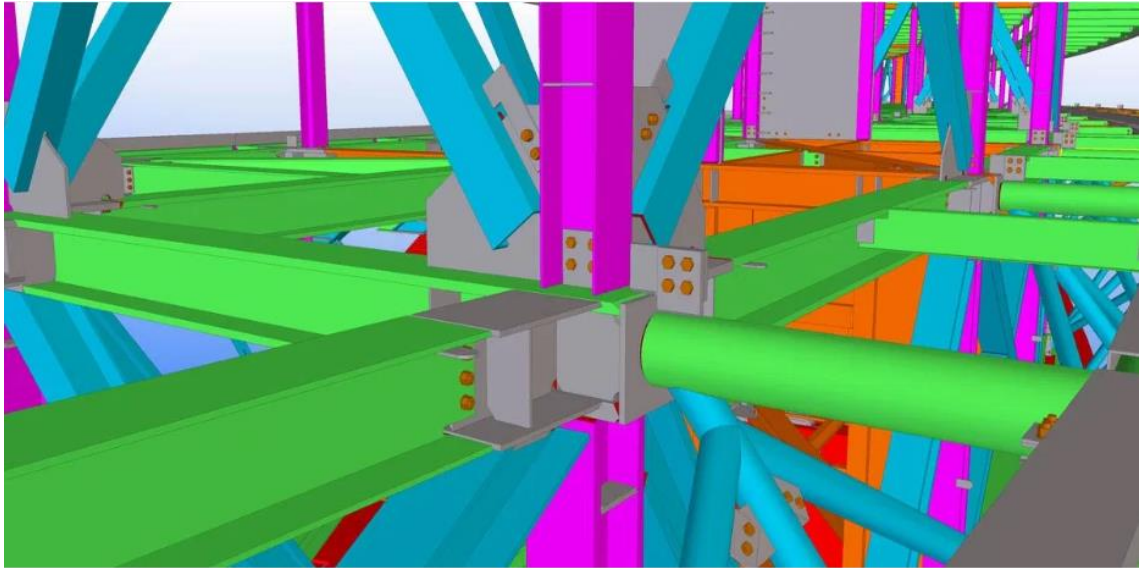
lukien), sillä tulostetut piirustukset vastaavat täysin 3D-mallia. Rakenteet mallinetaan vastaamaan todellista työmaalla tehtävää rakennetta, joten mallista pystytään hyvin yksityiskohtaisesti tarkastelemaan esimerkiksi teräsrakenneliitoksien toimivuutta ja toleransseja.

Teräsrakenteista ja varsinkin niiden liitoskohdista pyritään mallintamaan mahdollisimman selkeitä ja yksityiskohtaisia malleja, joissa määritellään tarkasti kaikki liitokseen kuuluvat komponentit. Monissa mallinnusohjelmistoissa on myös valmiina erilaisia liitosmalleja, joiden avulla pystytään malliin määrittämään valittu perusliitos, jonka komponentteja pystytään muokkaamaan halutun laiseksi. Valmiita komponentteja pyritään kuitenkin tulevaisuudessa vielä kehittämään ja lisäämään, jotta suunnittelusta saataisiin mahdollisimman tehokasta.

Mallintamisen lähtökohtana käytetään staattista laskentaa, jonka perusteella saadaan rakenteille ja liitoksille vaadittavat kapasiteetit, joiden pohjalta päätetään liitosmalli ja sen koko.



Kuva 3. Esimerkki Tekla Structures -ohjelmassa olevasta teräsrakenteiden liitoskomponentista (Tekla 2014)



Kuva 4. Esimerkki Tekla Structures -ohjelmistossa mallinnetusta teräsrakenteisesta liitoksesta (Stories about buildings 2014)

2.2 Mallintamisen edellytykset ja kehityskohdat

Mallintamiselta ja tietomalleilta halutaan jatkuvasti enemmän sisältöä ja informaatiota. Rakennuksen tietomalliin pyritään saamaan mahdollisimman kattavasti koottua kaikki hankkeeseen tarvittavat tiedot, jotta informaation haku olisi mahdollisimman helppoa ja selkeää.

Mallintaminen edellyttää, että firmojen on hankittava riittävät lisenssit ohjelmistoille ja riittävä koulutus suunnittelijoille ohjelman käytöstä ja mallintamisesta, jotta suunnittelutyöstä tulee tehokkuudeltaan riittävää. Riittävä osaamisen ja kokemuksen myötä tietomallipohjaisesta 3D-suunnittelusta saadaan kuitenkin huomattavan paljon hyötyä ja etuja.

Tämän saavuttamiseksi on kuitenkin ohjelmistojen hallinnan ja tiedon kulun oltava riittävällä tasolla, jotta mallin pohjalta saatava tieto on oikeaa. Kaikilla osapuolilla on ennen suunnittelutyön alkua oltava selkeä tieto hankkeen luonteesta ja lähtötiedoista, joiden pohjalta aletaan tietomallia kasaamaan. Mallista tiedon keruun yhteydessä voidaan huomata ongelmia, jolloin mallintajat ovat käyttäneet erilaisia menetelmiä mallintamiseen. Tämän seurauksena mallista haluttuihin tietoihin voi tulla ristiriitoja tai vääriä tuloksia. Kaikilla eri osapuolilla tulee olla siis

selkeä ymmärrys omasta osa-alueestaan ja käytetyistä menetelmistä. (Leikas, s. 15–16)

Mallintamisen kehittyessä jatkuvasti pystytään ohjelmistoihin luomaan eri materiaaleille ja käyttötarkoituksille valmiita komponentteja, joiden avulla saadaan mallinnustyöstä tehokkaampaa. Komponentit, niiden toimivuus ja määrä ei kuitenkaan ole vielä sillä tasolla, että niiden käyttö olisi niin tehokasta, kuin se voisi olla. Kuitenkin niiden kehityttyä ja lisääntyttyä myös mallintamisen tehokkuus parantuu.

Mallintamiseen ja suunnittelutyöhön liittyy olennaisena osana rakenteiden mitoitus ja staattinen laskeminen, jossa kuormien ollessa tiedossa lasketaan rakenteelle vaadittu kapasiteetti. Vaaditun kapasiteetin mukaan määritetään, minkälainen rakenne soveltuu kohteeseen. Teklan ja FEM (Fine Element Analysis) -ohjelman linkki löytyy Teklasta, jossa ohjelmaan pystytään syöttämään kuormia ja vapautuksia, jolloin ainoastaan FEM laskee.

Siirtyessään jatkuvasti enemmän siihen, että suurin osa suunnittelutyöstä tehdään samalla ohjelmalla, johon halutaan saada mahdollisimman laajasti kaikki mahdollinen rakennukseen liittyvä laskenta lisää myös suunnittelijan vastuuta suuresti. Tämän takia tulisi pystyä minimoimaan mahdolliset tiedonsiirrosta ja ohjelmien yhteistoiminnasta johtuvat riskit.

3 Tutkittavat liitokset

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan kolmea erilaista teräsrakenteiden perusliitosta ja niiden mitoitusta. Valittuja liitoksia ovat

- ripalevyliitos
- sideliitos, jossa liitoslevy on upotettu profiiliin
- päätylevyllinen sideliitos.

Kaikki liitokset mitoitetaan Eurokoodi 3 osien 1-8 ohjeiden mukaan, jotka käsittelevät teräsrakenteiden liitosmitoitusta. Teräsrakenteissa liitosmitoitus on hyvin tärkeässä roolissa ja niiden suunnittelu vaatii aikaa sekä tarkkaavaisuutta. Teräsrakenteissa liitosten mitoitus ja työ on myös kustannuksiltaan huomattavaa koko

rakenteeseen verrattuna. Liitosten mitoitus on monimutkainen ja monivaiheinen prosessi, jossa varsinkin käsinlaskiessa virheen mahdollisuus on suuri.

Oleellista teräsrakenteiden liitosten suunnittelussa mitoituksen lisäksi on myös tehdä liitoksesta mahdollisimman selkeä ja työmaan sekä valmistuksen kannalta mahdollisimman helppo.



Kuva 5. Pietarissa olevan Gazprom Arenan teräsrakenneliitos

Opinnäytetyössä laskenta tehdään ensin käsinlaskentana, jotta saadaan kattava kokonaiskuva liitoksen toiminnasta ja mitoituksesta. Käsinlaskennan tuloksien oikeellisuutta verrataan SKOL-laskentapohjien antamiin tuloksiin, joihin määritetään samat lähtöarvot kuin käsinlaskentaan.

4 Mitoitus

Liitoksen tyyppin valitsee aina suunnittelija ja erilaisia liitosvaihtoehtoja voi olla useita ennen lopullista päätöstä. Vaihtelemalla liitoksen parametrejä (esimerkiksi pultit tai levyn paksuus) saadaan liitokselle kapasiteetti. Liitokset mitoitetaan teoriassa aina nivelenä tai jäykkänä, mutta todellisuudessa yksikään liitos ei voi olla täysin nivel. Täysin jäykkä liitos on kuitenkin mahdollinen.

Jotta liitoksen toteutus on mahdollinen, ei tule liitoksen mitoituksessa käyttää tarkkoja mittoja, vaan mitoissa tulee käyttää toleransseja. Pultin rei'ille varataan noin 2-3 mm välystä sen mukaan mitä pulttia käytetään, ja rakenneosien väliin on hyvä jättää noin 5-10 mm asennustoleranssi rakenteesta riippuen.

Liitokset mitoitetaan useimmiten plastisuusteorian mukaan, jolloin tulee myös kiertymäkyky ottaa huomioon. Kiertymäkykyyn liittyen rajaehtona on kuitenkin vielä, että jos liitoksen kestävyys on vähintään 1,2 kertaa suurempi kuin siihen liittyvien muiden rakenteiden, niin kiertymäkykyä ei tarvitse ottaa huomioon.

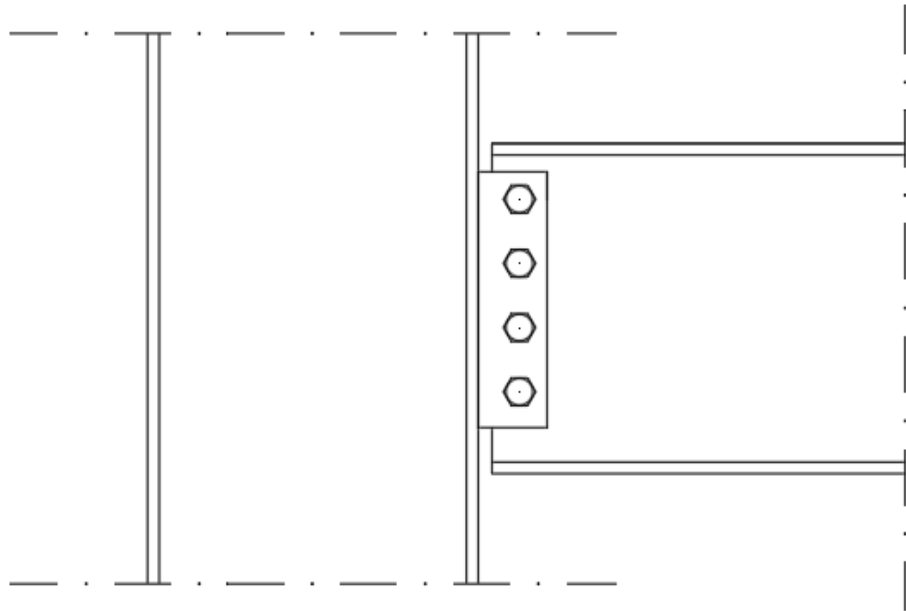
Yleisimmin käytetyt ruuvit, joita käytetään liitoksissa ovat M16 – M36, lujuusluokissa 4,6 – 10,9. Esijännitetyille ruuveille Suomen kansallisessa liitteessä suositellaan kuitenkin vain lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 ruuveja. Leikkausvoiman rasittavissa liitoksissa käytetään ruuvien kiinnitysluokkana useimmiten kiinnitysluokkaa A (reunapuristustyypinen kiinnitys, ei esijännitystä) ja vetovoiman rasittamissa liitoksissa kiinnitysluokkaa D (kiinnitykset, joissa käytetään esijännittämättömiä ruuveja). (SFS EN 1993–1–8.)

4.1 Ripalevyliitos

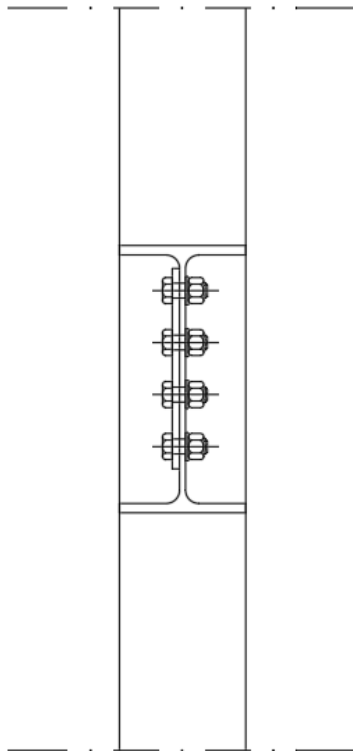
Ripalevyliitoksessa tarkastellaan yksileikkeistä pilarin ja palkin ripalevyliitosta. Pilari sekä palkki ovat molemmat avoprofiileja. Ripalevyliitoksen periaatteena on pilarin laippaan uuman kohdalle hitsattu liitoslevy, joka kiinnitetään pulttiliitoksena palkin uumaan. Liitos mitoitetaan nivelellisenä liitoksena. Ripalevyliitoksen mitoitus tehtiin käsinlaskentana, jonka jälkeen laskennassa saatujen tulosten oikeellisuus tarkastettiin valmiin SKOL-laskentapohjan avulla.

Lähtötiedot:

- Palkki IPE 360
- Pilari HEA 240
- 4kpl 8.8 M20 osakierteisiä ruuveja
- Liitoslevypaksuus 10 mm
- Pilarin ja palkin väliin 15 mm asennustoleranssi
- Levyn, pilarin ja palkin myötöraja 355 N/mm^2
- a-mitta 3 mm



Kuva 6. Ripalevyliitos sivulta



Kuva 7. Ripalevyliitos edestä

4.1.1 Palkin uuman leikkauskapasiteetti

Palkin leikkauspinta-ala lasketaan kaavasta:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Kaava 1. Uuman leikkauspinta-ala

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f _y [N/mm ²]	f _u [N/mm ²]	f _y [N/mm ²]	f _u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
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
EN 10025-4				
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
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Taulukko 1. Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan f_y ja vetomurtolujuuden f_u nimellisarvot (SFS EN 1993–1–1 s.26 taulukko 3.1)

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25.$$

Taulukko 2. Osavarmuusluvut

Uuman leikkauskapasiteetti lasketaan seuraavasti:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 2. Palkin uuman leikkauskapasiteetti

4.1.2 Leikkauskapasiteetti reikien kohdalla

$$A_{I,v,net} = A_v - t_w \cdot n \cdot d_0$$

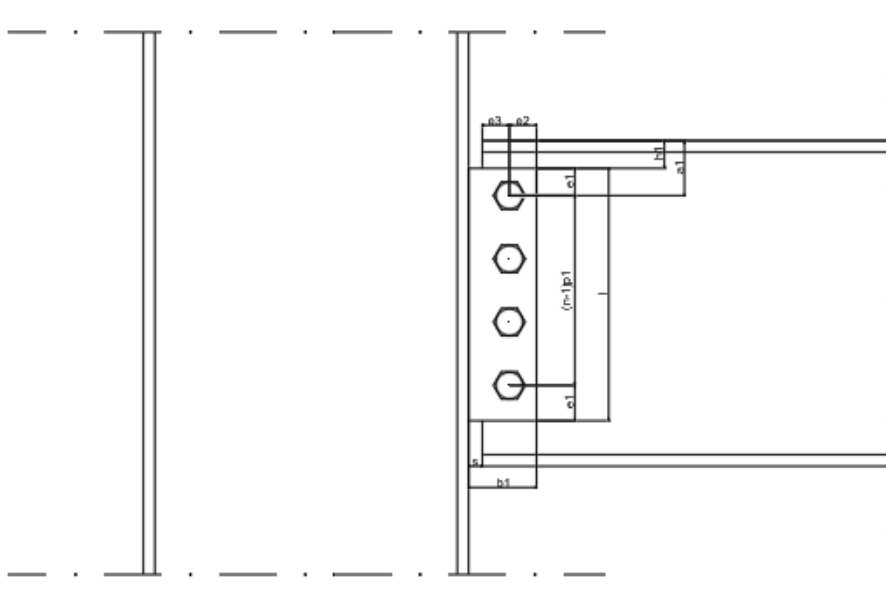
Kaava 3.

$$V_{I,net,pl,Rd} = A_{I,v,net} \cdot \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

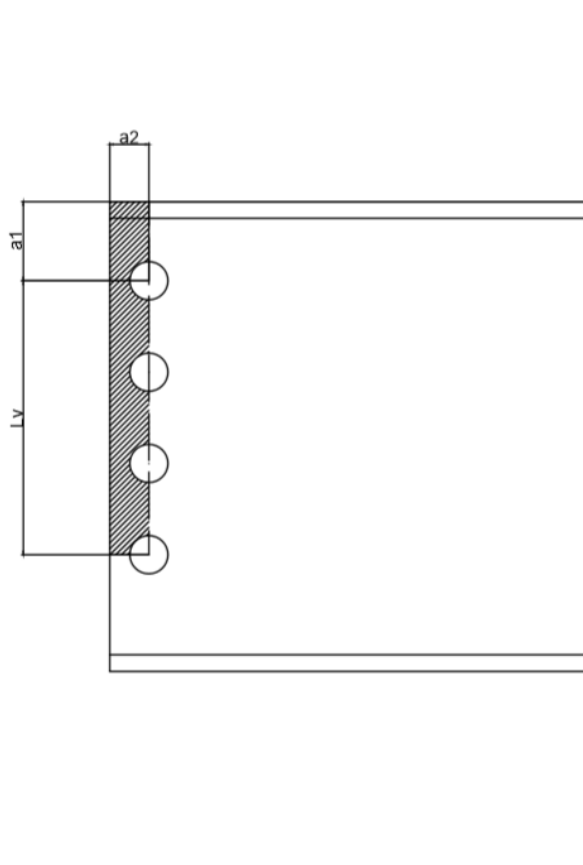
Kaava 4. Palkin leikkauskapasiteetti reikien kohdalla.

4.1.3 Palkin pään palamurtumiskestävyys

Lasketaan ensin pulttien reikien mini- ja maksimietäisyydet (e^1, e^2, p^1), jonka jälkeen voidaan laskemalla määrittää liitoslevyn koko. Tämän jälkeen määritetään vedon rasittama nettopinta-ala A_{nt} , sekä leikkauksen rasittama nettopinta-ala A_{nv} (EN 1993-1-8 Luku 3.10.2).



Kuva 8. Reuna -ja päätyetäisyydet



Kuva 9. Reuna -ja päätyetäisyydet

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo ^{1) 2) 3)}		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräksiset) 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 mm
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Suurempi arvoista $8t$ or 125 mm
Etäisyys e_3 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Etäisyys e_4 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Keskiöväli p_1	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm

Taulukko 2. Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli (SFS EN 1993–1–8 s. 24 taulukko 3.3)

Tehollinen palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo lasketaan kaavasta:

$$\left(V_{\text{eff,Rd}} = 0,5 \cdot f_u \cdot \frac{A_{\text{nt}}}{\gamma_{\text{M2}}} \right) + \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) \cdot \frac{A_{\text{nv}}}{\gamma_{\text{M0}}}$$

Kaava 5. Tehollinen palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo

4.1.4 Palkin uuman reunapuristuskestävyys

Lasketaan kertoimille k_1 ja α_b arvot seuraavasti:

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

Kaava 6. k_1 kerroin.

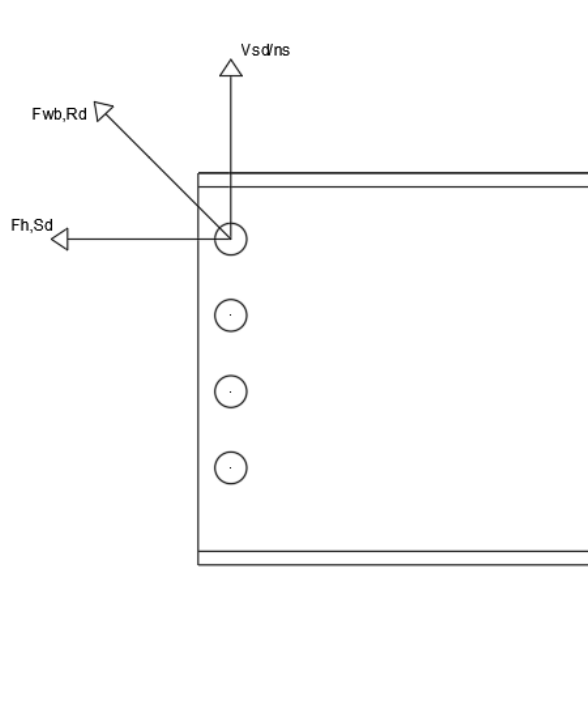
$$\alpha_b = \min\left(\frac{e}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

Kaava 7. α_b kerroin.

Reunapuristuskestävyys lasketaan kaavasta:

$$F_{wb,Rd} = \frac{(k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w)}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 8. Uuman reunapuristuskestävyys.



Kuva 10. Voimien suunnat

Tasapainoehdosta:

$$F_{b,Sd} < F_{wb,Rd}$$

Kaava 9. Tasapainoehto.

Saadaan kaava seuraavaan muotoon:

$$V_{wb,Rd} \geq \frac{F_{wb,Rd}}{\sqrt{\left[\frac{(I_p + e_k \cdot X_n \cdot n \cdot n)}{I_p \cdot n_r \cdot n} \right]^2 + \left[\frac{(e_k \cdot z_n)}{I_p} \right]^2}}$$

Kaava 10.

4.1.5 Levyn leikkauskestävyys reikien kohdalla

Lasketaan nettopinta-ala seuraavasti:

$$A_{v,I,net} = (1 - n \cdot d_0) \cdot t_1$$

Kaava 11. Nettopinta-ala.

Leikkauskestävyys tarkistetaan seuraavasti:

$$V_{l,pl,Rd} = A_{v,I,net} \cdot \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 12. Leikkauskestävyyden tarkistaminen

Lommahduksen estämiseksi on tarkistettava myös levyille minimipaksuudet $t_{min,1}$ ja $t_{min,2}$, joista mitoittavaksi paksuudeksi valitaan suurempi:

$$t_{min,1} \geq \frac{\left(\frac{b}{0,673} \right)}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$$

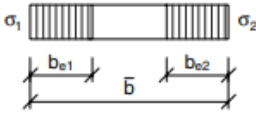
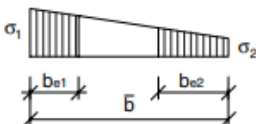
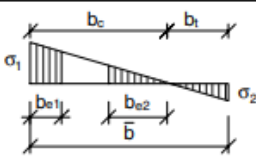
Kaava 13. Levyn minimipaksuus.

$t = \text{valitun ripalevyn paksuus}$

$$\bar{b} = s + e_3$$

Kaava 14.

$k_\sigma = \text{lomahduskerroin (Taulukko 3)}$

Jännitysjakautuma (puristus on positiivinen)				Tehollinen ^p leveys b_{eff}		
				$\psi = 1:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}} \quad b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{\text{eff}} \quad b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}} \quad b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Lomahduskerroin k_c	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

Taulukko 3. Kahdelta reunalta tuetun taso-osan lomahduskerroin. (SFS EN 1993-1-5 s. 18 taulukko 4.1)

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Kaava 15.

$$t_{\text{min},2} \geq \frac{P_{1,\text{min}}}{9 \cdot \epsilon}$$

Kaava 16. Levyn minimipaksuus.

Ripalevylle voidaan määrittää myös maksimipaksuus, joka lasketaan valitun ruuvinkoon perusteella:

$$t_{\max} \leq 1,5 \cdot d$$

Kaava 17. Levyn maksimipaksuuden määrittäminen.

Lommahdusta ei tapahdu jos:

$$\lambda_p \leq 0,673$$

Kaava 18.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\left(\frac{b}{t}\right)}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$$

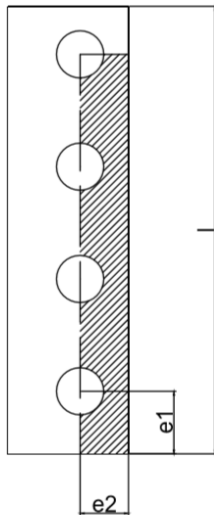
Kaava 19.

4.1.6 Levyn palamurtumiskestävyys

Tehollisen palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo lasketaan seuraavasti:

$$\left(V_{\text{eff}, Rd} = 0,5 \cdot f_u \cdot \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} \right) + \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 20. Levyn tehollinen palamurtumiskestävyys. (EN 1993-1-8 (3.10))



Kuva 11. Levyn palamurto

4.1.7 Levyn reunapuristuskestävyys

Lasketaan kertoimille k_1 ja α_b arvot seuraavasti:

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

Kaava 21. k_1 kerroin.

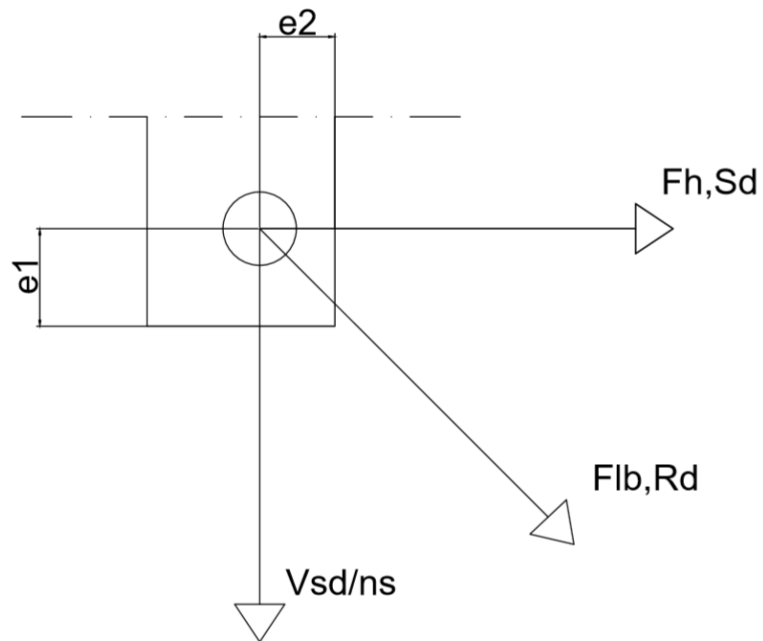
$$\alpha_b = \min\left(\frac{e}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

Kaava 22. α_b kerroin.

Levyn reunapuristuskestävyys lasketaan kaavasta:

$$F_{fb,Rd} = \frac{(k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 23. Levyn reunapuristuskestävyys.



Kuva 12. Levyn reunapuristus

Tasapainoehdosta:

$$F_{b,Sd} < F_{ib,Rd}$$

Kaava 24.

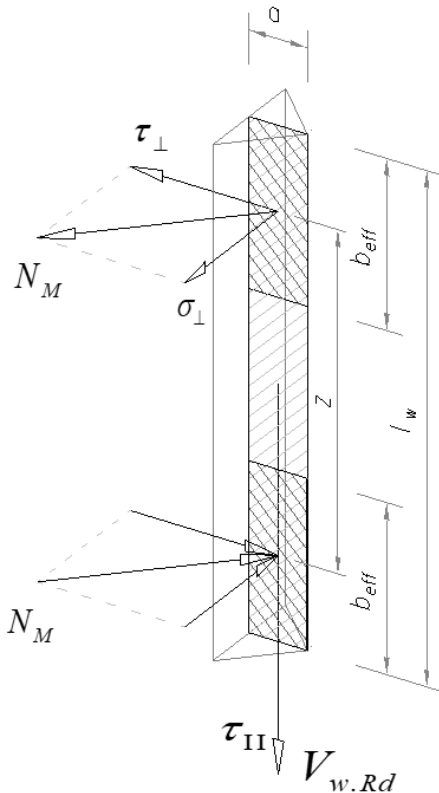
Saadaan kaava muotoon:

$$V_{ib,Rd} \geq \frac{F_{ib,Rd}}{\sqrt{\left[\frac{(I_p + e_k \cdot X_n \cdot n_r \cdot n)}{I_p \cdot n_r \cdot n} \right]^2 + \left[\frac{(e_k \cdot z_n)}{I_p} \right]^2}}$$

Kaava 25.

4.1.8 Hitsin kestävyyskapasiteetti

Ripalevy kiinnitetään pilariin molemmin puolin 3 mm pienahitseillä.



Kuva 13. Hitsin jännitykset ja voimat.

Lasketaan voimien N_M välinen etäisyys z kaavasta:

$$\left(z = \frac{2}{3} \right) \cdot l_w$$

Kaava 26. Voimien välinen etäisyys.

Hitsien tehollinen leveys b_{eff} lasketaan kaavasta:

$$\left(b_{eff} = \frac{1}{3} \right) \cdot l_w$$

Kaava 27. Hitsien tehollinen leveys.

Hitsin jännitysten tarkastelu:

$$\sigma_{\text{vert}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Kaava 28. Hitsiin kohdistuva jännitys.

ja

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 29. Hitsiin kohdistuva jännitys.

β_w eli korrelaatiokerroin (Taulukko 4)

Standardi ja teräslaji			Korrelaatiokerroin β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

Taulukko 4. Pienahitsin korrelaatiokerroin. (SFS EN 1993–1–8 s. 47 taulukko 4.1)

Hitsin kestävyyskapasiteetti lasketaan kaavasta:

$$V_{w,Rd} \leq \sigma_{\text{vert}} \cdot \frac{(4 \cdot a \cdot l_w \cdot b_{\text{eff}})}{\sqrt{18 \cdot (e_k)^2 + 12 \cdot (b_{\text{eff}})^2}}$$

Kaava 30. Hitsin jännityskapasiteetti.

$$N_M = V_{w,Rd} \cdot \frac{e_k}{z}$$

Kaava 31.

Leikkausvoimasta aiheutuva jännitys:

$$\tau_{II} = \frac{V_{w,Rd}}{2 \cdot a \cdot I_w}$$

Kaava 32. Leikkausvoiman aiheuttama jännitys.

4.1.9 Ruuvien leikkauskapasiteetti resultanttivoimalle

Ruuvien leikkauskapasiteetti yksileikkeisessä liitoksessa lasketaan kaavasta:

$$F_{v,Rd} = \frac{(\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A)}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 33. Ruuvien leikkauskapasiteetti.

Liitoksessa käytettäessä osakierteisiä ruuveja α_v saadaan (Taulukko 5):

Ruuvit	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9
α_v	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5

Taulukko 5. Osakierteisen ruuvien α_v kerroin.

Ruuvien lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Taulukko 6. Ruuvien myötörajan f_{yb} ja vetomurtolujuuden f_{ub} nimellisarvot. (SFS EN 1993–1–8 s. 21 taulukko 3.1)

Tasapainoehdosta:

$$F_{b,Sd} < F_{v,Rd}$$

Kaava 34. Tasapainoehto.

Saadaan kaava muotoon:

$$V_{v,Rd} \geq \frac{F_{v,Rd}}{\sqrt{\left[\frac{(I_p + e_k \cdot X_n \cdot n_r \cdot n)}{I_p \cdot n_r \cdot n} \right]^2 + \left[\frac{(e_k \cdot z_n)}{I_p} \right]^2}}$$

Kaava 35. Ruuvien leikkauskapasiteetti leikkausvoimalle.

4.1.10 Lopputulos

Liitoksessa selvästi mitoittavimmaksi ilmiöksi laskentojen perusteella on uuman reunapuristuskestävyys, joka on suuruudeltaan 199 kN. Seuraavaksi mitoittavimmaksi tuli levyn reunapuristuskestävyys, joka on suuruudeltaan 249 kN. Laskenta suoritettiin aluksi käsinlaskentana, jonka jälkeen tulosten oikeellisuus tarkastettiin SKOL-laskentapohjien avulla. Molemmista laskentamenetelmistä saatiin samat vastaukset.

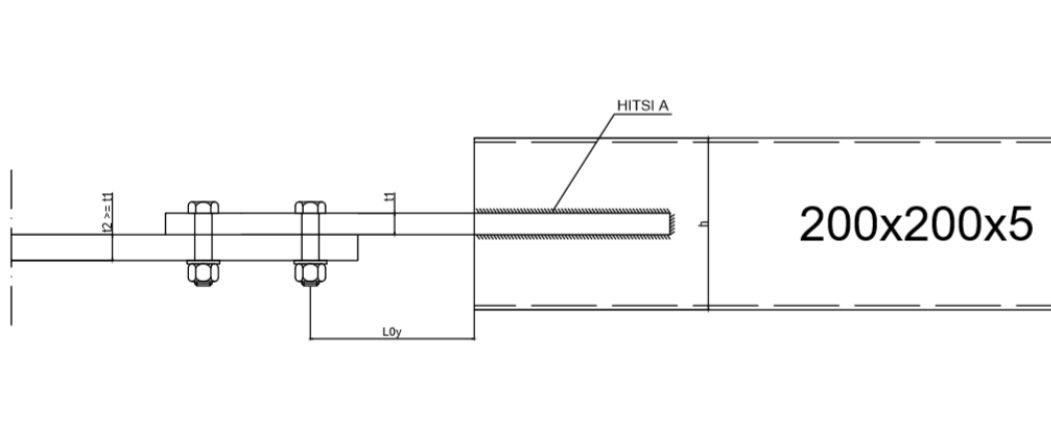
Liitoksen kestävyyttä pystytään parantamaan muuttamalla liitoksen eri komponentteja. Tässä tapauksessa, kun mitoittavana tekijänä on uuman reunapuristuskestävyys, voidaan muuttaa esimerkiksi palkkia, jossa on paksumpi uuma tai suurentamalla ruuvien reikien reunaetäisyyksiä.

4.2 Sideliitos, upotettu liitoslevy

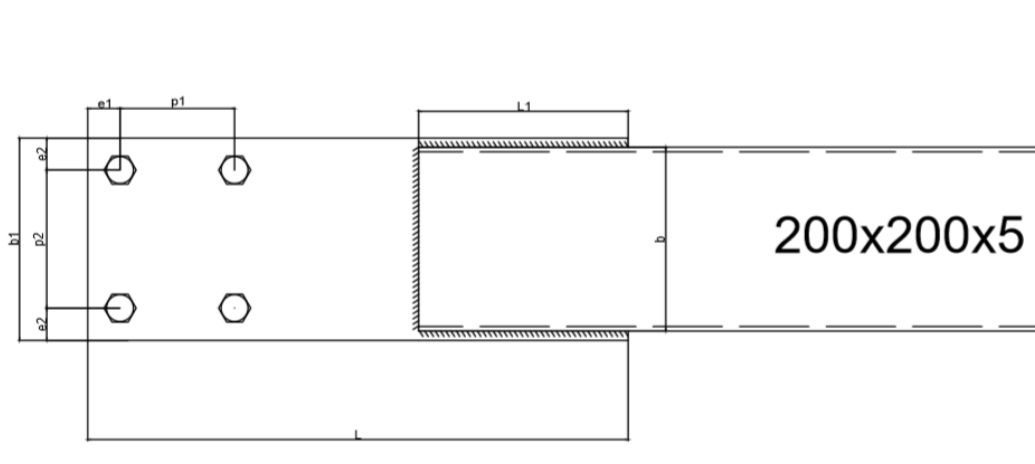
Tässä liitosvaihtoehdossa tarkastellaan yksileikkeisen pilarin ja palkin sideliitosta, jossa liitoslevy on upotettu sideprofiili. Pilari avoprofiilina ja palkki putkiprofiilina. Kyseisessä sideliitoksessa lovetaan palkin päähän liitoslevyn mentävä lovi, johon liitoslevy upotetaan ja hitsataan kiinni palkkiin. Pilariin puolestaan hitsataan kiinnityskonsoli. Palkissa olevan kiinnityslevyn ja pilarissa olevan konsolin kiinnitys toisiinsa toteutetaan pulttiliitoksena.

Lähtötiedot:

- Palkki RHS 200x200x5
- Pilari HEA240
- 4 kpl 8.8 M20 osakierteisiä ruuveja
- Liitoslevyn paksuus 25 mm
- Levyjen, pilarin ja palkin myötöraja 355 N/mm^2
- a-mitta 3 mm



Kuva 14. Sideliitos ylähäältä



Kuva 15. Sideliitos sivusta

4.2.1 Ruuvien leikkauskestävyys

Koska kierteet eivät sijaitse leikkaustasossa, käytetään A_s arvona A.

L_j = äärimmäisten liittimien välinen etäisyys

d = pultin halkaisija

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{(L_j - 15d)}{200d}$$

Kaava 36.

Ehto:

$$0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0$$

Kaava 37.

Ruuvit	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9
α_v	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5

Taulukko 7. Ruuvien lujuusluokasta riippuva kerroin

Yhden ruuvin leikkauskestävyys saadaan laskettua kaavasta:

$$F_{v,Rd} = \frac{(\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot \beta_{Lf})}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 38. Ruuvien leikkauskestävyys

Koko liitoksen ruuvien leikkauskestävyys saadaan kertomalla $F_{v,Rd}$ ruuvien lukumäärällä.

Ehto:

$$F_{v,Rd} \geq N_{Ed}$$

Kaava 39.

Leikkausvoima yhtä ruuvia kohden:

$$F_{v,Ed} = \frac{N_{Ed}}{\text{ruuvien lkm}}$$

Kaava 40.

4.2.2 Reunapuristuskestävyys

Reunarivin, reunasarakkeen ruuvi:

$k_1 = \text{on pienin arvoista:}$

$$2,8 \cdot \left(\frac{e_2}{d_0} \right) - 1,7 \leq 2,5$$

Kaava 41.

$a_b = \text{pienin arvoista:}$

$$a_b = \left(\frac{P_1}{3 \cdot d_0} \right) \quad \text{tai} \quad \frac{f_{ub}}{f_{v,1}} \quad \text{tai} \quad 1$$

Kaavat 42, 43 ja 44.

$$F_{b,Rd} = \frac{(k_1 \cdot a_b \cdot f_{v,1} \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 45. Reunapuristuskestävyys

Reunarivin, muun sarakkeen ruuvi

$a_b = \text{pienin arvoista}$

$$\left(a_b = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \right) - \left(\frac{1}{4} \right) \quad \text{tai} \quad \frac{f_{ub}}{f_{v,1}} \quad \text{tai} \quad 1$$

Kaavat 46, 47 ja 48.

$$F_{b,Rd} = \frac{(k_1 \cdot a_b \cdot f_{v,1} \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 49. Reunapuristuskestävyys

Ehto:

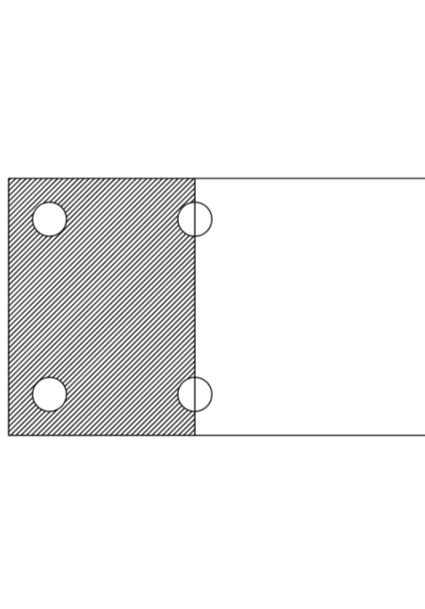
$$F_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

Kaava 50.

4.2.3 Palamurtuminen

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli lasketaan taulukon 2. mukaisesti.

Murtumistapa 1:



Kuva 16. Murtumistapa

$$A_{nt} = (h - n \cdot d_0) \cdot t_1$$

Kaava 51.

$$A_{nv} = 0$$

Kaava 52.

Kestävyys lasketaan kaavasta:

$$V_{eff,Rd} = f_{u,1} \cdot \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot f_{y,1} \cdot \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

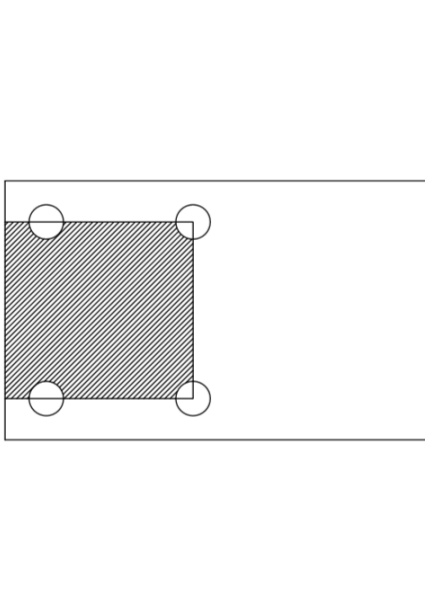
Kaava 53.

Ehto:

$$V_{\text{eff},1,Rd} \geq N_{Ed}$$

Kaava 54.

Murtumistapa 2.



Kuva 17. Murtumistapa

$$A_{nt} = (n - 1) \cdot (p_2 - d_0) \cdot t_1$$

Kaava 55.

$$A_{nv} = 2 \cdot \left[\left(e_1 - \frac{d_0}{2} \right) + (n - 1) \cdot (p_1 - d_0) \right] \cdot t_1$$

Kaava 56.

$$V_{\text{eff},Rd} = f_{u,1} \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_{y,1} \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

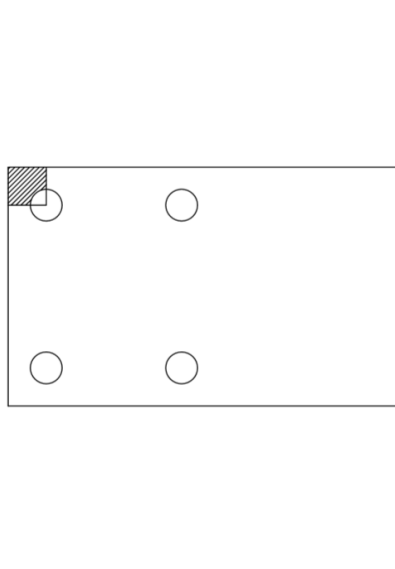
Kaava 57.

Ehto:

$$V_{\text{eff},2,Rd} \geq N_{Ed}$$

Kaava 58.

Murtumistapa 3.



Kuva 18. Murtumistapa

$$A_{nt} = \left(e_1 - \frac{d_0}{2} \right) \cdot t_1$$

Kaava 59.

$$A_{nv} = \left(e_1 - \frac{d_0}{2} \right) \cdot t_1$$

Kaava 60.

$$V_{\text{eff},Rd} = f_{u,1} \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_{y,1} \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 61.

Ehto:

$$V_{\text{eff},3,\text{Rd}} \geq N_{\text{Ed}}$$

Kaava 62.

4.2.4 Ruuvikiinnitysluokkien mukaiset ehdot

$$F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{v,Rd}}$$

Kaava 63.

$$F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{b,Rd}}$$

Kaava 64.

Luokka	Ehto	Huomautuksia
Leikkausvoiman rasittamat kiinnitykset		
A Reunapuristustyyppinen kiinnitys	$F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{v,Rd}}$ $F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{b,Rd}}$	Esijännitystä ei vaadita. Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9.
B Käyttörajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys	$F_{\text{v,Ed,ser}} \leq F_{\text{s,Rd,ser}}$ $F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{v,Rd}}$ $F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{b,Rd}}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. Liukumiskestävyys käyttörajatilassa, ks. 3.9.
C Murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys	$F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{s,Rd}}$ $F_{\text{v,Ed}} \leq F_{\text{b,Rd}}$ $F_{\text{v,Ed}} \leq N_{\text{net,Rd}}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. Liukumiskestävyys murtorajatilassa, ks. 3.9. $N_{\text{net,Rd}}$ ks. 3.4.1(1)c).
Vetovoiman rasittamat kiinnitykset		
D Esijännittämätön ruuvi	$F_{\text{t,Ed}} \leq F_{\text{t,Rd}}$ $F_{\text{t,Ed}} \leq B_{\text{p,Rd}}$	Esijännitystä ei vaadita. Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9. $B_{\text{p,Rd}}$ ks. taulukko 3.4.
E Esijännitetty ruuvi	$F_{\text{t,Ed}} \leq F_{\text{t,Rd}}$ $F_{\text{t,Ed}} \leq B_{\text{p,Rd}}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. $B_{\text{p,Rd}}$, ks. taulukko 3.4.
Vetovoiman mitoitusarvoon $F_{\text{t,Ed}}$ lasketaan mukaan vipuvaikutus, ks. 3.11. Ruuvit, joihin kohdistuu sekä leikkaus- että vetovoima tarkistetaan lisäksi taulukon 3.4 mukaiselle yhteisvaikutukselle.		

Taulukko 8. Ruuvien kiinnitysluokat (SFS EN 1993–1–8 s. 23 taulukko 3.2.)

4.2.5 Ripalevyn kestävyys

Puristukselle $A_1 = A$

Vedolle $A_1 = A_{net}$

$$\left(N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_1 \cdot \frac{f_{ul}}{\gamma_{M2}} \right) \geq N_{Ed}$$

Kaava 65.

$$\left(N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \geq N_{Ed}$$

Kaava 66.

Ehto, jotta murtumistapa on sitkeä:

$$\{N_{u,Rd}; F_{v,Rd}\} > N_{pl,Rd}$$

Kaava 67.

4.2.6 Hitsit

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

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{II} \leq \frac{f_{ul}}{(\beta_w \cdot \gamma_{M2})} \quad \text{ja} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_{ul}}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 68.

Hitsin pinta-ala:

$$A = (a \cdot L_1) \cdot 4$$

Kaava 69.

Hitsin jännitys:

$$\tau_{II} = \frac{N_{ed}}{A}$$

Kaava 70.

$$\tau_L = \delta_{\perp}$$

Kaava 71.

Hitsin kestävyys lasketaan kaavasta:

$$V_{w,Rd} = \frac{F_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Kaava 72.

Hitsin rasittava voima:

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{II}$$

Kaava 73.

4.2.7 Putken hitsialueen leikkauskestävyys

$$2 \cdot L_1 \cdot 0,6 \cdot t_1 \cdot f_y$$

Kaava 74.

4.2.8 Nurjahdus

Poikkileikkausluokille 1, 2 ja 3.

Nurjahduspituus lasketaan kaavasta:

$$L_{oy} = L - e_1 - L_1 - (n-1) \cdot p_1$$

Kaava 75.

Nurjahduskestävyys:

$$N_{b,Rd} = \frac{(X \cdot A \cdot f_y)}{\gamma_{M1}}$$

Kaava 76.

Pienennystekijä:

$$X = \frac{1}{\left[\Phi + \left(\sqrt{\Phi^2 - \lambda^2} \right) \right]}$$

Kaava 77.

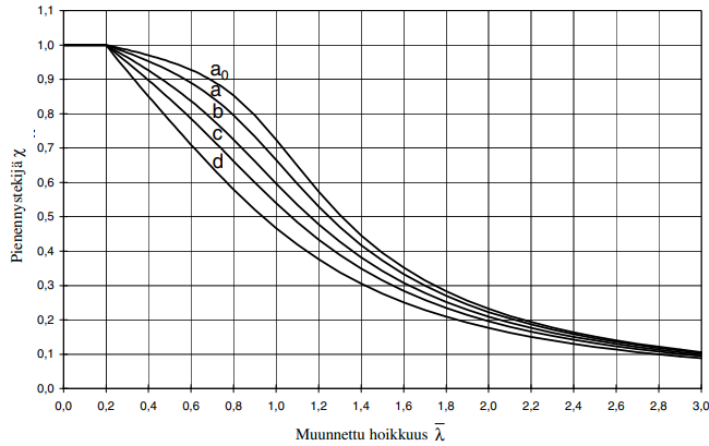
$$\Phi = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2 \right)$$

Kaava 78.

$$\lambda = \left(\frac{L_{oy}}{i_y \cdot \pi} \right) \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Kaava 79.

Epätarkkuustekijä α nurjahduskäyrän mukaan.



Taulukko 9. Nurjahduskäyrät (SFS EN 1993–1–1 s. 64 kuva 6.4.)

Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksen mukaan:

Poikkileikkaus		Rajat	Nurjahdus ko. akselin suhteen	Nurjahduskäyrä	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Valssatut profiilit		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a a ₀
			$40 < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c
			$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d c
Hitsatut I-profiilit		$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	
		$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	
Rakenneputket		Kuumamuovattu	Kaikki	a	a ₀
		Kylmämuovattu	Kaikki	c	c
Hitsatut kotelo-profiilit		Yleensä (poikkeus, ks. alla)	Kaikki	b	b
		Paksut hitsit: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Kaikki	c	c
U-, T- ja umpiprofiilit			Kaikki	c	c
L-teräkset			Kaikki	b	b

Taulukko 10. Nurjahduskäyrän valinta (SFS EN 1993–1–1 s. 63 taulukko 6.2.)

Ehto:

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

Kaava 80.

4.2.9 Lopputulos

Tässä liitoksessa mitoittavimmaksi ilmiöksi saatiin putken hitsialueen leikkauskestävyys, jonka kestävyys oli 319,5 kN. Laskenta suoritettiin aluksi käsinlaskentana, jonka jälkeen tulosten oikeellisuus tarkastettiin SKOL-laskentapohjien avulla. Molemmista laskentamenetelmistä saatiin samat vastaukset.

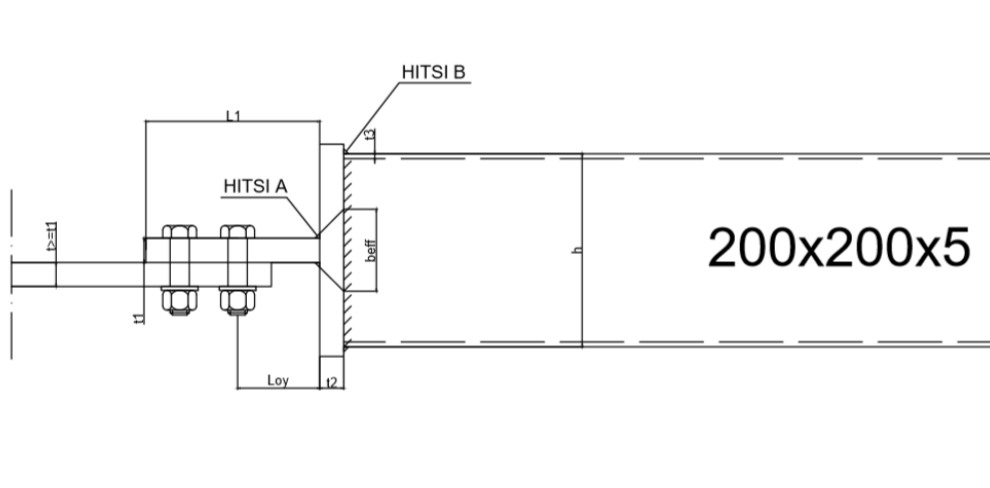
Liitoksen kestävyyttä pystytään parantamaan muuttamalla liitoksen eri komponentteja. Tässä tapauksessa, kun mitoittavana tekijänä on putken hitsin leikkausalueen kestävyys, pystytään sen kapasiteettia kasvattamaan lisäämällä esimerkiksi putken seinämäpaksuutta, joka mahdollistaa suuremman hitsin käyttämisen.

4.3 Sideliitos, päätylevy

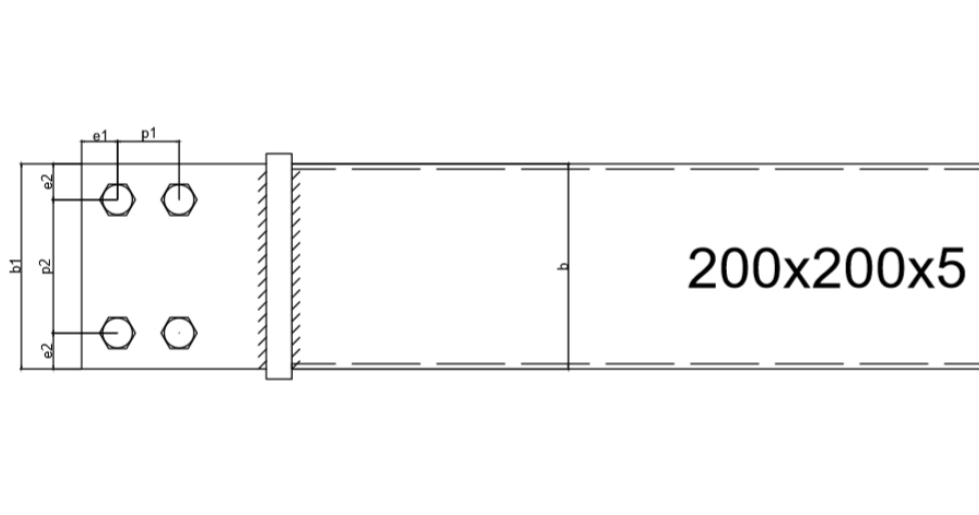
Tässä liitoksessa pilarin ja palkin välinen yksileikkeinen sideliitos toteutetaan palkin päähän hitsatun päätylevyn avulla. Päätylevyliitoksessa palkin päähän hitsataan päätylevy, johon hitsataan kiinni liitoslevy. Pilariin puolestaan hitsataan liitoskonsoli. Palkissa olevan liitoslevyn ja pilarissa olevan konsolin välinen liitos toteutetaan pulttiliitoksena.

Lähtötiedot:

- Palkki RHS 200x200x5
- Pilari HEA240
- 4 kpl 8.8 M20 osakierteisiä ruuveja
- Liitoslevyn paksuus 25 mm
- Levyjen, palkin ja pilarin 355 N/mm^2



Kuva 19. Sideliiitos ylhäältä



Kuva 20. Sideliiitos sivusta

4.3.1 Leikkauskestävyys

Jos kierteet eivät sijaitse leikkaustasossa, käytetään A_s tilalla arvoa A.

L_j = äärimmäisten liittimien välinen etäisyys.

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{(L_j - 15 \cdot d)}{200 \cdot d}$$

Kaava 81.

$$0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0$$

Kaava 82.

α_v luku taulukon 8. mukaan.

Leikkauskestävyys yhtä ruuvia kohden lasketaan kaavasta:

$$F_{v,Rd} = \frac{(\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot \beta_{Lf})}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 83.

Koko liitoksen ruuvien leikkauskestävyys saadaan laskettua kertomalla $F_{v,Rd}$ liitoksessa olevien ruuvien lukumäärällä.

Ehto:

$$F_{v,Rd} \geq N_{Ed}$$

Kaava 84.

4.3.2 Leikkausvoiman mitoitusarvo yhtä ruuvia kohden

$$F_{v,Ed} = \frac{N_{Ed}}{\text{ruuvien lkm}}$$

Kaava 85.

4.3.3 Reunapuristuskestävyys

Reunarivin, reunasarakkeen ruuveille

K_1 on pienin arvoista:

$$\frac{(2,8 \cdot e_2)}{d_0 - 1,7} \leq 2,5$$

Kaava 86.

a_b on pienin arvoista:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} \quad \text{tai} \quad \frac{f_{ub}}{f_u} \quad \text{tai} \quad 1$$

Kaavat 87, 88 ja 89.

Reunapuristuskestävyys lasketaan kaavasta:

$$F_{b,Rd} = \frac{(k_1 \cdot a_b \cdot f_{u,l} \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 90.

Reunarivi, muun sarakkeen ruuvi

a_b on pienin arvoista:

$$\left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0}\right) - \frac{1}{4} \quad \text{tai} \quad \frac{f_{ub}}{f_u} \quad \text{tai} \quad 1$$

Kaavat 91, 92, ja 93.

Reunapuristuskestävyys lasketaan kaavasta:

$$F_{b,Rd} = \frac{(k_1 \cdot a_b \cdot f_{u,l} \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 94.

Kestävyiden mitä kaavoista saadaan ovat yhtä ruuvia kohden.

Ehto:

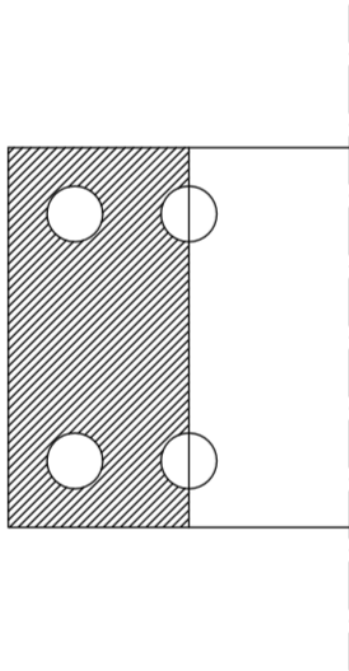
$$F_{b,Rd} \geq F_{v,ed}$$

Kaava 95.

4.3.4 Palamurtuminen

Pääty- ja reunaetäisyydet, sekä keskiöväli lasketaan taulukon 2. mukaisesti.

Murtumistapa 1



Kuva 21. Murtumistapa

$$A_{nt} = (h - n \cdot d_0) \cdot t_1$$

Kaava 96.

$$A_{nv} = 0$$

Kaava 97.

Kestävyys lasketaan kaavasta:

$$V_{\text{eff,Rd}} = f_{u,1} \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_{y,1} \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

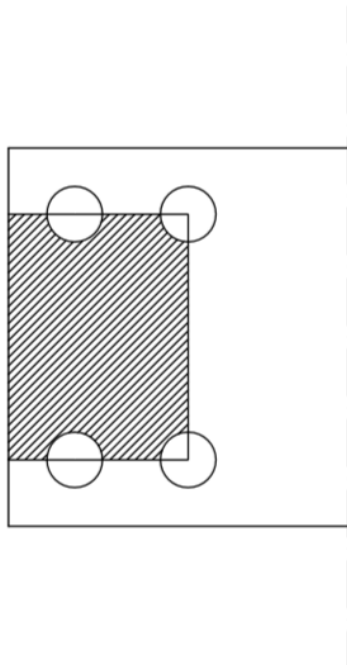
Kaava 98.

Ehto:

$$V_{\text{eff},1,Rd} \geq N_{Ed}$$

Kaava 99.

Murtumistapa 2.



Kuva 22. Murtumistapa

$$A_{nt} = (p_2 - d_0) \cdot t_1$$

Kaava 100.

$$A_{nv} = 2 \cdot \left[e_1 - \frac{d_0}{2} + (n-1) \cdot (p_1 - d_0) \right] \cdot t_1$$

Kaava 101.

Kestävyys lasketaan kaavasta:

$$V_{\text{eff,Rd}} = f_{u,I} \frac{A_{\text{nt}}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_{y,I} \frac{A_{\text{nv}}}{\gamma_{M0}}$$

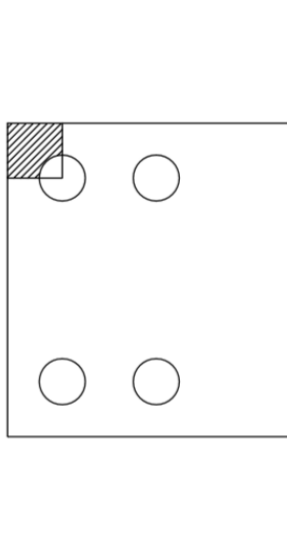
Kaava 102.

Ehto:

$$V_{\text{eff,2,Rd}} \geq N_{\text{Ed}}$$

Kaava 103.

Murtumistapa 3.



Kuva 23. Murtumistapa

$$A_{\text{nt}} = (e1 - 0,5 \cdot d_0) \cdot t_1$$

Kaava 104.

$$A_{\text{nv}} = (e1 - 0,5 \cdot d_0) \cdot t_1$$

Kaava 105.

Kestävyys lasketaan kaavasta:

$$V_{\text{eff,Rd}} = f_{u,I} \frac{A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) f_{y,I} \frac{A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 106.

Ehto:

$$V_{\text{eff,3,Rd}} \geq N_{\text{Ed}}$$

Kaava 107.

4.3.5 Ruuvien kiinnitysluokkien mukaiset ehdot

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

Kaava 108.

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

Kaava 109.

Ruuvien kiinnitysluokat taulukon 8. mukaan.

4.3.6 Ripalevyn kestävyys

Puristukselle $A_1 = A$.

Vedolle $A_1 = A_{net}$.

$$\left(N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_1 \cdot \frac{f_{ul}}{\gamma_{M2}} \right) \geq N_{\text{Ed}}$$

Kaava 110.

$$\left(N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \geq N_{Ed}$$

Kaava 111.

Ehto jotta murtumistapa on sitkeä:

$$\{N_{u,Rd}; F_{v,Rd}\} > N_{pl,Rd}$$

Kaava 112.

Jos ehto ei täyty, murtumistapa on hauras.

4.3.7 Hitsi A

Tehollinen leveys

$$b_{eff,A} = 2 \cdot t_3 + 5 \cdot t_2$$

Kaava 113.

Tehollisen leveyden on kuitenkin täytettävä ehto:

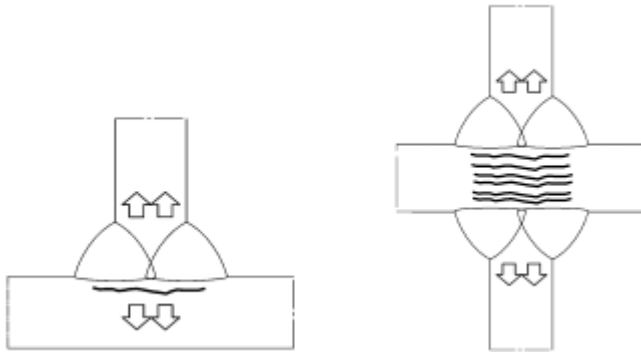
$$b_{eff,A} \leq 2 \cdot t_3 + 5 \cdot k \cdot t_2$$

Kaava 114.

$$\left[k = \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \cdot \left(\frac{f_{y,p}}{f_{y,1}} \right) \right], k \leq 1$$

Kaava 115.

Lamellirepeytymiskestävyys



Kuva 24. Lamellirepeytyminen (SFS EN 1993–1–10 s. 14 kuva 3.1)

Jotta lamellirepeytyminen voidaan jättää huomioimatta, tulee sen täyttää seuraava ehto:

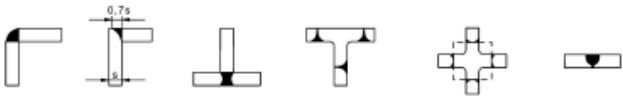

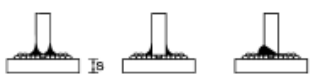




$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd}$$

Kaava 116.

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e$$

Kaava 117.

Kaikki Z-arvot määritetään taulukon 11. mukaan.

a)	Hitsin korkeus, jota käytetään metallin kutistumisesta aiheutuvan venymisen arvioimiseen	Hitsin tehollinen korkeus a_{eff} (ks. kuva 3.2)	Z_i
		$a_{eff} \leq 7\text{mm}$	$a = 5\text{mm}$ $Z_a = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10\text{mm}$	$a = 7\text{mm}$ $Z_a = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20\text{mm}$	$a = 14\text{mm}$ $Z_a = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30\text{mm}$	$a = 21\text{mm}$ $Z_a = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40\text{mm}$	$a = 28\text{mm}$ $Z_a = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50\text{mm}$	$a = 35\text{mm}$ $Z_a = 15$
		$50 < a_{eff}$	$a > 35\text{mm}$ $Z_a = 15$
b)	Hitsien muoto ja sijainti T-, risti- ja nurkkaliitoksissa		$Z_b = -25$
		Nurkkaliitokset	 $Z_b = -10$
		Yksipalkkienahitsit $Z_a = 0$ tai pienahsit, joille $Z_a > 1$ välikerroshitsausta ja alhaisen lujuuden omaava lisäainetta käytettäessä	 $Z_b = -5$
		Monipalkkienahitsit	 $Z_b = 0$
		Osittain läpihitsatut ja läpihitsatut hitsit	Tarkoituksenmukaisella hitsausjärjestyksellä pienennetään kutistumisen vaikutuksia  $Z_b = 3$
		Osittain läpihitsatut ja läpihitsatut hitsit	 $Z_b = 5$
		Nurkkaliitokset	 $Z_b = 8$
c)	Aineenpaksuuden s vaikutus kutistumista vastaavaan kiinnitysasteeseen	$s \leq 10\text{mm}$	$Z_c = 2^*$
		$10 < s \leq 20\text{mm}$	$Z_c = 4^*$
		$20 < s \leq 30\text{mm}$	$Z_c = 6^*$
		$30 < s \leq 40\text{mm}$	$Z_c = 8^*$
		$40 < s \leq 50\text{mm}$	$Z_c = 10^*$
		$50 < s \leq 60\text{mm}$	$Z_c = 12^*$
		$60 < s \leq 70\text{mm}$	$Z_c = 15^*$
		$70 < s$	$Z_c = 15^*$

d)	Hitsiä ympäröivien osien aiheuttama kiinnitysaste, joka vaikuttaa hitsin kutistumismahdollisuuteen.	Pieni kiinnitysaste: Vapaa kutistuminen mahdollinen (esim. T-liitokset)	$Z_d = 0$
		Keskimääräinen kiinnitysaste: Vapaa kutistuminen rajoitettua (esim. koteloprofiilien poikittaisjäykisteet)	$Z_d = 3$
		Korkea kiinnitysaste: Vapaa kutistuminen ei mahdollista (esim. ortotooppisten kansilevyjen jäykisteet)	$Z_d = 5$
e)	Esikuumennuksen vaikutus	Ei esikuumennusta	$Z_e = 0$
		Esikuumennus $\geq 100^\circ\text{C}$	$Z_e = -8$

* Voidaan pienentää 50 %:lla kohdissa, joihin kohdistuu pääasiassa staattisista kuormista aiheutuva levyn paksuussuuntainen puristusjäännitys.

Taulukko 11. Hitsien z-arvot (SFS EN 1993–1–10 s. 15–16 taulukko 3.2)

Hitsin ulkoisista voimista aiheutuva hitsin kannan jännitys rajataan heikoimman liitettävän osan mukaan arvoon:

$$0,8 \cdot f_y$$

Kaava 118.

$$I_{\text{hitsi}} = 2 \cdot b_{\text{eff}, A}$$

Kaava 119.

$$\sigma_b = \left(\frac{N_{Ed}}{a \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{hitsi}}} \right) \leq 0,8 \cdot f_{y,1}$$

Kaava 120.

Laipan murtokestävyyden tehollisen leveyden alueella

$$A_{\text{eff}} = b_{\text{eff}} \cdot t_1$$

Kaava 121.

$$\left(N_{u, \text{eff}, Rd} = 0,9 \cdot A_{\text{eff}} \cdot \frac{f_{ul}}{\gamma_{M2}} \right) \geq N_{ed}$$

Kaava 122.

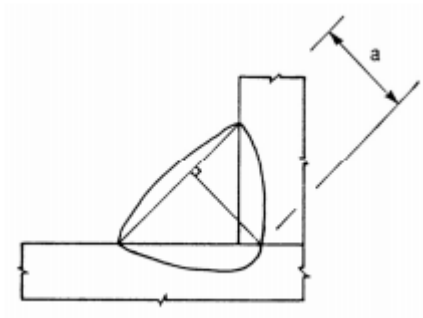
Hitsin A kestävyys

Hitsin a-mitta laskettuna ripalevyn kestävyden mukaan:

$$a = \frac{(t_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \gamma_{M2} \cdot \beta_w \cdot f_y)}{2 \cdot f_u}$$

Kaava 123.

Pienahitsin efektiivisenä a-mittana tulee käyttää kuitenkin vähintään 3 mm.



Kuva 25. Pienahitsin efektiivinen a-mitta. (SFS EN 1993–1–8 s. 45 kuva 4.4)

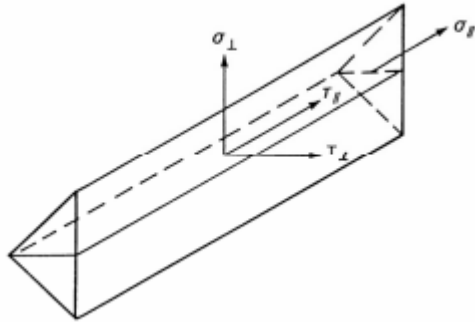
Pienahitsin kestävyys on riittävä, jos se täyttää seuraavat ehdot:

$$\sqrt{(\delta_{\perp})^2 + 3 \cdot [(\tau_{\perp})^2 + (\tau_{\parallel})^2]} \leq \frac{f_{u,1}}{2 \cdot f_u}$$

Kaava 124.

$$\delta_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_{u,1}}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 125.



Kuva 26. Hitsin laskentapoikkipinnan jännitykset. (SFS EN 1993–1–8 s. 46 kuva 4.5)

Hitsin jännitykset:

$$\tau_{\perp} = \delta_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot a \cdot L_{eff}}$$

Kaava 126.

$$\tau_{\parallel} = 0$$

Kaava 127.

4.3.8 Hitsi B

Tehollisen hitsin pituus:

$$b_{eff,B} = t_1 + 2 \cdot t_2 + 2 \cdot a$$

Kaava 128.

Hitsin tehollista leveyttä levennetään hitsin a-mitalla, jolloin päästään ”varmalle puolelle”.

Hitsin kannan jännitykset suhteessa levyyn t_2 :

Kuten hitsissä A, rajataan hitsin kannan jännitys heikoimman liitettävän osan mukaan arvoon:

$$0,8 \cdot f_y$$

Kaava 129.

$$\left[\sigma_b = \frac{(N_{Ed})}{(a \cdot \sqrt{2} \cdot l_{\text{hitsi}})} \right] \leq 0,8 \cdot f_{y,1}$$

Kaava 130.

$$l_{\text{hitsi}} = 2 \cdot b_{\text{eff},B}$$

Kaava 131.

Hitsin B kestävyys

Hitsin kestävyys voidaan todeta riittäväksi, jos seuraavat ehdot täyttyvät:

$$\sqrt{(\delta_{\perp})^2 + 3 \cdot [(\tau_{\perp})^2 + (\tau_{\text{II}})^2]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Kaava 132.

$$\delta_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 133.

Hitsin jännitykset:

$$\tau_{\perp} = \delta_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot a \cdot L_{eff}}$$

Kaava 134.

$$\tau_{II} = 0$$

Kaava 135.

4.3.9 Nurjahdus

Poikkileikkausluokille 1, 2 ja 3.

Nurjahdusehto puristetulle liitokselle:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

Kaava 136.

$$N_{b,Rd} = \frac{(\chi \cdot A_1 \cdot f_{y,l})}{\gamma_{M1}}$$

Kaava 137.

$$\left[\chi = \frac{1}{\left(\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2} \right)} \right] \leq 1$$

Kaava 139.

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

Kaava 140.

Epätarkkuustekijä α nurjahduskäyrän mukaan (taulukot 8. ja 9.).

$$\lambda = \left(\frac{L_{oy}}{i_y \cdot \pi} \right) \cdot \sqrt{\frac{f_{y,1}}{E}} \quad \text{tai} \quad \lambda = \sqrt{\frac{(A_1 \cdot f_y)}{N_{cr}}}$$

Kaavat 141. ja 142.

4.3.10 Lopputulos

Tässä liitoksessa mitoittavimmaksi ilmiöksi saatiin hitsin B kestävyys, jonka kestävyys oli 291 kN. Laskenta suoritettiin aluksi käsinlaskentana, jonka jälkeen tulosten oikeellisuus tarkastettiin SKOL-laskentapohjien avulla. Molemmista laskentamenetelmistä saatiin samat vastaukset.

Liitoksen kestävyyttä pystytään parantamaan muuttamalla liitoksen eri komponentteja. Tässä tapauksessa, kun mitoittavana tekijänä on pienahitsin kestävyys, pystytään sen kapasiteettia kasvattamaan lisäämällä hitsin a-mittaa.

5 Tekla Structures ja liitoskirjasto

Tekla Oyj on vuonna 1966 perustettu suomalainen ohjelmistoyritys, joka valmistaa kansanvälisesti asiakkailleen mallipohjaisia suunnitteluohjelmistoja ja tietojärjestelmiä. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Espoon Tapiolassa. Nykyään Tekla Oyj on nimeltään Trimble Solutions Oy (perustettu vuonna 2011), joka osti Tekla Oyj:n vuonna 2011.

Tekla Structures on yksi Trimble Solutionsin ohjelmistotuotteista, joka on laajalti ympäri maailmaa (yli 80 maassa) käytetty kolmiulotteiseen mallintamiseen tarkoitettu ohjelmisto. Tekla Structures -rakennesuunnitteluohjelmiston osuus koko yhtiön liikevaihdosta on suurin muihin ohjelmistoihin verrattuna. (Tekla 2018.)

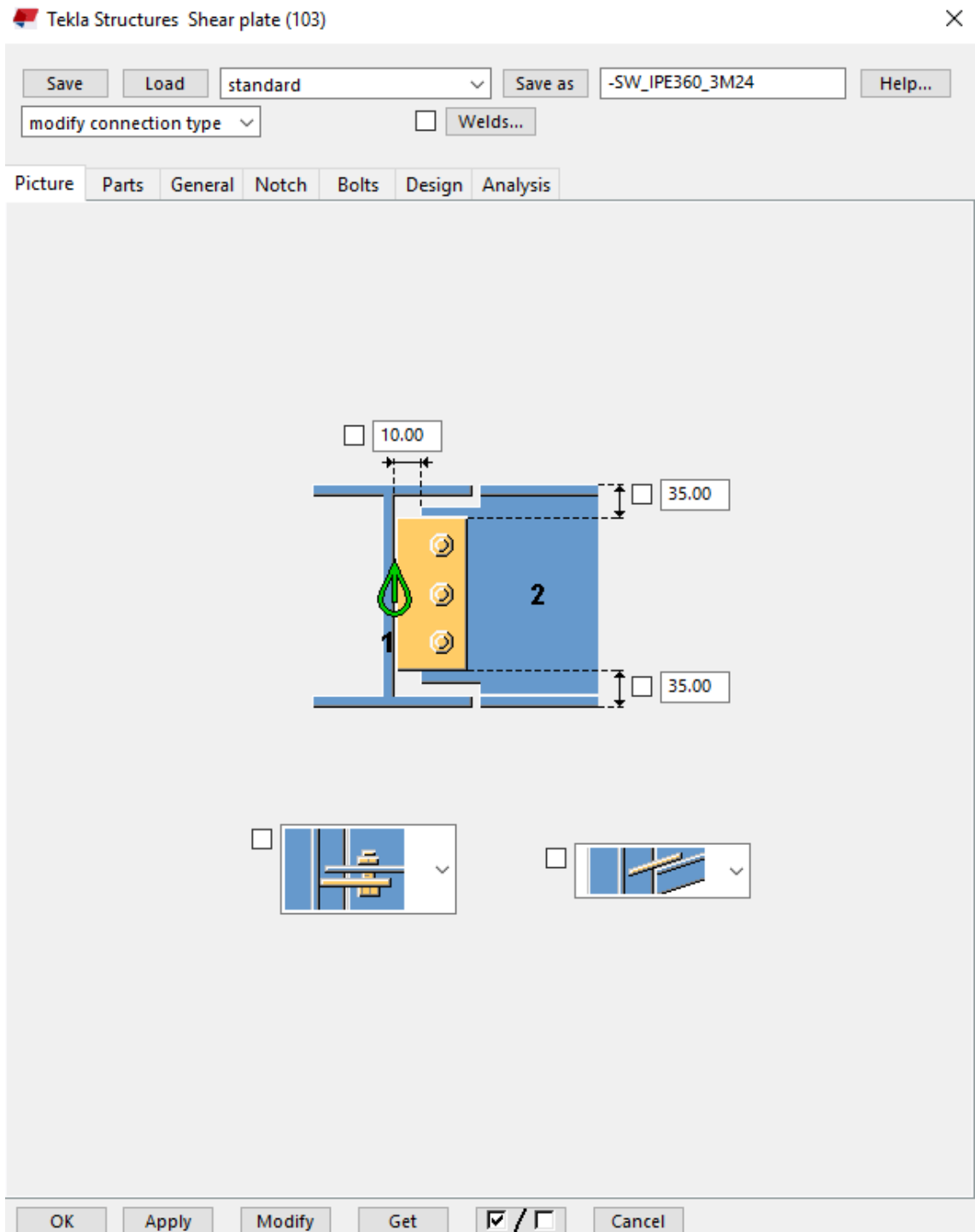
Liitoskirjasto- ja komponentti

Liitoskirjaston tekeminen aloitettiin laskemalla kaikkien liitoskirjastoon sisällytettävien liitoksien kapasiteetit. Laskennan jälkeen jokaisen palkkikoon liitoksen mitoittava kestävyys, pulttikoot ja määrät, sekä hitsin koko ja kestävyys taulukoitiin Exceliin, joka toimii liitoskirjaston tukena (Liitteet 4, 5 ja 6). Teklaan tullessa kirjastossa liitokset nimettiin halutun liitoksen komponenttiin ”-SW_IPE360_4M20” tyyliin. Liitoskirjastossa ei siis ole mainittu liitoksen kestävyyttä, vaan sitä varten Exceliin taulukoitiin liitoksien mitoittavat kapasiteetit ja hitsit.

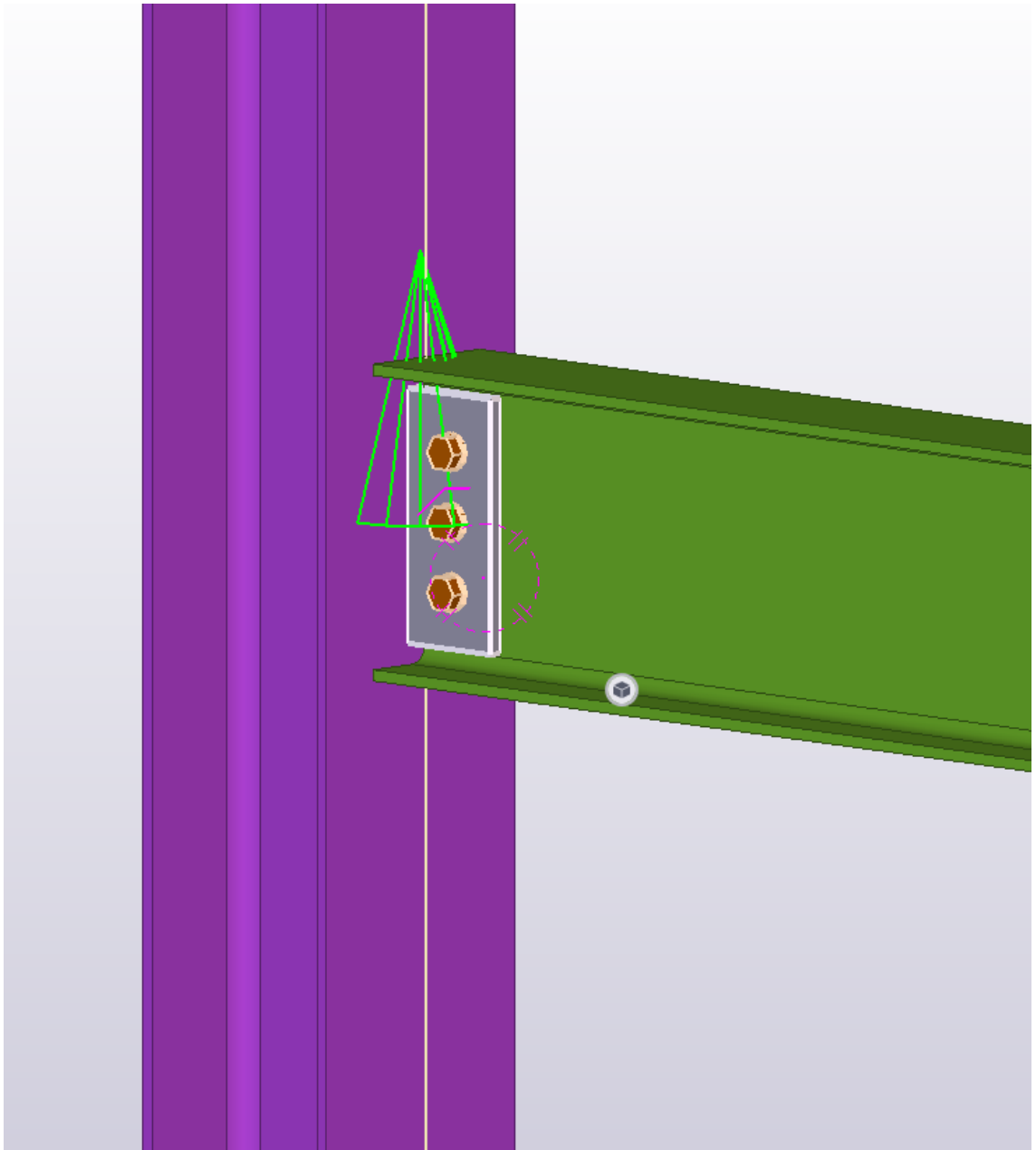
Liitoskirjastossa olevia liitoksia ei tule kuitenkaan käyttää ”sokeasti”, vaikka Exceliin onkin taulukoitu liitoksen kapasiteetti, vaan jokaisen suunnittelijan tulee laskea haluamansa liitoksen kapasiteetti ja tarvittaessa muuttaa liitoksen komponentteja Teklan liitoskomponentista.

Liitoskirjastoon on valittu kattavasti kaikki yleisimmin käytetyt palkkikoot, ja niille sopivat pultit ja hitsit. Tämän tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa suunnittelijan/mallintajan työtä tarjoamalla valmiit liitosmallit, joista voidaan tapauskohtaisesti muuttaa liitoksen kaikkia komponentteja.

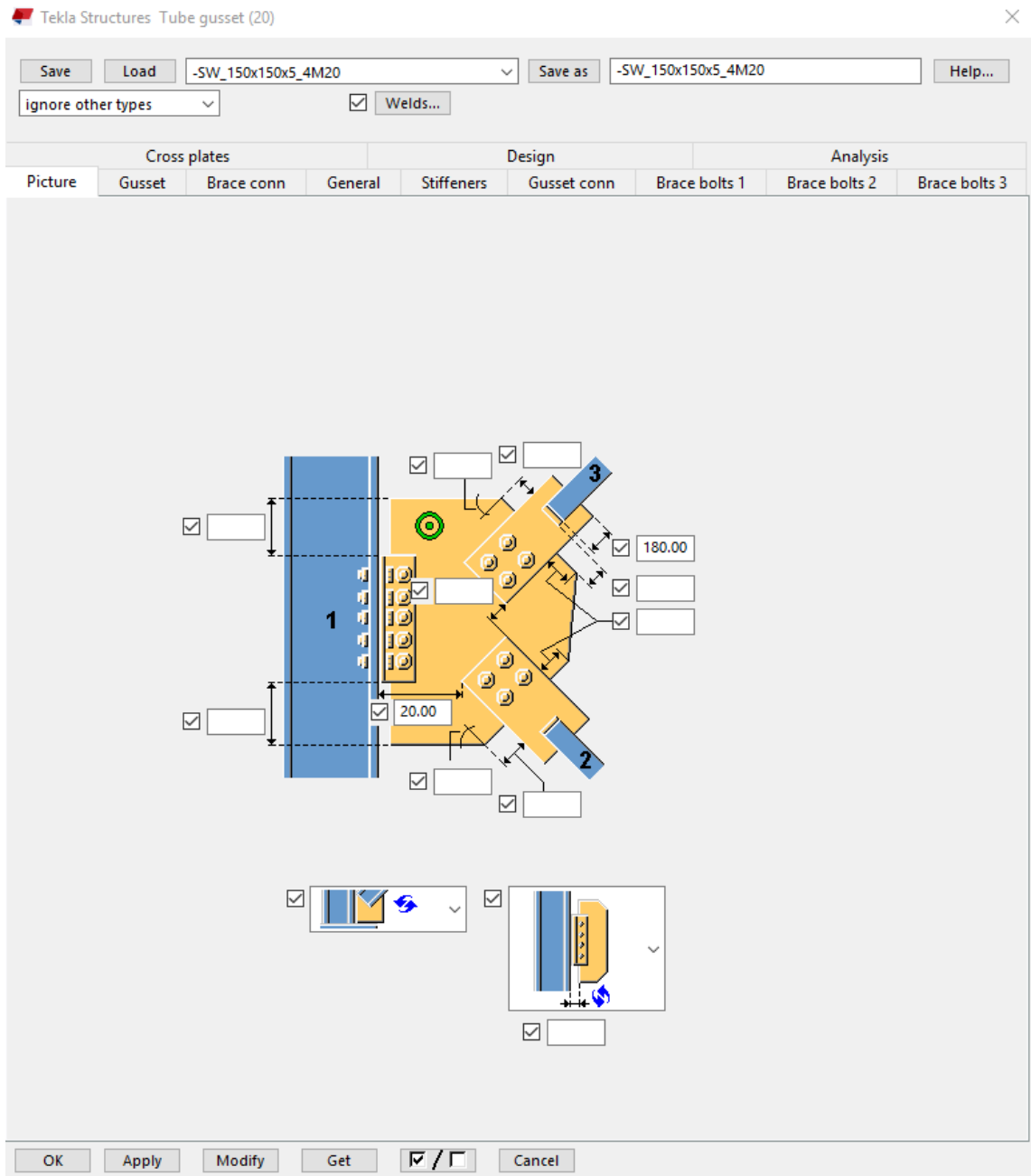
Kun kaikkien liitoksien halutut liitoskoot oli laskettu ja taulukoitu, aloitettiin liitoksien syöttäminen ja mallintaminen Teklaan. Ripalevyliitoksen kaikki liitokset mallinnettiin Shear Plate (103) komponentilla ja molemmat sideliitokset mallinnettiin Tube Gusset (20) komponentilla.



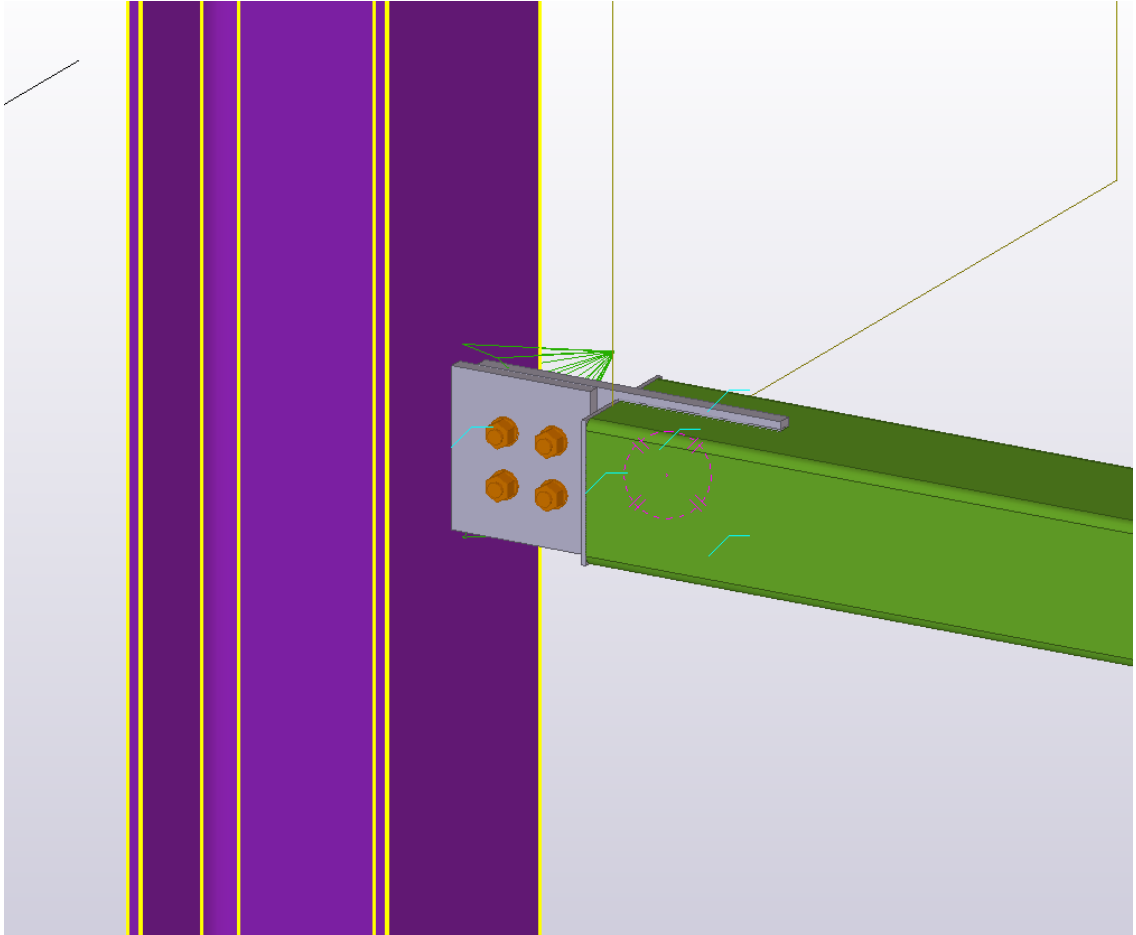
Kuva 25. Shear Plate -komponentti



Kuva 26. Share Plate -komponentilla mallinnettu ripalevyliitos

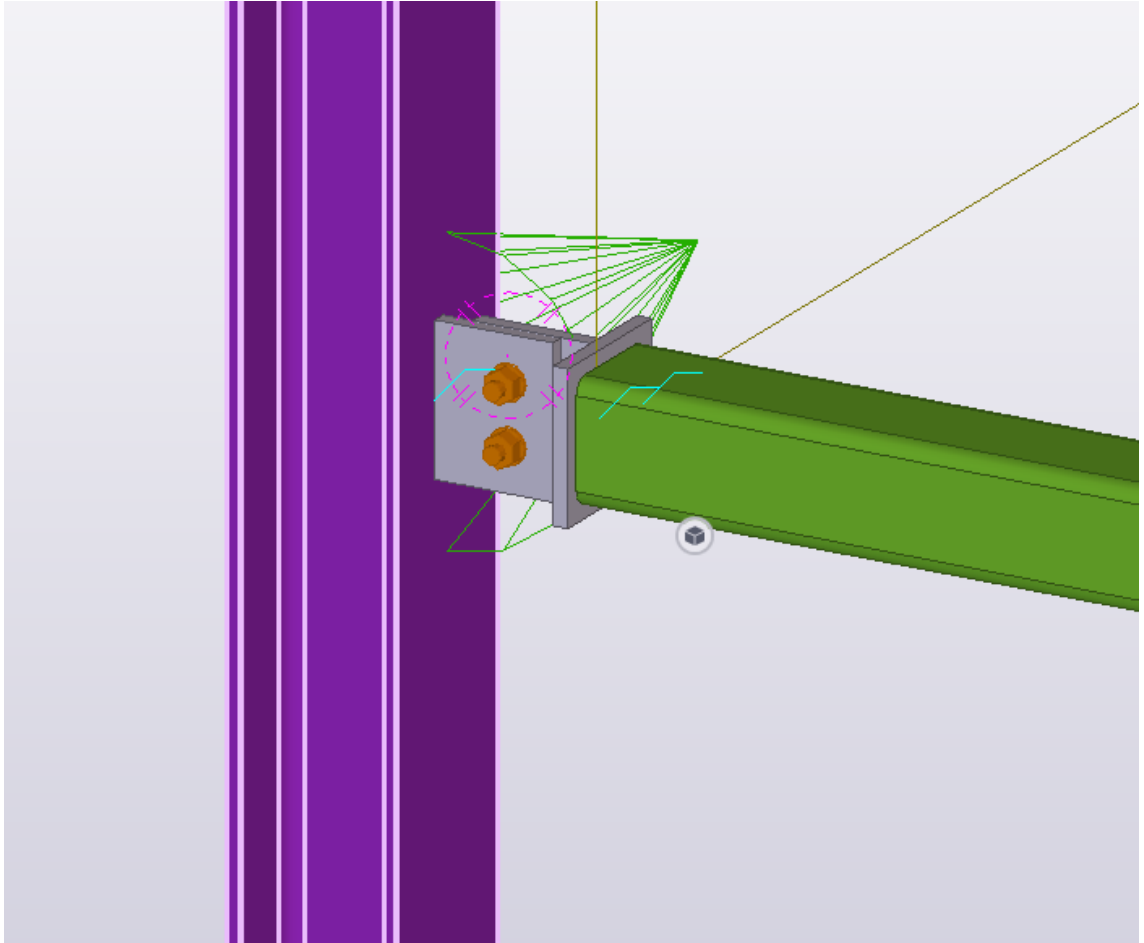


Kuva 27. Tube Gusset -komponentti



Kuva 28. Tube Gusset -komponentilla mallinnettu sideliitos, jossa liitoslevy on lovettu palkkiin

Kun suunnittelija on mitoittanut rakenneosan ja päättänyt, minkälainen liitos rakenteeseen halutaan, niin suunnittelija pystyy alasvetovalikon avulla valitsemaan liitoskirjastosta haluamansa palkkikoon ja pulttimäärän, joka parhaiten sopii rakenteeseen. Valittuaan halutun palkkikoon suunnittelijalle aukeaa valmis liitosmalli, josta suunnittelija voi tarvittaessa muuttaa haluamia komponentteja eri välilehdiltä. Suunnittelijan muuttaessa jotain liitoksen osaa tai kokoa tulee se kuitenkin ottaa myös huomioon laskelmissa, sillä Exceliin taulukoidut kapasiteetit pätevät vain näille esiasetuksille.



Kuva 29. Tube Gusset -komponentilla mallinnettu pätylevylinen sideliitos

Kaiken kaikkiaan kaikista kolmesta liitoksesta tehtiin yhteensä 45 erilaista liitosmallia. Valmiiden liitosmallien ja niistä tehtyjen Excel-taulukoiden avulla suunnittelija pystyy saamaan heti käsityksen liitoksen geometriasta ja kapasiteetista, mikä nopeuttaa ja helpottaa suunnittelua.

6 IDEA StatiCa

IDEA StatiCa on suunnitteluohjelmisto, joka on tarkoitettu rakenteiden suunnitteluun ja liitosten, poikkileikkausten, palkkien ja muiden yksityiskohtien tarkasteluun. IDEA StatiCa on ensimmäinen ohjelmisto maailmassa, jolla voidaan suunnitella ja tarkastaa kaikki teräslitokset. Tarkistus antaa selkeän standardien mukaisen hyväksyty/hylätty -tuloksen kattavassa raportissa sisältäen tarvittavat piirustukset.

Liitosten analysoinnissa käytetään ainutlaatuista elementtimenetelmään perustuvaa CBFEM -metodia. Mallinnus ottaa huomioon kimmoplastisen materiaalimallin liitoksen komponenteille – levyille, elementeille, pulteille ja hitseille. Esijännitetyt pultit ja hitsausten plastinen käyttäytyminen otetaan myös huomioon. IDEA StatiCan teräslitossuunnittelun avulla pystytään liitokselle määrittämään:

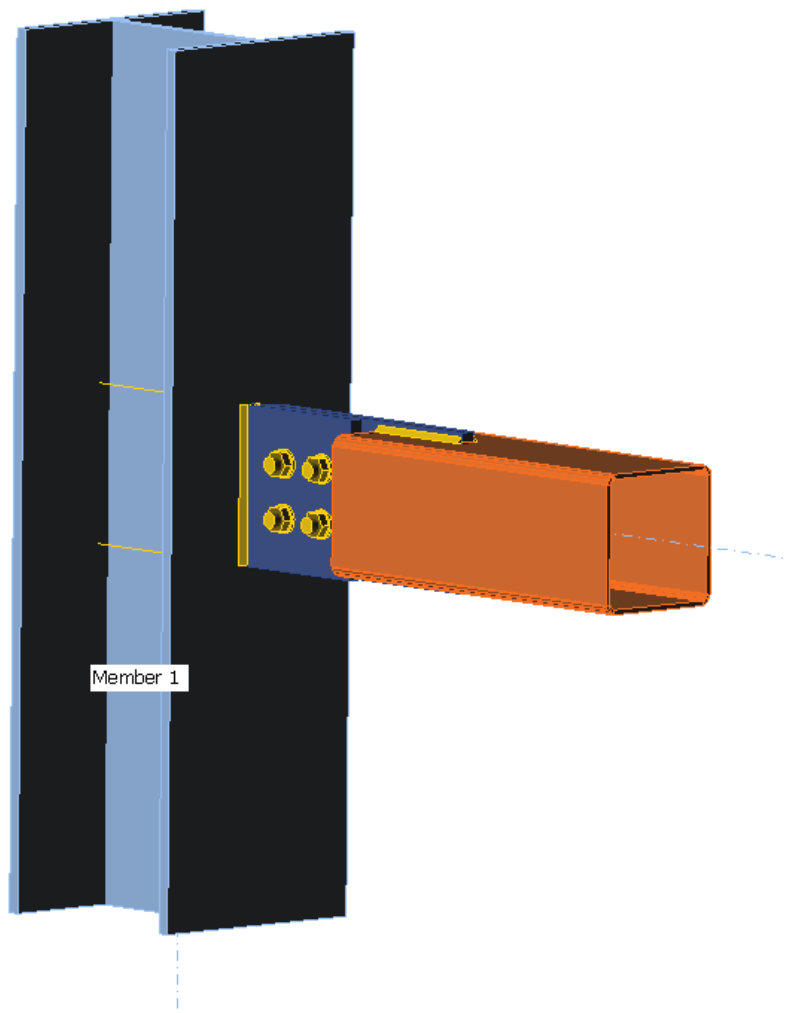
- liitoksen kokonaisvaltainen tarkastelu useiden kansallisten standardien mukaan
- stressi/venymäanalyysi
- jäykkyysanalyysi, josta pystytään määrittämään minkä tahansa liitoksen kierto- tai poikittaisjäykkyys
- liitoksen jäsenten kapasiteetit
- nurjahduksen ja lommahduksen analysointi
- liitoksen kestävyys ja maksimikuormat.

Ohjelmassa on valmiina liitosmallit useimmin käytetyille liitoksille sekä laaja valikoima ennalta määritettyjä kuumavalssattuja ja levyhitsattuja komponentteja. Valmiina olevien liitosmallien lisäksi pystytään ohjelmassa mallintamaan kaikki mahdolliset liitosmallit erikseen. Lisäksi on myös mahdollista käyttää IDEA StatiCan ja Teklan välistä linkkiä, jonka avulla pystytään tuomaan Teklassa mallinnettu liitos suoraan IDEA StatiCaan. Teklan ja IDEA StatiCan välinen linkki toimii hyvin, mutta liitoksen oikeellisuus tulee kuitenkin tarkistaa vielä sen siirtämisen jälkeen. (IDEA StatiCa 2009–2020.)

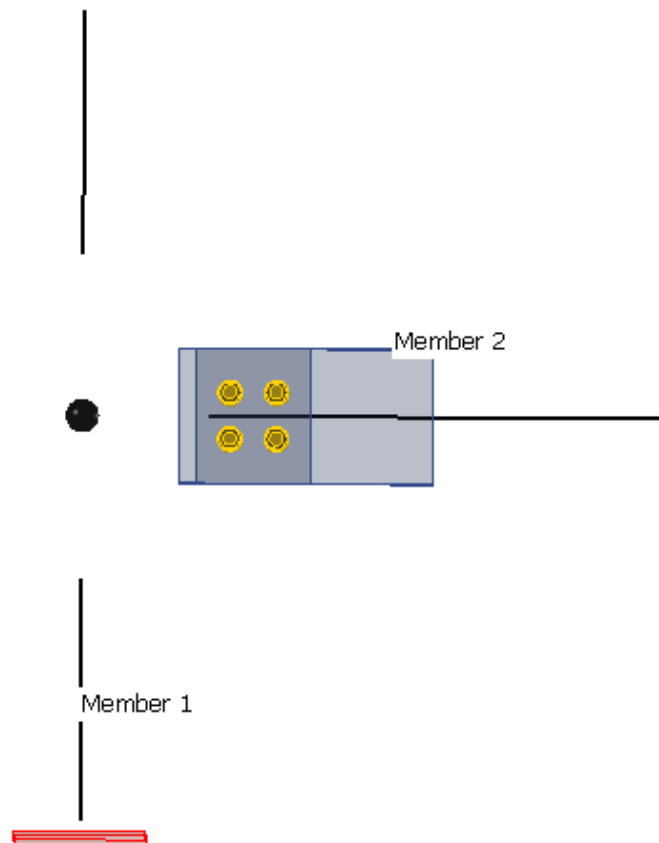
Liitoksen mallintaminen IDEA StatiCaan

Opinnäytetyössä mallinnettiin vielä yksi kolmesta liitoksesta IDEA StatiCa -ohjelmaan, jotta saataisiin vielä syvennettyä liitoksen laskentaa ja huomaamaan mahdollisia eroja liitoksen laskennassa ja käyttäytymisessä. Liitokseksi valittiin side-liitos, jossa liitoslevy on lovetettu palkkiin. Palkkikooksi valittiin 140x140x5 ja liitokseen laitettiin 4 M16 pulttia.

Käyttäen Tekla – IDEA StatiCa -linkkiä liitos mallinnettiin aluksi Teklaan, jonka jälkeen liitosmalli importatiin IDEA StatiCaan, jossa aloitettiin liitoksen tarkastelu. IDEA StatiCaan viety liitosmalli vastaa geometrialtaan täysin Teklassa olevaa liitosmallia.



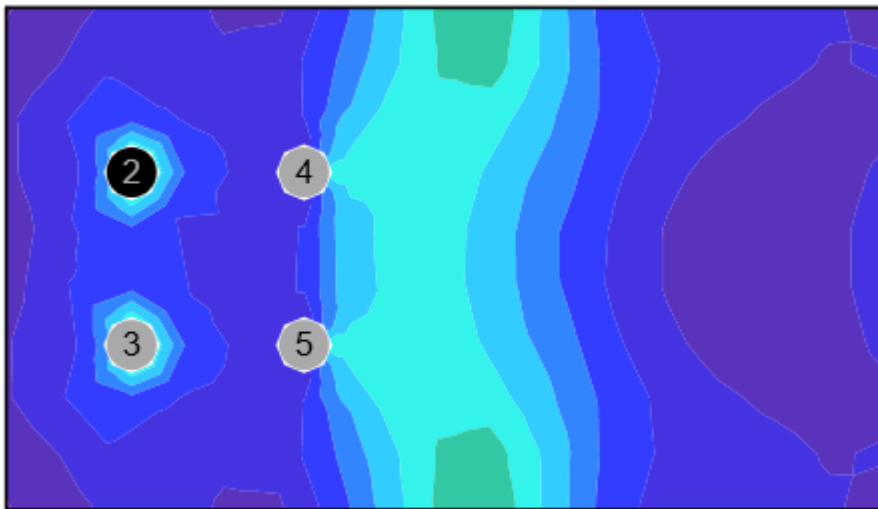
Kuva 30. IDEA StatiCalla mallinnettu sideliitos



Kuva 31. Liitoksen solmupiste

IDEA StatiCassa kestävyysarvot saadaan sallittujen muodonmuutosten perusteella, kun taas SKOL-laskentapohjissa ja omissa käsinlaskennoissa tulokset perustuvat täysin eurokoodimitoitukseen. IDEA StatiCa kuitenkin tarjoaa laskennan jälkeen tulostettavassa raportissa (Liite 7) joitakin eurokoodikaavoin laskettuja arvoja. Vertailussa tulee ottaa huomioon, että SKOL-laskentapohjien eurokoodipohjainen laskenta ottaa huomioon vain liitosalueen laskennan, kun taas FEM ottaa huomioon myös pilarin ja siihen liittyvät osat. Molemmissa tapauksissa liitos laskettiin puristettuna liitoksena, jonka normaalivoimaksi laitettiin aluksi 100 kN. Molemmilla tavoilla laskettaessa liitos voidaan todeta kestävä 100 kN puristavalla voimalla. Mallissa putkelle asetettiin rajoituksia, jossa se sivusuuntainen liike rajoitettiin, jotta saataisiin mahdollisimman todellisuuden mukainen tilanne.

SKOL-laskentapohja antaa mitoittavaksi kapasiteetiksi ruuvien leikkauskestävyyden, joka on suuruudeltaan 60,3 kN/ruuvi, kun taas FEM-laskennan mukaan yhden ruvin leikkauskestävyys on 77,2 kN. Vertailtaessa pultin leikkauskestävyyttä tulee kuitenkin huomata, että SKOL-laskentapohjissa neljän ruvin liitoksessa leikkauskestävyys jaetaan tasaisesti jokaiselle ruuville, kun taas FEM-laskennassa lähempänä pilarin olevilla kahdella pultilla on vähän suurempi käyttöaste kuin kahdella palkin puolen ruuvilla. Käyttöaste muodostuu siis sen ruvin mukaan, johon kohdistuu suurin voima. Tässä tapauksessa mitoittavin ruuvi on B2 (Kuva 33.), ja sen käyttöaste on 32,9 %. SKOL-laskentojen perusteella saadaan ruuvien leikkauskestävyydelle käyttöasteeksi 41 %. Laskennassa johtuva ero johtuu puhtaasti siitä, että IDEA StatiCa ei ymmärrä Teklan pulttistandardeja, joiden mukaan pultit mallinnettiin täysikierteisinä. IDEA StatiCan mallissa pultit laskeaan osakierteisinä, jolloin pultin leikkauspinta-ala on suurempi, mikä johtaa leikkauskestävyyden parantumiseen.



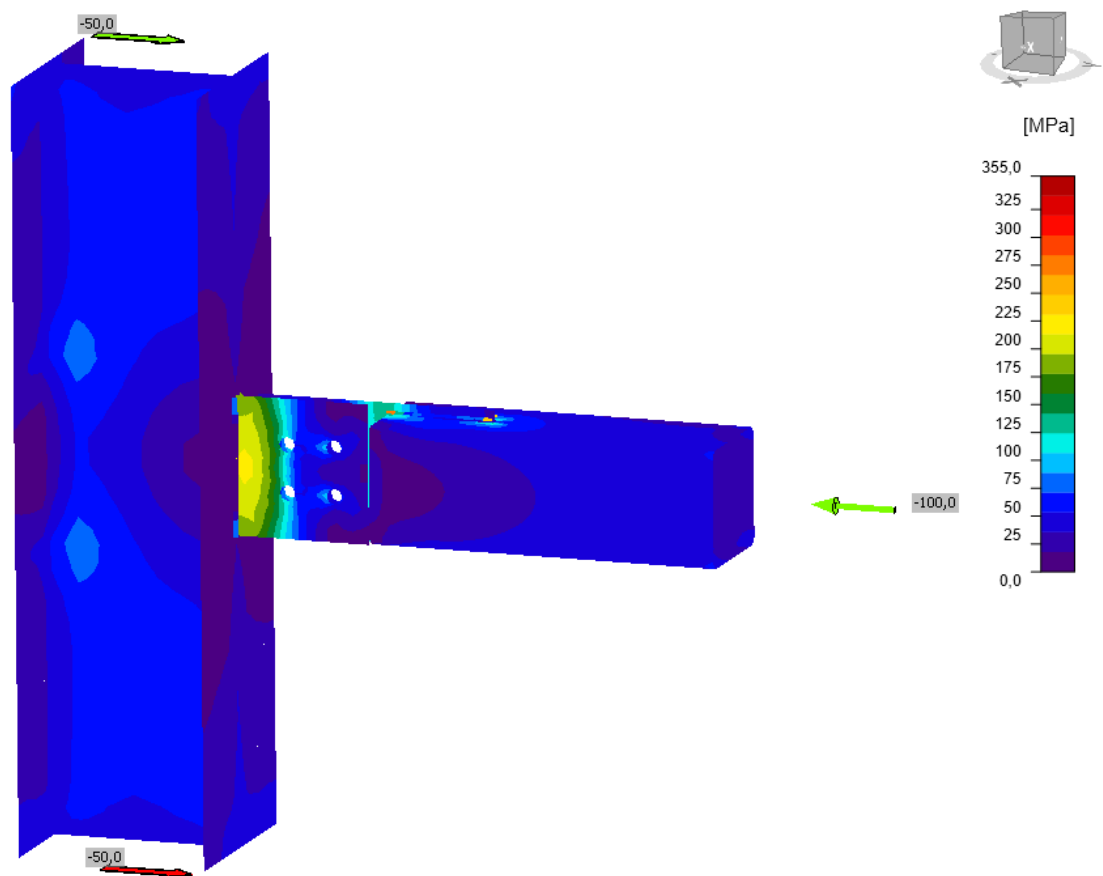
Kuva 33. Liitoslevyn jännitysten jakautuminen

Levyn reunapuristuskestävyys eurokoodilaskennan mukaan on 180,8 kN/ruuvi ja FEM laskennan perusteella reunapuristuskestävyydeksi saadaan 180,8 kN/ruuvi. Reunapuristuksen osalta siis tulokset vastaavat täysin toisiaan.

Palkin ja upotetun liitoslevyn välisessä hitsissä SKOL-laskennan mukaan käyttöasteeksi saatiin 15 % ja IDEA StatiCan raportissa hitsin käyttöaste on 24,7 %.

Kun hitsin laskentaa tarkasteltiin syvemmin IDEA StatiCassa, huomattiin, että kaikkien liitoksen osien ollessa lujuudeltaan S355 terästä, laskenta käyttää kuitenkin materiaalin murtolujuuden arvona 490 N/mm², kun taas omissa eurokoodiin pohjautuvissa laskuissa vastaavana arvona ohjeistetaan käyttämään 510 N/mm².

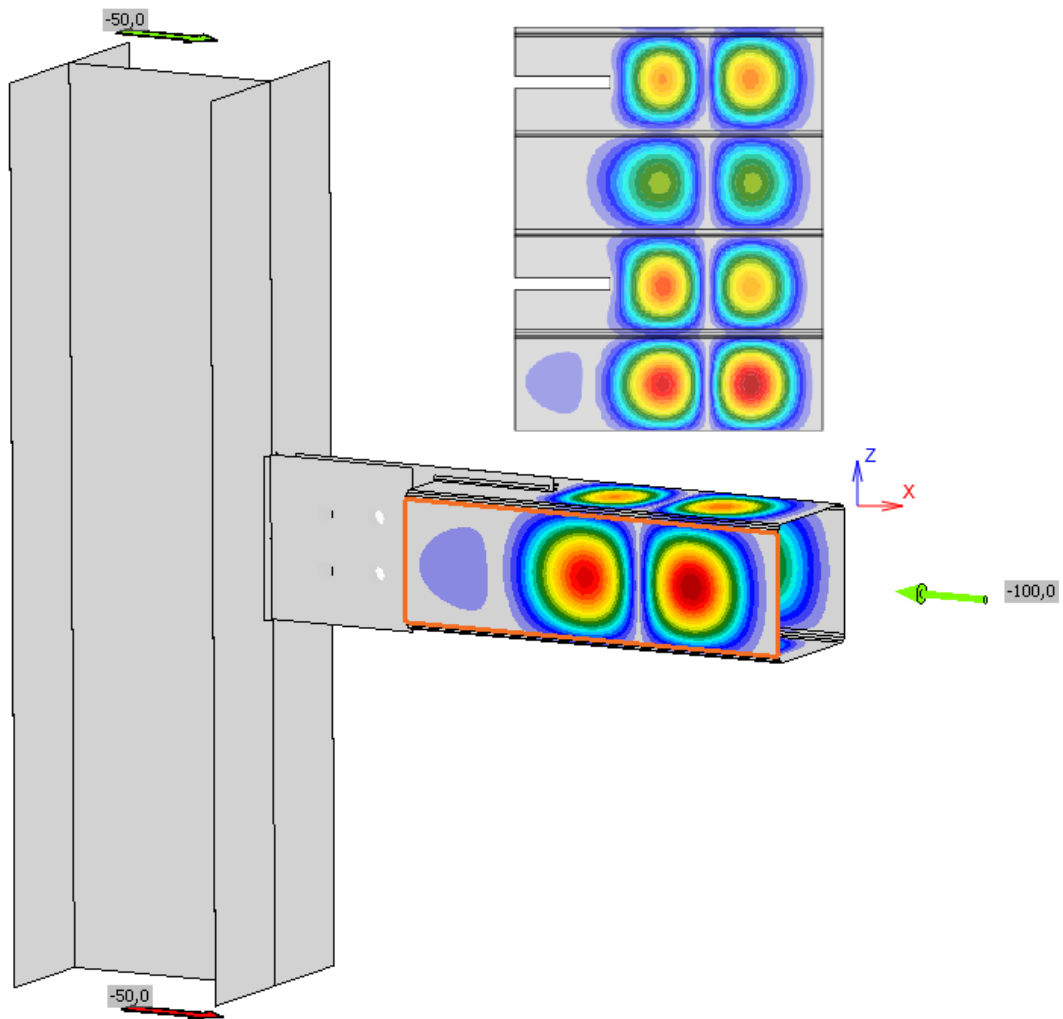
Raportin tuloksien lisäksi on hyvä hyödyntää myös graafisia tarkasteluja, kuten kuvassa 34. pystytään helposti havainnoimaan normaalivoiman aiheuttamat liitokseen muodostuvat jännitykset.



Kuva 34. 100 kN puristavalla voimalla tapahtuva jännitysten jakautuminen

Levyjen kestävyys IDEA StatiCassa määritellään sallitun plastisen muodonmuutoksen perusteella, jonka raja-arvona käytetään 5 %. 100 kN voimalla muodonmuutos on suuruudeltaan 0 %, joka tarkoittaa, että levyille ei pääse tapahtumaan yhtään plastista muodonmuutosta. Tässä tapauksessa kimmoteorian mukaisessa analyysissä lommahdukselle raja-arvoksi annetaan 10. Laskennan

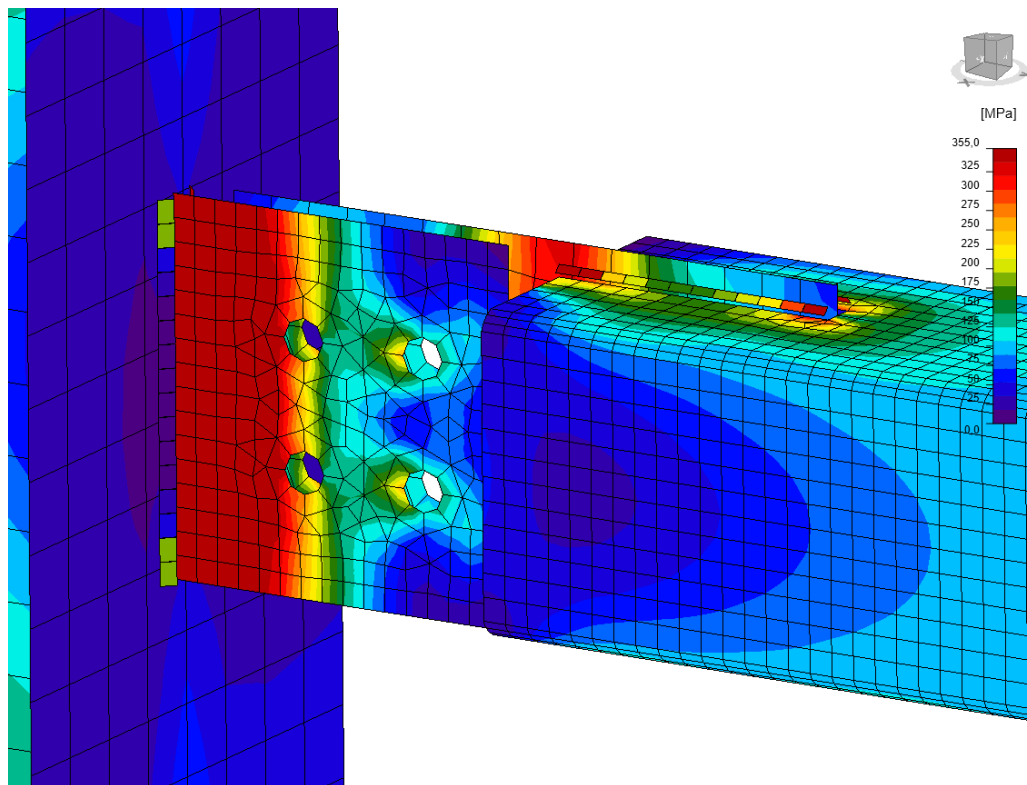
lopputuloksena saadaan lommahduksen arvoksi 29,91, jolloin liitos ja rakenne-osa eivät pääse lommahtamaan.



Kuva 35. 100 kN voimalla liitoksessa tapahtuva lommahdus

SKOL-laskentapohja antaa liitokselle mitoittavaksi kapasiteetiksi ruuviryhmän leikkauskestävyyden 241,2 kN. Seuraavaksi muutetaan IDEA StatiCan mallia siten, että puristavaksi voimaksi laitetaan SKOL-laskentapohjan antama mitoittava kapasiteetti.

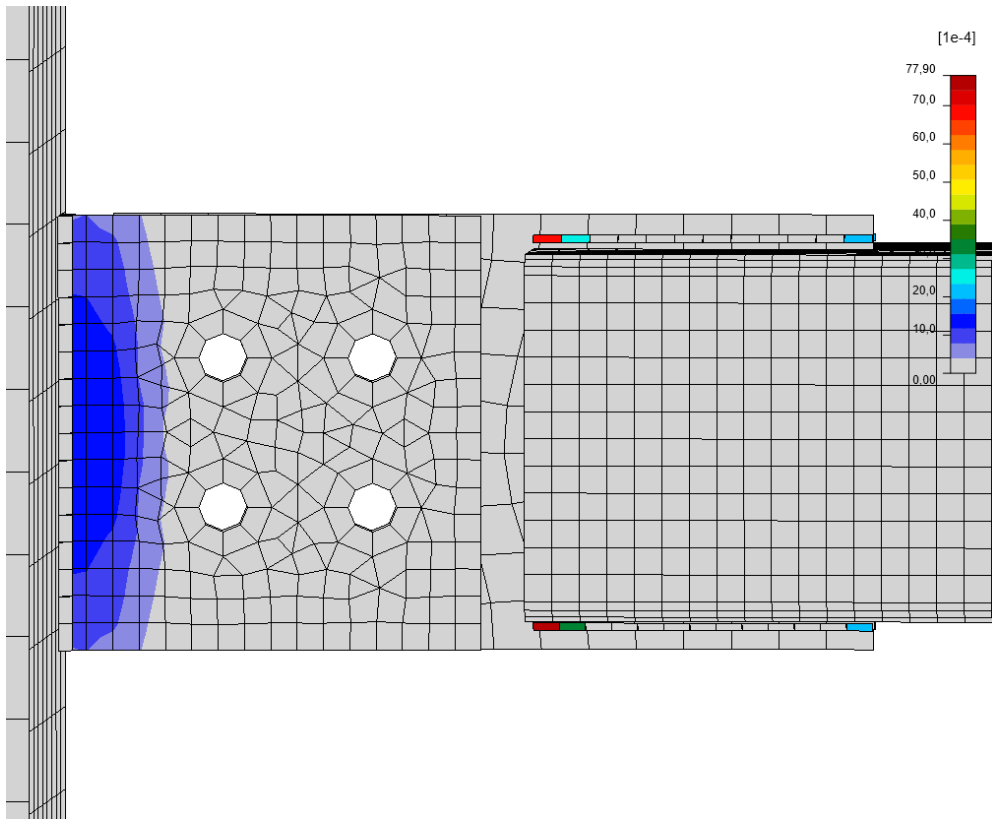
Lisättäessä 241,2 kN kuormitus on ruuvien leikkauskestävyys SKOL-pohjan mukaan 100 %, kun taas IDEA StatiCan mukaan käyttöasteeksi saadaan 79,3 %. Kuvassa 36. nähdään suuremmalla kuormalla muodostuva jännitysten jakautuminen liitoksessa, jota voidaan verrata kuvaan 34 jännitys jakaumaan pienemmän kuorman vaikuttaessa.



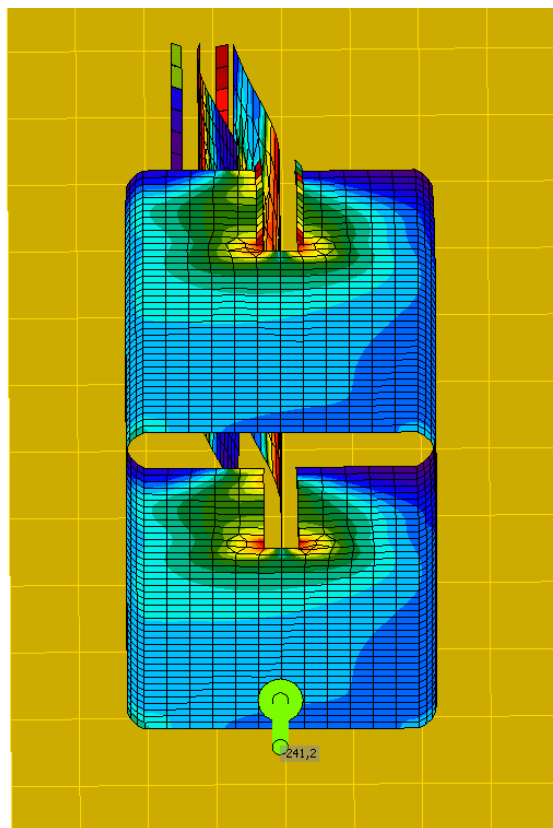
Kuva 36. Jännitysten jakautuminen

Levyn plastinen muodonmuutos nousee 0,2 %, raja arvon ollessa 5 %. Kuvassa 37 nähdään levyn plastinen muodonmuutos graafisesti esitettyinä.

Vertailtaessa SKOL- ja FEM-laskentaa tulee siis huomata, että SKOL-laskenta ei ota huomioon laskennassa, mihin palkki ja liitos liittyy. Laskentapohjasta saatua mitoittavaa kapasiteettia ei mielestäni voi sokeasti käyttää, sillä siinä ei oteta kantaa muun muassa pilarin ja liitoslevyn väliseen hitsiin. Kuvasta 38 nähdään mitä rakenteelle tulee teoriassa tapahtumaan, kun kuormitusta lisätään. Kun muodonmuutoksessa pysytään 5 % alapuolella niin käyttöaste on alle 100 %, jonka mukaan eurokoodissa pyritään mitoittamaan ja pysytään kimmoisella alueella. Jos muodonmuutos menee yli 5 % ja käyttöaste nousee yli 100 %, alkaa rakenne plastisoitumaan.



Kuva 37. Plastinen muodonmuutos



Kuva 38. Liitoksessa tapahtuva siirtymä

Kuvassa 38. pystytään havainnoimaan liitoksessa tapahtuva muodonmuutos. Kuvassa näkyvän muodonmuutos ei vastaa suuruudeltaan todellisuudessa tapahtuvan muodonmuutoksen suuruutta, sillä havainnollistamisen helpottamiseksi muodonmuutoksen suuruutta on skaalattu kymmenkertaiseksi. Suuremman kuorman vaikuttaessa lommahduksen arvo putoaa 12,4:ään, raja-arvon ollessa 10.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda Tekla Structures -ohjelmaan teräsrakenteiden liitosmitoitusta ja mallintamista helpottava liitoskirjasto. Liitoskirjaston tuuksi tehtiin kaikista liitoskirjastoon halutuista liitoksista excel taulukointi, johon koottiin liitoksien mitoittavat kapasiteetit, ruuvien koot ja määrät sekä hitsin koko. Liitoskirjasto tehtiin sovellettavaksi kolmeen teräsrakenteiden perusliitokseen, ripalevyliitokseen, päätylevylliseen sideliitokseen ja sideliitokseen, jossa liitoslevy on lovettu palkkiin. Liitoskirjastoon valittiin kattavasti kaikki yleisimmin käytetyt profiilikoot. Kaikki liitokset laskettiin myös käsin, jotta sain kattavasti ymmärryksen kaikista liitoksen komponenteista ja niihin vaikuttavista ilmiöistä.

Opinnäytetyön lopputuloksena valmistunut liitoskirjasto ja liitoksien valmiit taulukoidut kapasiteetit nopeuttavat ja helpottavat suunnittelijan ja mallintajan työtä. Niiden avulla saadaan nopeasti käsitys liitoksen kestävydestä ja valmiista liitoskomponentista pystytään tarvittaessa vaivattomasti muokkaamaan liitoksen komponentteja.

Lisäksi opinnäytetyössä tutkittiin myös IDEA StatiCan mahdollisia laskennallisia eroja normaaliin eurokoodin mukaiseen mitoitukseen verrattuna. IDEA StatiCan avulla saatiin myös syvennettyä liitoksen tutkimista, laskentaa ja omaa oppimista liitoksen toiminnasta ja mitoituksesta.

Opinnäytetyössä tuotettu liitoskirjasto ja excel -taulukointi tehtiin työn tilaajana toimineelle Sitowise Oy:lle.

8 Pohdinta

Opinnäytetyössä käsiteltiin mallintamisen merkitystä ja sen käyttöä nykypäivän rakentamisessa ja suunnittelussa. Mallintamisen kehittyessä pystytään sitä hyödyntämään jatkuvasti laajemmin rakentamisessa. Mielestäni mallintamisen ja varsinkin nykypäivänä käytettävän 3D-mallintamisen käyttäminen suunnittelussa on jo nykyisellä tasollaankin todella hyvä asia, sillä sen avulla pystytään jo suunnitteluvaiheessa huomioimaan monia asioita, joita ei 2D-mallinnuksen avulla pystytä huomioimaan. Ohjelmistojen käyttö vaatii kuitenkin tietoteknistä osaamista ja kokemusta suunnittelusta, mutta mallintamisen hallittaessa hyvällä tasolla se antaa mielestäni suunnittelijalle kattavamman ja mielenkiintoisemman suunnittelupohjan kuin perinteinen 2D-mallintaminen tai käsin piirtäminen.

Opinnäytetyön päämääränä oli syventyä teräsrakenteiden liitosmitoitukseen ja sen pohjalta tehdä Tekla Structures -ohjelmistoon liitoskirjasto, johon koottiin kattavasti kolmen teräsrakenteiden perusliitoksen yleisimmät koot. Liitoksia laskettaessa päästiin tutustumaan liitoksen parametreihin ja voiman vaikuttaessa liitokseen muodostuviin ilmiöihin. Liitoksen mitoittavasta kapasiteetista riippuen pystytään liitoksen komponentteja muuttamalla vaikuttamaan liitoksen kestävyys-teen. Esimerkkinä useassa liitoskirjastoon tulleessa liitoksessa mitoittavana kapasiteettina oli joko ruuviryhmän leikkauskestävyys tai hitsin kestävyys, joiden kapasiteettia pystytään parantamaan valitsemalla suurempi pultti (ottaen huomioon kuitenkin reunaetäisyydet) tai lisäämällä hitsin a-mittaa. Liitoksia laskiessa ja taulukoidessa saatiin kattava käsitys liitoksien mitoituksesta ja käyttäytymisestä.

Liitosten laskenta ja niiden taulukointi Exceliin vaati melko paljon aikaa, sillä jokaisen liitoksen mitoittavat kapasiteetit, pulttien määrät ja koot sekä hitsien koot ja kestävyudet haluttiin näkyvän taulukossa. Taulukoiden tarkoituksena on toimia liitoskirjaston tukena, jotta suunnittelija saa suoraan taulukosta katsomalla käsityksen halutun liitoksen kapasiteetista, jonka jälkeen suunnittelija voi tarvittaessa muuttaa liitoksen kaikkia komponentteja parantaakseen haluttua kapasiteettia. Teklan liitoskomponentteihin tutustuttua liitosten mallintaminen Teklaan

ei vinyt paljon aikaa, sillä kaikki tarvittavat tiedot löytyivät Excel-taulukoista. Liitoskirjasto on myös tulevaisuudessa mahdollista laajentaa useammalle liitosvaihtoehdolle. Mielestäni opinnäytetyön lopputuloksena valmistunut liitoskirjasto ja taulukot palvelevat suunnittelijaa sen halutulla tavalla sekä selkeyttää suunnittelijan työtä.

Opinnäytetyön lopuksi yksi liitoksista mallinnettiin IDEA StatiCa-ohjelmaan, jonka tarkoituksena syventää liitoksen laskentaa ja toimia vertailulaskelmana eurokoodimitoituksen ja FEM-laskennan välillä. Vertailulaskelma IDEA StatiCalla auttoi syventämään liitoksen laskentaa ja liitoksessa muodostuvia ilmiöitä. Suurimpana etuna varsinkin itselleni vertailulaskelmassa saatiin graafisella tarkastelulla, jonka avulla pystyi helposti havainnoimaan liitoksen jännityksiä ja muodonmuutoksia. Uskon että IDEA StatiCan käyttö tulee tulevaisuudessa lisääntymään varsinkin liitoslaskennan osalta, mutta se vaatisi ohjelman parempaa ja kattavampaa osaamista ennen kuin siitä saataisiin riittävästi hyötyä. Toistaiseksi IDEA StatiCan käyttö normaalin eurokoodipohjaisen laskennan tukena on varsinkin kokemattomammalle suunnittelijalle hyvä työkalu liitoksen säistämiseksi.

Lähteet

Tekla 2019. Edistyksellinen BIM-ohjelmisto rakennesuunnittelun työnkulkuun. <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>. Luettu 20.1.2020.

Ville Leikas. Pilarin jatkosliitoksen mitoitus ja mallintaminen. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26168/Leikas_Ville.pdf?sequence=1&zsAllowed=y. Luettu 1.2.2020.

M. Murphy, E Mcgovern & S. Pavia. Historic building information modelling - adding intelligence to laser and image based surveys. <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatialinf-sci.net/XXXVIII-5-W16/1/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-1-2011.pdf> Luettu 1.2.2020.

Eastman, Teicholz, Sack & Liston. 2011. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling of owners, Managers, Designers and Contractors. Luettu 22.2.2020

SFS EN 1993-1-8. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelz. Luettu 20.2.2020.

SFS EN 1993-1-1. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu: Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Luettu 20.2.2020.

SFS EN 1993-1-5. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Tasomaiset levyrakenteet. Luettu 20.2.2020.

SFS EN 1993-1-10. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet. Luettu 27.2.2020.

IDEA StatiCa 2009-2020. Steel connection design – reinvented. <https://www.ideastatica.com/steel/>. Luettu 8.4.2020

SBR digitalization LLC. BIM Modeling services. <https://sbr3d.com/en/our-services/bim-modeling-services>. Luettu 25.02.2020

Tekla 2014. PuuMERA Kivistö. <https://www.tekla.com/fi/bim-awards-2014/bim-model8-en.html>. Luettu 27.02.2020.

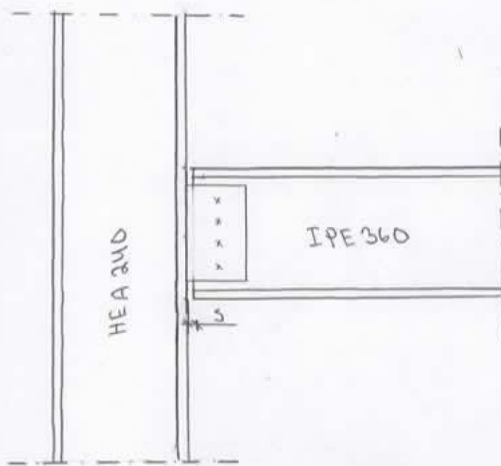
Tekla 2019. Components. https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/det_getting_started_overview. Luettu 27.02.2020.

Stories about buildings 2014. <https://storiesaboutbuildings.wordpress.com/2014/12/18/consteel-and-tekla-the-holy-grail-of-steel-constructions/>. Luettu 27.02.2020.

Liitteet

Liite 1 Ripalevyyliitoksen käsinlaskenta

Ripalevyyliitoksen mitoitus



Lähtötiedot:

- levy $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Palkki $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- 4 kpl 6.8 M20 osaliert. ruuvi
- liitoslevypaksuus 10 mm
- hitsin a-mitta 3 mm
- $s = 15 \text{ mm}$
- $d_0 = 20 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$
(ruuvin reikä)

Reunaetäisyyksien minimiarvot

$$\text{Päätyetäisyys } e_1 = 1,2 \times 22 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm}$$

$$\text{Reunaetäisyys } e_2 = 1,2 \times 22 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm} = e_3$$

$$\text{Keskiväli } p_1 = 2,2 \times 22 \text{ mm} = 48,4 \text{ mm} \rightarrow 70 \text{ mm}$$

Palkin uuman leikkauskapasiteetti

$$A = 7276 \text{ mm}^2 \quad \gamma_{m0} = 1,0$$

$$A_v = 7276 \text{ mm}^2 - 2 \times 170 \text{ mm} \times 12,7 \text{ mm} - (8 \text{ mm} + 2 \times 18 \text{ mm}) \times 12,7 \text{ mm} \\ = 3516,8 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl, Rd} = 3516,8 \text{ mm}^2 \times \frac{355 \text{ N/mm}^2 / \sqrt{3}}{1,0} = 720801 \text{ N} \\ = 720,8 \text{ kN}$$

Leikkauksen kapasiteetti raikien kohdalla

$$A_{I, v, \text{net}} = 3516,8 \text{ mm} - 8 \text{ mm} \times U_{kp1} \times 22 \text{ mm} = 2912,8 \text{ mm}^2$$

$$V_{I, \text{net}, \text{pl}, \text{ed}} = 2912,8 \text{ mm}^2 \times \frac{(355 \text{ N/mm}^2 / \sqrt{3})}{1,00} = 576510 \text{ N}$$
$$= 576,5 \text{ kN}$$

Palkin pään palamurtumiskestävyys

$$l = (U_{kp1} - 1) \times 70 \text{ mm} + 2 \times 30 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

$$b_1 = 30 \text{ mm} + 30 \text{ mm} + 15 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$$

$$A_{\text{nt}} = 8 \text{ mm} \times (30 \text{ mm} - 0,5 \times 22 \text{ mm}) = 152 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{nv}} = 8 \text{ mm} \times ((U_{kp1} - 1) \times 70 \text{ mm} + (60,7 \text{ mm} - 12,7 \text{ mm}) - (U_{kp1} - 0,5)) \times 22 \text{ mm} + (0,5 \times 8 \text{ mm} + 18 \text{ mm}) \times 12,7 \text{ mm} = 1727,4 \text{ mm}^2$$

$$h_1 = 12,7 \text{ mm} + 18 \text{ mm} = 30,7 \text{ mm}$$

$$a_1 = 30 \text{ mm} + 30,7 \text{ mm} = 60,7 \text{ mm}$$

$$V_{\text{ess}, \text{ed}} = 0,5 \times 510 \text{ N/mm}^2 \times \frac{152 \text{ mm}^2}{1,25} + \frac{(355 \text{ N/mm}^2 / \sqrt{3}) \times 1727,4 \text{ mm}^2}{1,00}$$

$$= 385655 \text{ N}$$

$$= 385,1 \text{ kN}$$

Pallin uuman osunapuristuskestävyys

$$k_f = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,4 \times \frac{30 \text{ mm}}{22 \text{ mm}} - 1,7 \text{ mm} = 2,12 \\ 1,4 \times \frac{0 \text{ mm}}{22 \text{ mm}} - 1,7 \text{ mm} = -1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{30 \text{ mm}}{3 \times 22 \text{ mm}} = 0,45 \\ \frac{70 \text{ mm}}{3 \times 22 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0,81 \\ \frac{800 \text{ N/mm}^2}{510 \text{ N/mm}^2} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$F_{wb,ed} = \frac{2,12 + 0,45 \times 510 \text{ N/mm}^2 \times 20 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}}{1,25} = 62277,1 \text{ N} \\ = 62,3 \text{ kN}$$

$$V_{wb,ed} \geq \frac{62277,1 \text{ N}}{\sqrt{\frac{24500 \text{ mm}^2 + 45 \text{ mm} \times 0 + 1kpl \times 1kpl}{24500 \text{ mm}^2 \times 1kpl \times 1kpl}} + \left(\frac{45 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}}{24500 \text{ mm}^2} \right)^2} \\ = 107240 \text{ N} \\ = 107,2 \text{ kN}$$

levyn leikkauskestävyys reilien kohdalla

$$A_{v, \text{net}} = (270 \text{ mm} - 4k_p) \times 22 \text{ mm} = 1820 \text{ mm}^2$$

$$V_{k, \text{pl}, \text{rd}} = \frac{1820 \text{ mm}^2 \times (355 \text{ N/mm}^2 / \sqrt{3})}{1,00} = 373026 \text{ N}$$
$$= 373 \text{ kN}$$

lommahduksen estämiseksi ripilevyn paksuuden minimiarvo tarkistetaan seuraavasti:

$$t_{\text{min}, 1} \geq \frac{45 \text{ mm} / 0,673}{28,4 \times 0,91 \times \sqrt{4}} = 1,145$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ N/mm}^2}{355 \text{ N/mm}^2}} = 0,81$$

$$k_{\sigma} = 1$$

$$t_{\text{min}, 2} \geq \frac{45,4 \text{ mm}}{9 \times 0,81} = 6,6 \text{ mm}$$

$$\bar{b} = 15 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 45 \text{ mm}$$

$$t_{\text{max}} \leq 1,5 \times 20 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$t_{\text{min}} = \max(t_{\text{min}, 1}; t_{\text{min}, 2})$$

$$\rightarrow 6,6 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{45 \text{ mm} / 10 \text{ mm}}{28,4 \times 0,81 \times \sqrt{4}} = 0,89 \leq 0,673 \rightarrow \text{OK?}$$

levyn palamur-tuomisestävyys

$$A_{nt} = 10 \text{ mm} \cdot (30 \text{ mm} + (0,5 \cdot 22 \text{ mm})) = 190 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 10 \text{ mm} \cdot (44 \text{ mm} - 1) \cdot 70 \text{ mm} - (44 \text{ mm} - 0,5) \cdot 22 \text{ mm} + 30 \text{ mm} \\ = 1630 \text{ mm}^2$$

$$Vess, \alpha_d = 0,5 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 = \frac{190 \text{ mm}^2}{1,25} + \frac{355 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1630 \text{ mm}^2}{1,0}$$

$$= 372804 \text{ N}$$

$$= 372,8 \text{ kN}$$

levyn reunapuristuskestävyys

$$k_f = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,6 \cdot \frac{30 \text{ mm}}{22 \text{ mm}} - 1,7 = 2,11 \\ 1,4 \cdot \frac{70 \text{ mm}}{22 \text{ mm}} - 1,7 = 2,75 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{30 \text{ mm}}{3 \cdot 22 \text{ mm}} = 0,45 \\ \frac{70 \text{ mm}}{3 \cdot 22 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0,61 \\ \frac{600 \text{ N/mm}^2}{510 \text{ N/mm}^2} = 1,17 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$F_{k,ed} = \frac{2,11 \times 0,45 \times 510 \text{ N/mm}^2 \times 20 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}}{1,25} = 77479,2 \text{ N}$$

$$= 77,5 \text{ kN}$$

$$V_{k,ed} = \frac{77479,2 \text{ N}}{\sqrt{\left(\frac{24500 \text{ mm}^2 + 45 \text{ mm} \times 0 \times 1 \text{ kpl} + 4 \text{ kpl}}{24500 \text{ mm}^2 + 1 \text{ kpl} + 4 \text{ kpl}} \right)^2 + \left(\frac{45 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}}{24500 \text{ mm}^2} \right)^2}}$$

$$= 245387 \text{ N}$$

$$= 245,4 \text{ kN}$$

Hitsin kestävyyskapasiteetti

$$z = \frac{2}{3} \times 270 \text{ mm} = 180 \text{ mm} \quad \beta_w = 0,9$$

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$b_{ess} = \frac{1}{3} \times 270 \text{ mm} = 90 \text{ mm}$$

$$\sigma_{verk} = \frac{510 \text{ N/mm}^2}{0,9 \times 1,25} = 453,3 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{\perp} = 0,9 \times \frac{510 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 367,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{w,ed} = 453,3 \text{ N/mm}^2 \times \frac{4 \times 3 \text{ mm} \times 270 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}}{\sqrt{16 \times (45 \text{ mm})^2 + 12 \times (90 \text{ mm})^2}} = 361567 \text{ N}$$

$$= 361,6 \text{ kN}$$

$$N_m = 361567 \text{ N} \times \frac{45 \text{ mm}}{180 \text{ mm}} = 90391,7 \text{ N}$$

$$= 90,4 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} = \frac{361567 \text{ N}}{2 \times 3 \text{ mm} \times 270 \text{ mm}} = 223,2 \text{ N/mm}^2$$

Ruuvien leikkauskapasiteetin resultantivoimalle

$$F_{v,rd} = \frac{(0,6 \times 300 \text{ N/mm}^2 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2)}{1,25} = 120\,637 \text{ N}$$
$$= 120,6 \text{ kN}$$

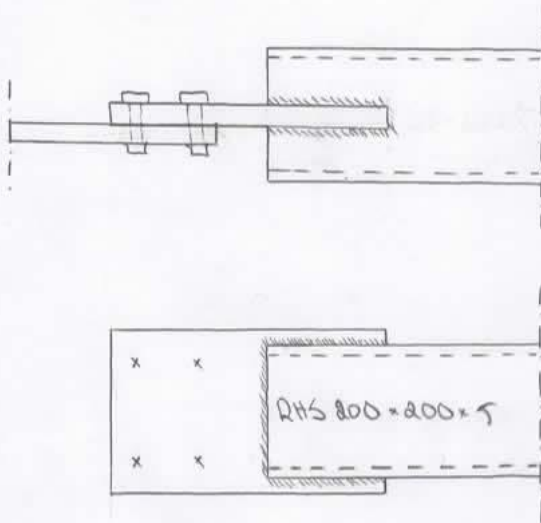
$$V_{v,rd} = \frac{120\,637 \text{ N}}{\sqrt{\left(\frac{24\,560 \text{ mm}^2 + 45 \text{ mm} \times 0 \times 1 \text{ kpl} + 4 \text{ kpl}}{24\,500 \text{ mm}^2 + 1 \text{ kpl} + 4 \text{ kpl}} \right)^2 + \left(\frac{45 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}}{24\,500 \text{ mm}^2} \right)^2}}$$

$$= 382\,073 \text{ N}$$

$$= 382,1 \text{ kN}$$

Liite 2 Lovetulla päätylevyllä olevan sideliitoksen käsinlaskenta

Sideliitos, upotettu liitoslevy



Lähtöedot:

- levyt $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Palkki $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Ulopt. 8.8 M20 osaliitosruuvi
- liitoslevyn paksuus 25mm
- Hitsin a-mitta 3mm

Reunaetäisyyksien minimiarvot

$$\text{Päätyetäisyys } e_1 = 1,2 \times 22 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm} \rightarrow 35 \text{ mm}$$

$$\text{Reunaetäisyys } e_2 = 1,2 \times 22 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm} \rightarrow 35 \text{ mm}$$

$$\text{Keskiväli } p_1 = 2,2 \times 22 \text{ mm} = 48,4 \text{ mm} \rightarrow 60 \text{ mm}$$

$$\text{Keskiväli } p_2 = 220 \text{ mm} - (2 \times 35 \text{ mm}) = 150 \text{ mm}$$

Ruuvien kiikkaukestävyys

$L_j = 60 \text{ mm}$ (äärimmäisten liittimien keskien välinen etäisyys)

$$\beta_{Lj} = 1 - (60 \text{ mm} - 15 \times 20 \text{ mm}) / (200 \times 20 \text{ mm}) = 1,06$$

$$0,75 \leq \beta_{Lj} \leq 1,0 \rightarrow \beta_{Lj} = 1,0$$

$$A = n \times (10 \text{ mm})^2 = 314,2 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,ed} = \frac{0,6 \times 800 \text{ N/mm}^2 \times 314,2 \text{ mm}^2 \times 1,0}{1,25} = 120653 \text{ N}$$

$$= 120,7 \text{ kN/ruuvi}$$

$$\text{Yht. } 4 \times 120,7 \text{ kN} = 482,8 \text{ kN}$$

Reunapuristuskestävyys

Reunarivin, reunasarakkeen ruuvit

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \left(\frac{35 \text{ mm}}{22 \text{ mm}} \right) - 1,7 = 2,75 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{35 \text{ mm}}{3 \times 22 \text{ mm}} = 0,53 \\ \frac{800 \text{ N/mm}^2}{510 \text{ N/mm}^2} = 1,56 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \times 0,53 \times 510 \text{ N/mm}^2 \times 20 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}}{1,25} = 270300 \text{ N} \\ = 270,3 \text{ kN}$$

Reunarivin, muun sarakkeen ruuvit

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{60 \text{ mm}}{3 \times 22 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0,66 \\ \frac{800 \text{ N/mm}^2}{510 \text{ N/mm}^2} = 1,56 \\ 1 \end{array} \right.$$

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \times 0,66 \times 510 \text{ N/mm}^2 \times 20 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}}{1,25} = 336600 \text{ N} \\ = 336,6 \text{ kN}$$

Palamurtuminen

Murtumistapa 1

$$A_{nt} = (220 \text{ mm} - 2 \cdot 41 \cdot 22 \text{ mm}) \cdot 25 \text{ mm} = 4400 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 0$$

$$\begin{aligned} V_{ess,1,ad} &= \frac{510 \text{ N/mm}^2 \cdot 4400 \text{ mm}^2}{1,25} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot 355 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{0}{1} \\ &= 1795200 \text{ N} \\ &= 1795,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Murtumistapa 2

$$A_{nt} = (2 \cdot 41 - 1) \cdot (150 \text{ mm} - 22 \text{ mm}) \cdot 25 \text{ mm} = 3200 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= 2 \cdot \left(\left(35 \text{ mm} - \frac{22 \text{ mm}}{2} \right) \cdot (2 \cdot 41 - 1) \cdot (60 \text{ mm} - 22 \text{ mm}) \right) \cdot 25 \text{ mm} \\ &= 3100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ess,2,ad} &= \frac{510 \text{ N/mm}^2 \cdot 3200 \text{ mm}^2}{1,25} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot 355 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{3100 \text{ mm}^2}{1,0} \\ &= 1040976 \text{ N} \\ &= 1041 \text{ kN} \end{aligned}$$

Murtumistapa 3

$$A_{nt} = \left(35 \text{ mm} - \frac{22 \text{ mm}}{2} \right) \cdot 25 \text{ mm} = 600 \text{ mm}^2 = A_{nv}$$

$$\begin{aligned} V_{ess,3,ad} &= \frac{510 \text{ N/mm}^2 \cdot 600 \text{ mm}^2}{1,25} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot 355 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{600 \text{ mm}^2}{1,0} \\ &= 367776 \text{ N} \\ &= 367,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dirakuvun kestävyys

$$N_{v,ed} = \frac{0,9 \cdot 4400 \text{ mm}^2 \cdot 510 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 1613680 \text{ N} \\ = 1613,7 \text{ kN}$$

$$N_{pl,ed} = \frac{220 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm} \cdot 35 \text{ mm}}{1} = 192500 \text{ N} \\ = 192,5 \text{ kN}$$

$(N_{v,ed}; F_{v,ed}) < N_{pl,ed} \rightarrow$ murtoaste ei hauras

Hitsit

$$N_{v,ed} = \frac{510 \text{ N/mm}^2}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ kN}$$

Putken hitsialueen leikkauksen kestävyys

$$2 \cdot 150 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 355 \text{ N/mm}^2 = 319500 \text{ N} \\ = 319,5 \text{ kN}$$

Nurjahdus

$$d_{oy} = 450 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - 150 \text{ mm} - (2 \cdot 61 - 1) = 60 \text{ mm} \cdot 205 \text{ mm}$$

$$\lambda = \left(\frac{205 \text{ mm}}{7,22 \cdot \pi} \right) \cdot \sqrt{\frac{355 \text{ N/mm}^2}{210000 \text{ N/mm}^2}} = 0,37$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,37 - 0,2) + 0,37^2) = 0,61$$

$$N = \frac{1}{(0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,37^2})} = 0,91$$

$$A_1 = 25 \text{ mm} \cdot 220 \text{ mm} \cdot 5500 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{220 \text{ mm} \cdot (25 \text{ mm})^3}{12} = 286458 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{286458 \text{ mm}^4}{5500 \text{ mm}^2}} = 7,22$$

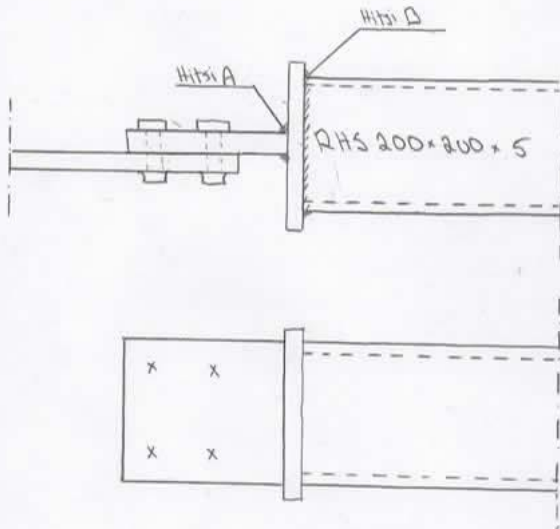
$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{b,rd} = \frac{0,91 \cdot 5500 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 1776775 \text{ N}$$
$$= 1776,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} \leq 0$$

Liite 3 Päätylevyllisen sideliitoksen käsinlaskenta

Sideliitos, päätylevy



Lähtötiedot:

- * levyt $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- * Palkki $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- * Uloet 8.8 M20 osaliev. ruuv.
- * liitoslevyjien paksuudet 25mm
- * hitsin a-mitta 3mm
- * $d_0 = 20\text{mm} + 2\text{mm} = 22\text{mm}$

Reunaetäisyyksien minimiarvot

$$\text{Päätyetäisyys } e_1 = 1,2 \times 22\text{mm} = 26,4\text{mm} \rightarrow 35\text{mm}$$

$$\text{Reunaetäisyys } e_2 = 1,2 \times 22\text{mm} = 26,4\text{mm} \rightarrow 35\text{mm}$$

$$\text{Keskiväli } p_1 = 2,2 \times 22\text{mm} = 48,4\text{mm} \rightarrow 60\text{mm}$$

$$\text{Keskiväli } p_2 = 2,4 \times 22\text{mm} = 52,8\text{mm}$$

$$\rightarrow 200\text{mm} - (2 \times 35\text{mm}) = 130\text{mm}$$

$$L_1 = 35\text{mm} + 60\text{mm} + 35\text{mm} + 50\text{mm} = 180\text{mm}$$

Ruuvien leikkauskestävyys

$$d_s = 60\text{mm} \text{ (äärimmäisten liittimien keskiviiden välinen etäisyys)}$$

$$P_{kz} = 1 - (60\text{mm} - 15 \times 20\text{mm}) / (200 \times 20\text{mm}) = 1,06$$

$$0,75 \leq \beta_{Lz} \leq 1,0 \rightarrow \beta_{Lz} = 1,0 \quad \alpha_v = 0,6$$

$$F_{v,rd} = \frac{(0,6 + 400 \text{ N/mm}^2 \times (\pi \times (10\text{mm})^2) \times 1,0)}{1,25} = 120637,2 \text{ N}$$

$$= 120,6 \text{ kN}$$

$$\text{Yht.} = \text{Uloet} \times 120,6 \text{ kN} = 482,5 \text{ kN}$$

Reunapuristuskestävyys

Reunarivin, reunasarakkeen ruuvit

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \times \frac{35 \text{ mm}}{22 \text{ mm}} - 1,7 = 2,75 \\ 2,5 \end{cases}$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} \frac{35 \text{ mm}}{3 \times 22 \text{ mm}} = 0,53 \\ \frac{800 \text{ N/mm}^2}{510 \text{ N/mm}^2} = 1,57 \\ 1 \end{cases}$$

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \times 0,53 \times 510 \text{ N/mm}^2 \times 20 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}}{1,25} \\ = 270300 \text{ N} \\ = 270,3 \text{ kN/ruuvi}$$

Reunarivin, muun sarakkeen ruuvit

$$\alpha_b = \min \begin{cases} \frac{60 \text{ mm}}{3 \times 22 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 0,66 \\ \frac{800 \text{ N/mm}^2}{510 \text{ N/mm}^2} = 1,57 \\ 1 \end{cases}$$

$$F_{b,rd} = \frac{2,5 \times 0,66 \times 510 \text{ N/mm}^2 \times 20 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}}{1,25} = 336600 \text{ N} \\ = 330,6 \text{ kN/ruuvi}$$

Palamustaminen

Murtumistapa 1:

$$A_{nt} = (200 \text{ mm} - 2 \times 22 \text{ mm}) \times 25 \text{ mm} = 3400 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 0$$

$$\begin{aligned} V_{ess,1,Ed} &= \frac{510 \text{ N/mm}^2 \times 3400 \text{ mm}^2}{1,25} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \times 355 \text{ N/mm}^2 \times \frac{0}{1} \\ &= 1591200 \text{ N} \\ &= 1591,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Murtumistapa 2:

$$A_{nt} = (130 \text{ mm} - 22 \text{ mm}) \times 25 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{nv} &= 2 \times \left(35 \text{ mm} - \frac{22 \text{ mm}}{2} + (2 \text{ kpl} - 1) \times (60 \text{ mm} - 22 \text{ mm}) \right) \times 25 \text{ mm} \\ &= 3100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ess,2,Ed} &= \frac{510 \text{ N/mm}^2 \times 2700 \text{ mm}^2}{1,25} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \times 355 \text{ N/mm}^2 \times \frac{3100 \text{ mm}^2}{1} \\ &= 1736974 \text{ N} \\ &= 1737 \text{ kN} \end{aligned}$$

Murtumistapa 3:

$$A_{nt} = (35 \text{ mm} - 0,5 \times 22 \text{ mm}) \times 25 \text{ mm} = 600 \text{ mm}^2 = A_{nv}$$

$$\begin{aligned} V_{ess,3,Ed} &= \frac{510 \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm}^2}{1,25} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \times 355 \text{ N/mm}^2 \times \frac{600 \text{ mm}^2}{1,0} \\ &= 367775,6 \text{ N} \\ &= 367,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ripalelevyn kestävyys

Rivistulokselle $A_1 = A$

vedolle $A_1 = A_{net}$

$$N_{u,ed} = \frac{0,9 \times 3900 \text{ mm}^2 \times 510 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 1432080 \text{ N} \\ = 1432,1 \text{ kN}$$

$$N_{pl,ed} = \frac{200 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 1775000 \text{ N} \\ = 1775,0 \text{ kN}$$

$(N_{u,ed}; F_{t,ed}) > N_{pl,ed} \rightarrow$ murtumistapa laurus

Hirsi A

Tehollinen leveys

$$b_{eff,A} = 2 \times 5 \text{ mm} + 5 \times 25 \text{ mm} = 135 \text{ mm}$$

$$k = \left(\frac{25 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} \right) \times \left(\frac{355 \text{ N/mm}^2}{355 \text{ N/mm}^2} \right) = 1$$

$$b_{eff,A} \leq 25 \text{ mm} + 5 \times 1 \times 25 \text{ mm} = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Lamelli-repeytymiskestävyys

Hirsin ulkoisista voimista aiheutuva hirsin kannan jännitys rajoitetaan arvoon:

$$0,8 \times 355 \text{ N/mm}^2 = 284 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{hirsi} = 2 \times 135 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

Laipan murtokestävyys tehollisen leveyden alueella

$$A_{\text{eff}} = 135 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} = 3375 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{u,eff,ed}} = \frac{0,9 \times 3375 \text{ mm}^2 \times 510 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 1239300 \text{ N} \\ = 1239,3 \text{ kN}$$

$$N_{\text{u,eff,ed}} \geq N_{\text{ed}}$$

Hitsin A kestävyys

$$\frac{510 \text{ N/mm}^2}{0,9 \times 1,25} = 453,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{0,9 \times 510 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 367,2 \text{ N/mm}^2$$

Hitsi B

Tehollisen hitsin leveys

$$b_{\text{eff,B}} = 25 \text{ mm} + 25 \times 25 \text{ mm} + 2 \times 3 \text{ mm} = 81 \text{ mm}$$

→ levennetty hitsin a-mitalla?

Hitsin kannan jännitykset suhteessa levyyn t_2

Rajataan arvoon:

$$0,9 \times 355 \text{ N/mm}^2 = 294 \text{ N/mm}^2$$

Hitsin B kestävyys

$$\frac{510 \text{ N/mm}^2}{0,9 \times 1,25} = 453,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{0,9 \times 510 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 367,2 \text{ N/mm}^2$$

Nurjändus

$$l_{oy} = 190 \text{ mm} - 35 \text{ mm} - (2 \cdot 60 - 1) \cdot 60 \text{ mm} = 85 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{85 \text{ mm}}{7,22 \text{ mm} \sqrt{N}} \cdot \sqrt{\frac{355 \text{ N/mm}^2}{210000 \text{ N/mm}^2}}$$

$$\alpha = 0,49 \text{ (nurjänduskäyran } C \text{ muukaan)}$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,15 - 0,2) \cdot 0,15^2) = 0,5$$

$$\chi = \frac{1}{0,5 \cdot \sqrt{0,5^2 - 0,15^2}} = 1,02 \leq 1 \rightarrow 1$$

$$A_t = 200 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm} \\ = 5000 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{1 \cdot 5000 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1} = 1775000 \text{ N} \\ = 1775,0 \text{ kN}$$

Liite 4 Ripalevyliitoksen Excel-taulukointi

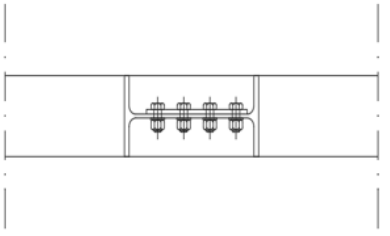
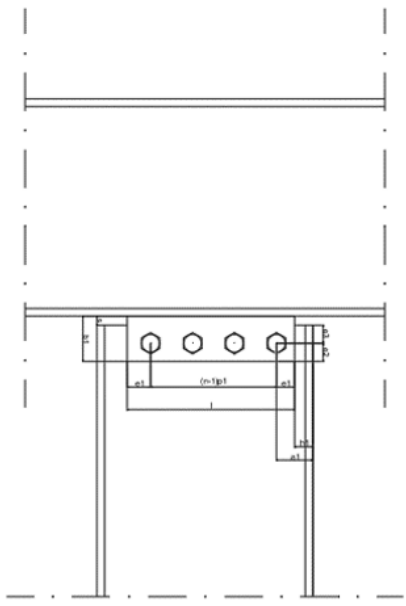
SITOWISE

Tarfas	S365	—	fy	365	Nimm2
Ruuvit	8,8	—	tub	800	Nimm2

Profiili	Ripalevy			Ruuvit	Ruuviyhmän kelkkaukeuskestävyys	Htsin	Htsin kestävyys	Levin reunapuittekeistö	Uuman reunapuittekeistö
	t	l	b1						
PE	mm	mm	mm		LN	mm	LN	LN	LN
PE 140	70	100	70	2M12	64,7	4	117,8	84,2	39,6
PE 160	75	120	70	2M12	64,7	4	158,9	84,2	42,1
PE 200	75	150	90	2M16	120,3	4	209,3	174,8	65,2
PE 240	75	180	110	2M20	187,9	4	238,4	233,6	96,6
PE 300	75	240	110	3M20	281,9	4	370,1	427	202,1
PE 360	75	290	130	3M24	405,9	4	454,3	513,6	273,9
PE 400	75	325	130	3M24	405,9	4	533,6	513,6	294,4
PE 500	75	420	130	4M24	541,2	4	750	773,2	529,9
PE 600	20	510	160	4M30	660,7	4	910,7	1298,3	779
Profiili	Ripalevy			Ruuvit	Ruuviyhmän kelkkaukeuskestävyys	Htsin	Htsin kestävyys	Levin reunapuittekeistö	Uuman reunapuittekeistö
HEA	mm	mm	mm		LN	mm	LN	LN	LN
HEA 160	75	100	70	2M12	64,7	4	117,8	126,3	50,5
HEA 180	75	115	70	2M12	64,7	4	148,4	126,3	50,5
HEA 200	75	130	70	2M12	64,7	4	180,3	126,3	54,7
HEA 220	75	145	90	2M16	120,3	4	188,1	174,8	81,6
HEA 240	75	160	90	2M16	120,3	4	220	174,8	87,4
HEA 260	75	170	110	2M20	187,9	5	271,7	233,6	116,8
HEA 280	75	190	90	3M16	180,4	4	286	321,7	171,6
HEA 300	75	200	90	3M16	180,4	4	308,4	321,7	182,3
HEA 340	75	240	110	3M20	281,9	4	370,1	427	270
HEA 360	75	250	110	3M20	281,9	4	392,6	427	284,6
HEA 400	20	290	130	3M24	405,9	4	454,3	684,7	376,6

Ruuvi	Reikka		e1		e2		p1		p2	
	minimi	suositus	minimi	suositus	minimi	suositus	minimi	suositus	minimi	suositus
M12	13	16	30	16	25	29	40	40	32	40
M16	18	22	40	22	40	40	55	44	44	55
M20	22	27	50	27	40	49	70	53	63	70
M24	26	32	60	32	50	56	80	63	80	80
M30	33	40	75	40	60	73	100	80	80	100

Ruuviyhmän kiinnittämisen ja suositeltavan etäisyydet



Suositteluaan osakierrettien ruuvien käyttöä kaikilla M20 ja sitä suuremmilla ruuveilla.
Rakennessa tulee suunnittelijan mitoitaa erikseen.

Liite 5 Lovetulla liitoslevyllä olevan sideliitoksen Excel-taulukointi

SITOWISE

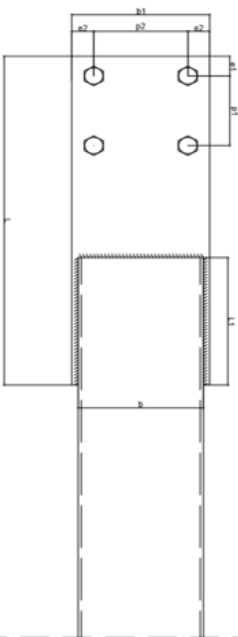
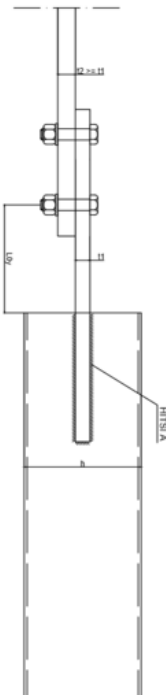
Teräs	S355	→	f _y	355	N/mm ²
Ruuvit	8,8	→	f _{ub}	800	N/mm ²

Profilili	Upotus mm	Ruuvit	Sideliitos, upotettu päätylevy		Hitsin kestävyys kN	Rakenneputken hitsialueen leikkaukestävyys kN	
			Litostuslevy mm	Ruuviryhmän leikkaukestävyys s kN			
120x120x5	120	2M16	15	120,3	4	437,2	255,6
120x120x5	120	4M16	15	240,5	4	437,2	255,6
140x140x5	140	2M16	15	120,3	4	510,1	298,2
140x140x5	140	4M16	15	240,5	4	510,1	298,2
150x150x5	180	4M16	15	240,5	4	655,9	383,4
150x150x5	180	4M20	15	375,8	4	655,9	383,4
150x150x8	150	4M16	15	240,5	6	819,8	511,2
150x150x8	150	4M20	15	375,8	6	819,8	511,2
160x160x5	160	4M16	15	240,5	4	583,0	340,8
160x160x5	160	4M20	20	375,8	4	583,0	340,8
160x160x8	160	4M20	20	375,8	6	874,5	545,3
160x160x8	180	6M20	25	563,7	6	983,8	613,4
180x180x6	180	4M24	20	541,2	5	819,8	460,1
180x180x6	300	6M24	25	811,8	5	1366,4	766,8
200x200x6	300	6M24	25	811,8	5	1366,4	766,8
200x200x10	300	9M24	25	1217,6	7	1913,0	1278,0

huom. 180mm upotussyvyys
huom. 180mm upotussyvyys

huom. 180mm upotussyvyys

huom. 300mm upotussyvyys
huom. 300mm upotussyvyys
huom. 300mm upotussyvyys



Ruuvi	Reikä	Ruuvien sijoitetun minimietäisyydet ja suositeltavat etäisyydet				p2			
		e1 suositus	e2 suositus	p1 suositus	minimi				
M12	13	16	30	16	25	29	40	32	40
M16	18	22	40	22	40	40	55	44	55
M20	22	27	50	27	40	49	70	53	70
M24	26	32	60	32	50	58	80	63	80
M30	33	40	75	40	60	73	100	80	100

Suositteltaan osakerteisten ruuvien käyttöä kaikilla M20 ja sitä suuremmilla ruuveilla.
Rakennessa tulee suunnitelijan mittaattaa erikseen.

Liite 6 Päätylevyllisen sideliitoksen Excel-taulukointi

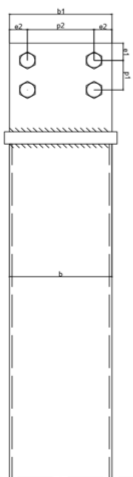
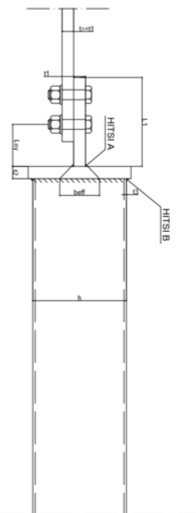
SITOWISE

Teräs	S355	→	f _y	355	N/mm ²	→	f _u	510	N/mm ²
Ruuvit	8,8	→	f _{ub}	800	N/mm ²	→			

Profilili	Ruuvit	Litoslevy t1	Litoslevy t2	Sideliitos, päätylevy		Hitsin A kestävyys	Hitsin B kestävyys	Reunapuristuksesta vyy
				Ruuviryhmän leikkaukestävyys	Ruuviryhmän kestävyys			
RHS		mm	mm	KN	mm	KN	KN	KN/ruuvi
80x80x4	2M12	10	10	64,7	4	125,6	5	73,4
90x90x4	2M12	10	10	64,7	4	125,6	5	73,4
100x100x4	2M12	12	12	64,7	4	146,6	5	141,2
100x100x4	4M12	12	12	129,4	4	159,1	5	141,2

Ruuvi	Reikä	e1		e2		p1		p2	
		minimi	suositus	minimi	suositus	minimi	suositus	minimi	suositus
M12	13	16	30	16	25	29	40	32	40
M16	18	22	40	22	40	40	55	44	55
M20	22	27	50	27	40	49	70	53	70
M24	26	32	60	32	50	58	80	63	80
M30	33	40	75	40	60	73	100	80	100

Ruuvien sijoittelun minimietäisyydet ja suositellavat etäisyydet



Suositteluaan osakereisten ruuvien käyttöä kaikilla M20 ja sitä suuremmilla ruuveilla.

Rakennosa tulee suunnittelijan makoittaa erikseen.

Liite 7 IDEA StatiCa raportti

Project data

Project name Sideliitos
Project number
Author
Description
Date 14.4.2020
Design code EN

Material

Steel Unrecognized S235JR, S 355 H, S 355

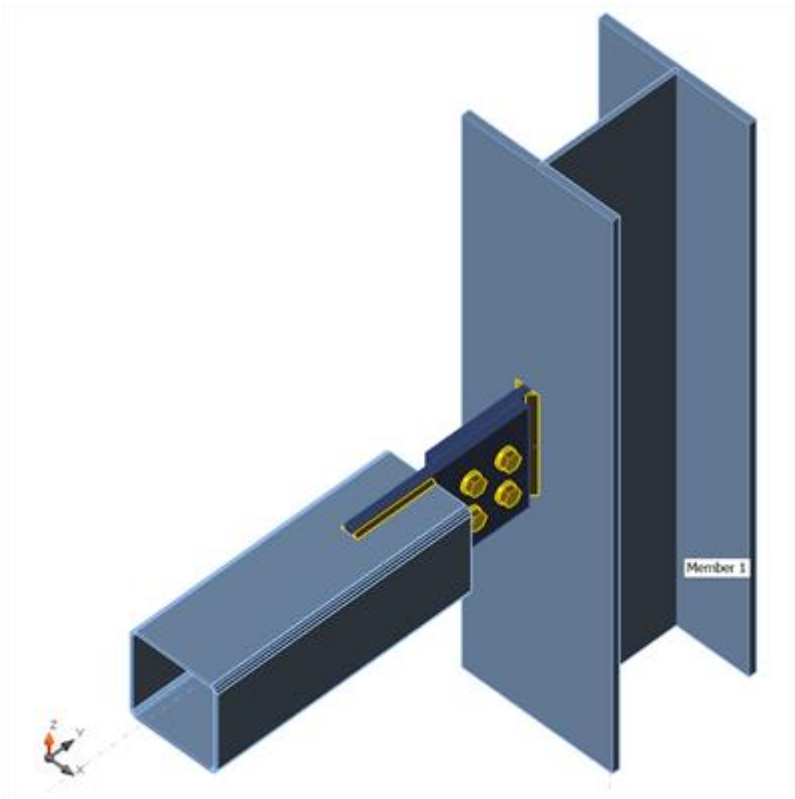
Project item CON1

Design

Name CON1
Description
Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

Beams and columns

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
Member 1	1 - I230	0,0	-90,0	-90,0	0	0	0	Position
Member 2	2 - CFRHS140X140X5	-90,0	0,0	-90,0	0	0	0	Position



Cross-sections

Name	Material
1 - I230	S 355
2 - CFRHS140X140X5	S 355

Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	fu [MPa]	Gross area [mm ²]
M16 8.8	M16 8.8	16	800,0	201

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	Member 1	0,0	0,0	-50,0	0,0	0,0	0,0
	Member 1	0,0	0,0	-50,0	0,0	0,0	0,0
	Member 2	-100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,0 < 5%	OK

Bolts	38,3 < 100%	OK
Welds	68,1 < 100%	OK
Buckling	29,91	

Plates

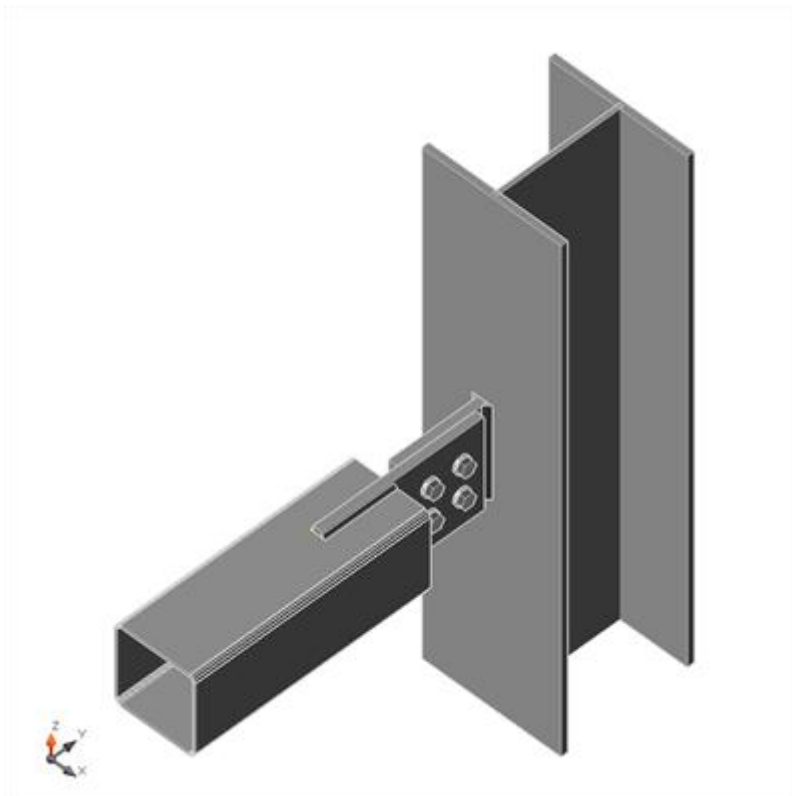
Name	Thickness [mm]	Loads	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{Pl} [%]	Status
Member 1-bfl 1	12,0	LE1	52,6	0,0	OK
Member 1-tfl 1	12,0	LE1	54,3	0,0	OK
Member 1-w 1	7,5	LE1	98,1	0,0	OK
Member 2	5,0	LE1	131,6	0,0	OK
Plate 3	15,0	LE1	217,1	0,0	OK
Plate 4	15,0	LE1	143,6	0,0	OK

Design data

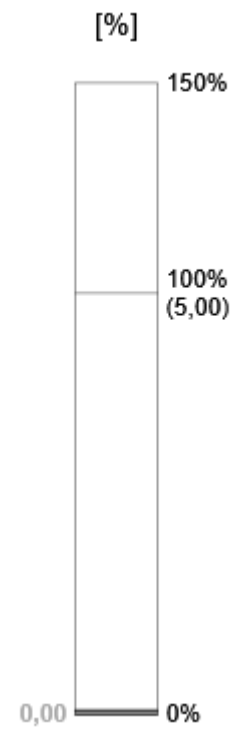
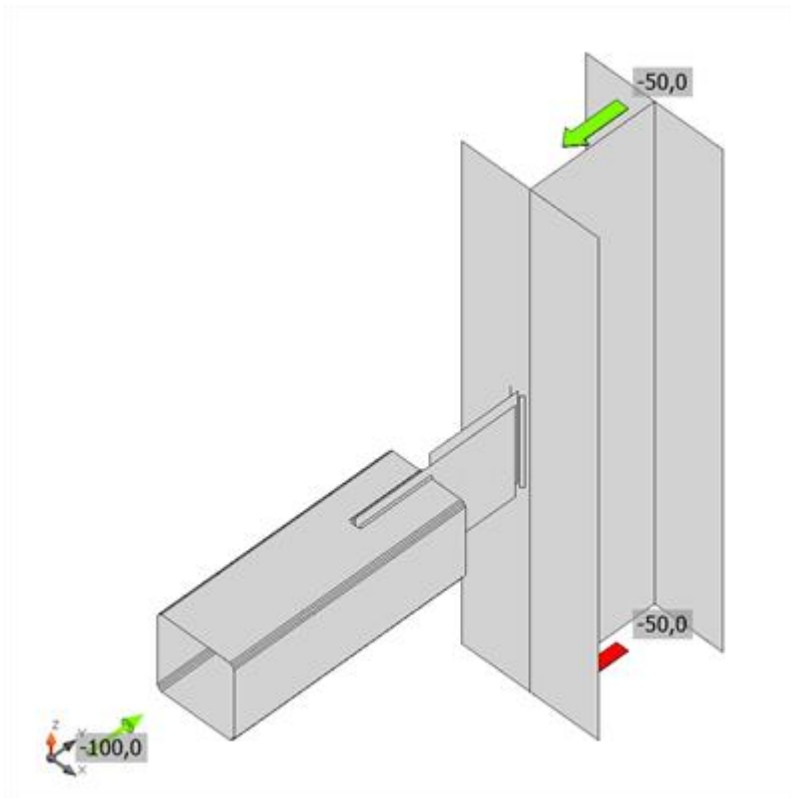
Material	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [%]
S 355	355,0	5,0

Symbol explanation

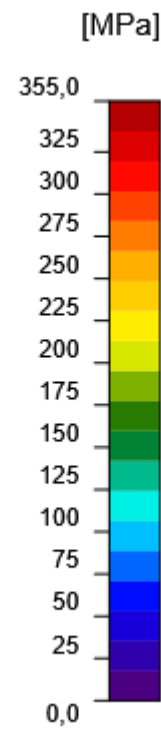
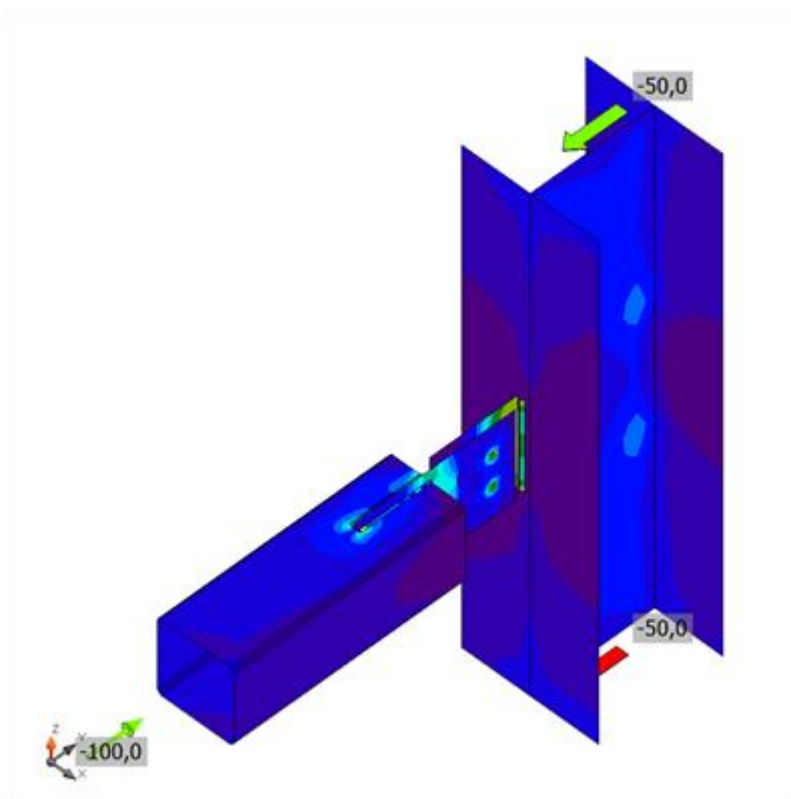
- ϵ_{Pl} Strain
- σ_{Ed} Eq. stress
- f_y Yield strength
- ϵ_{lim} Limit of plastic strain



Overall check, LE1 **Virhe**. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

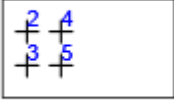


Strain check, LE1 Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.



Equivalent stress, LE1 Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Bolts

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_{t,t}$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t,s}$ [%]	$U_{t,ts}$ [%]	Status
	B2	LE1	6,8	25,4	7,5	180,8	32,9	38,2	OK
	B3	LE1	6,8	25,4	7,5	180,8	32,9	38,3	OK
	B4	LE1	4,2	24,6	4,7	180,8	31,9	35,2	OK
	B5	LE1	4,2	24,6	4,7	180,8	31,9	35,2	OK

Design data

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M16 8.8 - 1	90,4	277,1	77,2

Symbol explanation

- $F_{t,Rd}$ Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $F_{t,Ed}$ Tension force
- $B_{p,Rd}$ Punching shear resistance
- V Resultant of shear forces V_y , V_z in bolt
- $F_{v,Rd}$ Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4
- $F_{b,Rd}$ Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $U_{t,t}$ Utilization in tension
- $U_{t,s}$ Utilization in shear
- $U_{t,ts}$ Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

Welds (Plastic redistribution)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length h [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{Pl} [%]	σ_{\perp} [MPa]	$T_{ }$ [MPa]	T_{\perp} [MPa]	U_t [%]	$U_{t,c}$ [%]	Status
Plate 4	Member 2-w 2	▲4,0	125	LE1	227,6	0,0	23,2	130,1	-12,8	52,3	20,7	OK
Plate 4	Member 2-w 2	▲4,0	125	LE1	296,6	0,0	-104,7	-116,6	109,9	68,1	24,7	OK
Plate 4	Member 2-w 4	▲4,0	125	LE1	280,1	0,0	-99,4	107,8	106,0	64,3	24,6	OK
Plate 4	Member 2-w 4	▲4,0	125	LE1	241,8	0,0	22,7	-138,5	-11,7	55,5	20,7	OK
Member 1-tfl 1	Plate 3	▲7,0	160	LE1	179,9	0,0	-72,1	85,3	42,1	41,3	33,1	OK
		▲7,0	160	LE1	80,9	0,0	-18,0	-41,7	18,2	18,6	6,0	OK

Design data

	β_w [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	0.9σ [MPa]
S 355	0,90	435,6	352,8

Symbol explanation

ϵ_{Pl}	Strain
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
σ_{\perp}	Perpendicular stress
τ_{\parallel}	Shear stress parallel to weld axis
τ_{\perp}	Shear stress perpendicular to weld axis
0.9σ	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
β_w	Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Utc	Weld capacity utilization

Buckling



Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	29,91
	2	31,54
	3	32,54
	4	40,77
	5	43,35
	6	44,02

Code settings

Item	Value	Unit	Reference
γ_{M0}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ_{M1}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ_{M2}	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ_{M3}	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
γ_C	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
γ_{Inst}	1,20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient β_j	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated a_b in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1

Geometrical nonlinearity (GMNA)	Yes		Large deformations for hollow sections
---------------------------------	-----	--	--

Liite 8 SKOL-laskentapohjan tulokset

		Rakennelaskelma, tulokset	
		Tekijä: 0 s	1(3)
Rakennuskohde:	Työ nro:	Sisältö:	Sijainti:
0	0	0	0
T15 HFRHS, CFCHS putkipalkin sideliitos: tyyppi B: SFS-EN-1993			Versio 1.5
 Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011			

Poikkileikkausluokat 1, 2 ja 3.

Mitoitus vedolle ja puristukselle

Lähtötiedot

$N_{Ed} = -100 \text{ kN}$

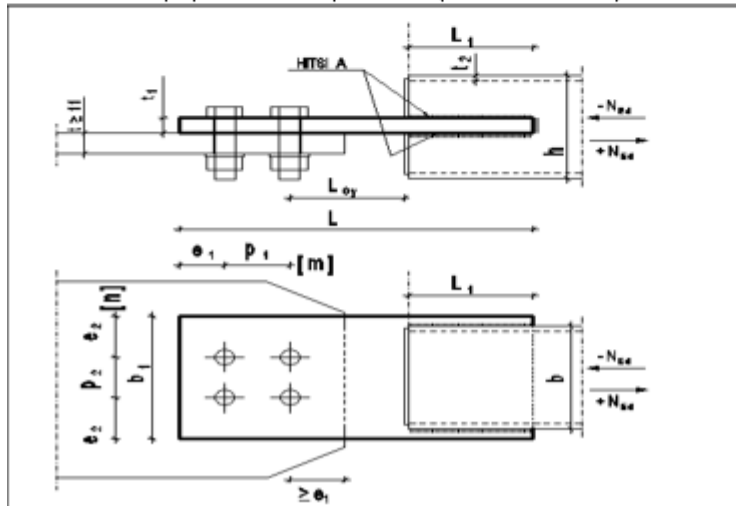
Ruuvit		
Ruuvi		M16
Halkisija	d	16
Reiän koko	mm	18
Määrä	kpl	4
Ruuvirivit	n	2
Ruuvisarakkeet	m	2
Bruttoala	mm ²	201,06
Jännityspoikkipinta-ala	mm ²	157,00
Lujuusluokka		8.8
f_{ub}	N/mm ²	800
f_{yb}	N/mm ²	640
α_v		0,6

Hitsi A		
Hitsi A: a-mitta	mm	4
Hitsin palkkipituus	= L_1	160

Teräs EN 10025-2 tai vastaava		
Putkipalkki S355		
$f_{y,p}$	N/mm ²	355
$f_{u,p}$	N/mm ²	510
Levyosat S355		
$f_{y,l}$	N/mm ²	355
$f_{u,l}$	N/mm ²	510
Putkipalkin koko	140 x 140 x 5	
(Pyöreällä b = D)	b (D) x t ₂	
Levy 1 paksuus	t ₁	15
Levyn leveys	b ₁	160 suos.b+20
Nurjahduspituus	L _{oy}	40
Upotuspituus	L ₁	160
Poikkileikkausluokka		3

Reunaetäisyydet		
Päätietäisyys	e ₁	40
reunaetäisyys	e ₂	40
Keskiöväli	p ₁	55
Keskiöväli	p ₂	55

Kuva 1. Ruuvimäärä ja sijainti lähtötietoarvojen mukaisesti. (Voi olla eri kuin kuvassa)



**Rakennelaskelma, tulokset**

Tekijä: 0 s 2(3)

Päiväys: 0.1.1900

Rakennuskohde:	Työ nro	Sisältö:	Sijainti:
0	0	0	0

T15 HFRHS, CFCHS putkipalkin sideliitos: tyyppi B: SFS-EN-1993**Ruuvien leikkauskestävyys $F_{v,Rd}$**

$$F_{v,Rd} = (\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} \quad \mathbf{4 \text{ kpl} \quad M16 \quad 8.8}$$

Yhteensä Kierre leikkaustasoss kyllä

$$F_{v,Rd} = \mathbf{241,2} \geq V_{Ed} = \mathbf{100,0 \text{ kN}} \quad \mathbf{OK} \quad 41\%$$

Ruuvien leikkausvoiman mitoitusarvo ruuvia kohti, $F_{v,Ed}$

$$F_{v,Ed} = \mathbf{25 \text{ kN/ruuvi}}$$

Reunapuristuskestävyys $F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = (k_1 \cdot a_b \cdot f_{u,l} \cdot d \cdot t_1) / \gamma_{M2}$$

minimiarvon mukaan

$$F_{b,Rd} = \mathbf{181,3 \text{ kN/ruuvi}} \geq F_{v,Ed} \mathbf{25,0 \text{ kN/ruuvi}} \quad \mathbf{OK} \quad 14\%$$

Kestävyys

Ulkoinen voima

Palamurtuminen $V_{eff,1,Rd}$

$$V_{eff,1,Rd} = f_{u,l} \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) f_{y,l} \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

Murtumistapa 1

$$V_{eff,1,R} \mathbf{#### \text{ kN}} \geq N_{Ed} = \mathbf{100,0 \text{ kN}} \quad \mathbf{OK} \quad 13\%$$

Murtumistapa 2

$$V_{eff,1,R} \mathbf{#### \text{ kN}} \geq N_{Ed} = \mathbf{100,0 \text{ kN}} \quad \mathbf{OK} \quad 16\%$$

Murtumistapa 3

$$V_{eff,1,R} \mathbf{#### \text{ kN}} \geq F_{v,Ed} = \mathbf{25,0 \text{ kN}} \quad \mathbf{OK} \quad 9\%$$

