

Olli Kälkäjä

**YLEISIMMÄT TERÄSRAKENTEIDEN LIITOSTYYPIT JA
KIINNITYKSIEN MITOITUKSEN PÄÄPERIAATTEET**

YLEISIMMÄT TERÄSRAKENTEIDEN LIITOSTYYPIT JA KIINNITYKSIEN MITOITUKSEN PÄÄPERIAATTEET

Olli Kälkäjä
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Rakennesuunnittelu

Tekijä: Olli Kälkäjä

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Yleisimmät teräsrakenteiden liitostyytit ja kiinnityksien mitoituksen pääperiaatteet

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Commonly used connections in steel structures and main principles of design

Työn ohjaaja: DI Kai Kuula, Oamk

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 67 + 3 liitettä

Teräsrakenteiden liitoksien suunnitteluun on monta mahdollista tapaa. Esimerkiksi Tekla Structures -ohjelmiston tarjonta liitoskomponenteista on todella laaja, minkä vuoksi oikeanlaisen komponentin valinta ei välttämättä ole kokemattomalle suunnittelijalle helppoa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda materiaali rakennesuunnittelijoiden hyödynnettäväksi teräsrakenteiden liitoksien suunnitteluun. Työn tarkoituksena oli tehdä opas, jonka pohjalta suunnittelija voi valita tarkoitukseen sopivan liitoksen Tekla Structures -ohjelmiston komponenttikirjastosta. Lisäksi oppaaseen on koottu tietoja liitoksen laskentaan tarjolla olevista ohjelmistoista ja laskentapohjista.

Työtä lähdettiin viemään eteenpäin eurokoodin SFS-EN 1993-1-8 pohjalta perehtyen aluksi liitosten luokitteluun niiden jäykkyyden sekä lujuuden perusteella. Lisäksi opinnäytetyössä tutustuttiin liitoksen kiertymiskyvyn määrittelyyn sekä peruskomponenttien jaotteluun sitkeiksi ja hauraiksi. Työssä käsiteltiin myös ruuvi- ja hitsauskiinnitysten luokittelua sekä mitoituksen pääperiaatteita. Lisäksi työssä käytiin läpi yleisimpiä liitostyyppisiä ja peruskomponentteja, joita liitosten kestävyys määrittämiseksi on tarkasteltava.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua ohjeistus, jolla helpotetaan liitoksien valintaa Tekla Structures -ohjelmiston kirjastosta. Opas sisältää myös koosteen liitoksien mitoitukseen käytössä olevista mitoitusyökaluista. Opinnäytetyö tehtiin AFRY Finland Oy:lle Oulun toimiston rakennesuunnitteluosastolle.

Asiasanat: ruuviliitos, hitsausliitos, SFS-EN 1993-1-8, hitsatut profiilit EN-1993 -käsikirja

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Olli Kälkäjä

Title of thesis: Commonly used joints in steel structures and main principles of design

Supervisor: Kai Kuula, Oamk

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 67 + 3 appendices

There are countless number of ways to design connections in steel structures. For example, Tekla Structures -software offers a wide range of connection components for steel structures. What joint to choose might not be crystal clear for every designer.

Main objective of this thesis was to create guide material for joints in steel structures. Material helps a structural engineer to choose a joint from Tekla Structures -programs component library and also points out a calculation software or other calculation programs.

This thesis followed the Eurocode 1993-1-8. In this thesis focus was to familiarize joint classification by rotational stiffness, stiffness and strength. The thesis also focuses on what forces joint passes on, bolt and weld connection classification and main principles in design work. Work also focuses on most common joint types and what basic components those joints contain for determining the resistance of the joint.

The result of the thesis was a guide material that makes it easier for a structural engineer to choose joint component what to use from Tekla Structures -program and gathers information such as a calculation software and programs in one place. This thesis was made for AFRY Finland Ltd structural engineering department.

Keywords: bolted connections, welded connections, Eurocode 1993-1-8

ALKULAUSE

Tämä insinöörityö toteutettiin AFRY Finland Oy:n toimeksiantona.

Haluan kiittää AFRY Finland Oy:n puolelta työtä ohjannutta Juho Vinkkiä insinöörityöni asiantuntevasta ohjauksesta. Osoitan kiitokseni myös Oulun ammattikorkeakoulun puolelta työtä ohjanneelle Kai Kuulalle asiantuntevasta ohjauksesta. Haluan kiittää myös avopuolisoani Sallaa kärsivällisyydestä ja tuesta tämän opin-
näytetyön teon aikana.

Oulussa 1.4.2020

Olli Kälkäjä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 TERÄSRAKENTEIDEN LIITOKSET	11
2.1 Liitosten kiertymiskyky	12
2.2 Liitosten luokittelu	12
2.2.1 Luokittelu jäykkyyden mukaan	13
2.2.2 Luokittelu lujuuden mukaan	14
2.3 Liitosten siirtämät voimat	15
3 RUUVIKIINNITYS JA LIITOSTYYPPIT	18
3.1 Ruuvien lujuusluokat ja standardit	18
3.2 Keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet	21
3.3 Ruuvikiinnitysten luokitus	25
3.3.1 Leikkausvoiman kuormittamat kiinnitykset	26
3.3.2 Vetovoiman rasittamat kiinnitykset	27
3.4 Ruuvikiinnityksen kestävyuden mitoituksen pääperiaatteet	27
3.5 Liitoksien murtumistyyppinä	33
3.5.1 Palamurtuminen	33
3.5.2 Ekvivalentti T-osa	35
3.6 Liitostyyppit	39
3.6.1 Momenttiliitos, päätylevy	39
3.6.2 Konsolilevyliitos, nivelliitos	41
3.6.3 Leikkauslevyliitos	43
3.6.4 Pilariperustusliitos	44
3.6.5 Sideliitos	47
3.6.6 I-palkki - I-palkkiliitos	49
4 HITSAUSKIINNITYKSET JA LIITOSTYYPPIT	53
4.1 Hitsilajit	54

4.1.1 Pienahitsit	54
4.1.2 Päittäishitsit	55
4.2 Hitsien kestävyuden mitoituksen periaatteet	59
4.2.1 Komponenttimenetelmä	59
4.2.2 Yksinkertaistettu menetelmä	61
4.3 Liitostyypit	62
4.3.1 Pilari-palkkiliitos, momenttiliitos	62
4.3.2 Palkki-palkkiliitos	64
5 YHTEENVETO	65
LÄHTEET	66
LIITTEET	
Liite 1 Pilari-palkkihitsiliitoksen mitoitus esimerkki	
Liite 2 Palkki-palkkiliitos kulmalevyillä	
Liite 3 Liitos komponentin valintaopas (yrityksen sisäiseen käyttöön)	

SANASTO

$B_{p,Rd}$	ruuvin kannan tai mutterin lävistymiskestävyden mitoitusarvo
E	kimmokerroin
$F_{b,Rd}$	ruuvin reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo ruuvia kohti
$F_{p,C}$	esijännitysvoiman mitoitusarvo
$F_{s,Rd}$	liukumiskestävyden mitoitusarvo murtorajatilassa ruuvia kohti
$F_{s,Rd,ser}$	liukumiskestävyden mitoitusarvo käyttörajatilassa ruuvia kohti
$F_{t,Ed}$	vetovoiman mitoitusarvo murtorajatilassa ruuvia kohti
$F_{T,Rd}$	ekvivalentin T-osan laipan vetokestävyden mitoitusarvo
$F_{t,Rd}$	ruuvin vetokestävyden mitoitusarvo
f_{ub}	murtolujuus
$F_{v,Ed}$	ruuvin leikkausvoiman mitoitusarvo murtorajatilassa ruuvia kohti
$F_{w,Ed}$	hitsin pituusyksikköä kohden vaikuttava mitoitusarvo
$F_{v,Ed,ser}$	ruuvin leikkausvoiman mitoitusarvo käyttörajatilassa ruuvia kohti
$F_{v,Rd}$	ruuvin leikkauskestävyyden mitoitusarvo ruuvia kohti
$F_{w,Rd}$	hitsin kestävyden mitoitusarvo pituusyksikköä kohden
$f_{vw,d}$	hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo
f_{yb}	myötölujuus
I_b	palkin neliömomentti
L_b	palkin jänneväli
l_{eff}	tehollinen pituus

$M_{j,Rd}$	liitoksen taivutuskestävyys
$M_{pl,Rd}$	plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo
$M_{r,i}$	vääntömomentti
N_{Ed}	aksaalisen kuorman mitoitusarvo
$N_{net,Rd}$	nettopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen vetokestävyys murtorajatilassa
$N_{pl,Rd}$	sauvan plastisuusteorian mukainen aksiaalisen kestävyuden mitoitusarvo
$S_{j,ini}$	liitoksen kiertymisjäykkyyden alkuarvo
$V_{eff,1,Rd}$	palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo keskeiselle kuormalle
$V_{eff,2,Rd}$	palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo epäkeskeiselle kuormalle
β_w	hitsin lujuuskerroin

1 JOHDANTO

Teräsrakenteiden liitoksia voidaan lähteä suunnittelemaan lukemattomilla tavoilla. Aloittelevalle suunnittelijalle tai harjoittelijalle ei ole välttämättä, selvää minimaalista liitosta olisi järkevä käyttää missäkin tilanteessa. Esimerkiksi Tekla Structures -ohjelmiston komponenttikirjastossa on lukemattomia vaihtoehtoja, joista suunnittelija voi lähteä mallintamaan liitoksen.

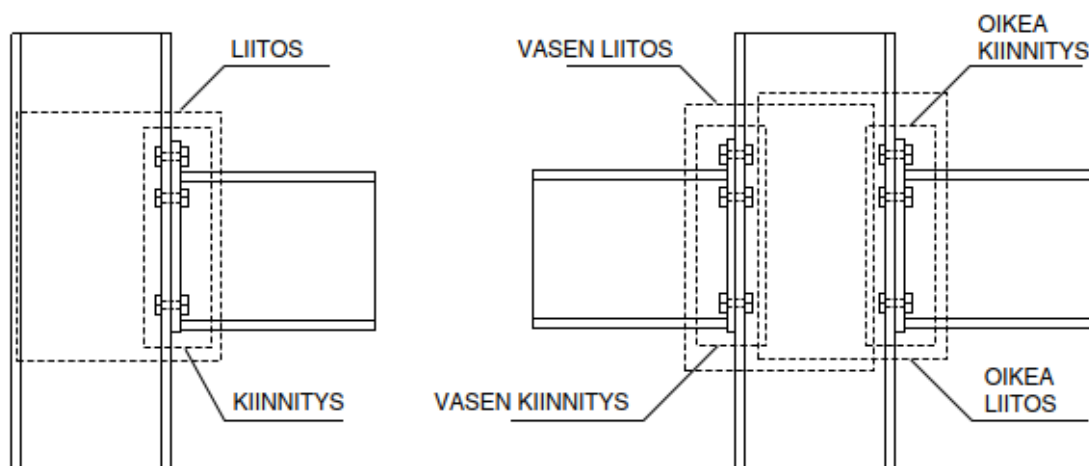
Työn aiheena on laatia opasmateriaali AFRY Finland Oy:lle yleisimpien teräsrakenteiden liitostyypeistä ja liitoksien mitoitukseen käytettävistä mitoitusyökaluista. Työssä perehdytään liitosten luokitteluun jäykkyyden ja lujuuden perusteella. Lisäksi käydään läpi liitoksen kiertymiskyvyn määrittely sekä peruskomponenttien jaottelu sitkeisiin ja hauraisiin. Opinnäytetyössä paneudutaan myös ruuvi- ja hitsauskiinnitysten mitoituksen pääperiaatteisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda ohjemateriaali, jolla suunnittelija saisi hyvät lähtökohdat valita sopiva liitos Tekla Structures -ohjelmiston komponenttikirjastosta ja valita sopivat parametrit liitokselle. Materiaaliin on myös tarkoitus koota valintaan liittyviä kriteereitä ja lisäksi tietoa kyseisen liitoksen mitoitusyökaluista. Opinnäytetyössä tarkastellaan myös liitostyypeittäin, mitä peruskomponentteja tulee tarkastella liitoksen kestävyyttä määriteltäessä. Työssä esitellään ruuvi- ja hitsauskiinnityksien mitoitukseen vaikuttavia asioita, kuten ruuvien reunaetäisyyksiä ja pienahitsien kestävyden määrittämistä sekä komponenttimenetelmän että yksinkertaistetun menetelmän mukaan. Koska erilaisia liitoksia on lukemattomia, työssä keskitytään yleisimpiin käytössä oleviin liitoksiin.

Työn tilaajana on AFRY Finland Oy. Vuonna 2018 ÅF osti Pöyryn ja uudesta yhdistyneestä yrityksestä muodostui noin 17 000 asiantuntijan konsulttiyhtiö. AFRY toimii energia-, infra- ja teollisuussektoreilla ympäri maailman. Suomessa AFRYllä on noin 2 000 asiantuntijaa ja yritys toimii 23 paikkakunnalla. (1.)

2 TERÄSRAKENTEIDEN LIITOKSET

Teräsrakenteiden liitosten suunnittelua käsitellään standardissa SFS-EN 1993-1-8. Kiinnitykseksi kutsutaan aluetta, jossa kaksi sauvaa liittyvät toisiinsa kiinnitysten, kuten ruuvin tai hitsin, avulla. Suunnittelussa näiden peruskomponenttien yhdistelmää kutsutaan liitokseksi. Liitoksen avulla rakenneosissa vaikuttavat sisäiset voimat, kuten leikkausvoima tai taivutusmomentti, voivat siirtyä rakenneosalta toiselle. Kuvassa 1 on havainnollistettu liitoksen ja kiinnityksen eroa. (2, s. 301; 3, s. 11-12.)



KUVA 1. Kiinnityksen ja liitoksen ero (2, s. 301)

Teräsrakenteiden kustannustehokkain liitostapa on usein hitsausliitos. Hitsausliitosten laadunvarmistus ja valmistus on usein hankalaa työmaalla vaihtuvien olosuhteiden, kuten sään vaihteluiden vuoksi. Hitsausliitosten etu tulee konepajalla tehdyistä suuremmista lohkoista, jotka liitetään työmaalla toisiin rakenteisiin ruuviliitoksin. Ruuviliitokset soveltuvat paremmin työmaalla tehtäviksi liitoksiksi niiden yksinkertaisuuden ja helpon asennettavuuden ansiosta. (2, s. 301; 3, s. 11-12.)

2.1 Liitosten kiertymiskyky

Peruskomponentit, kuten ruuvit, hitsit, päätylevy, pilarin laippa ja pilarin uuma, määrittävät liitosten kiertymiskyvyn. Peruskomponentit luokitellaan muodonmuutoskykynsä mukaan sitkeiksi ja hauraiksi. (2, s. 306.)

Sitkeiksi peruskomponenteiksi luetaan esimerkiksi taivutuksen kuormittava levy, poikittaisen vedon kuormittava pilarin uuma ja leikkauksen kuormittama pilarin uuma. Hauraiksi peruskomponenteiksi katsotaan hitsit ja vedon tai leikkauksen kuormittavat ruuvit. Kun hauras liitos on saavuttanut kestävyytensä, liitoksella ei ole sen jälkeen juuri ollenkaan muodonmuutoskykyä. Hauraiksi luokitellut osat suositellaan mitoitettavaksi hieman ylilujiksi, jotta liitoksen taivutuskestävyys $M_{j,Rd}$ määräytyy sitkeiksi luokiteltujen osien mukaan. (2, s. 306.)

Hitsaus- ja ruuviliitosten kiertymiskyvyn määrittely tehdään standardin SFS-EN 1993-1-8 kohtien 6.4.2 ja 6.4.3 mukaisesti. Kohdissa esitetyt menetelmät ovat soveltuvia vain S235-, S275- ja S355-teräslajeille sekä liitoksille, joissa liittyvän sauvan aksiaalisen kuorman mitoitussarvo N_{Ed} on maksimissaan 5 % liitettävän sauvan poikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisesta kestävyden mitoitussarvosta $N_{pl,Rd}$. Kiertymiskyky voidaan myös jättää tarkastelematta, mikäli taivutuskestävyden mitoitussarvo $M_{j,Rd}$ on vähintään 1,2-kertainen liitettävän sauvan poikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisen taivutuskestävyden mitoitussarvoon $M_{pl,Rd}$ verrattuna. (3, s. 108-109.)

2.2 Liitosten luokittelu

Yleisiä tapoja luokitella liitoksia ovat jäykkyyden ja lujuuden mukainen luokittelu. Liitokset voidaan myös luokitella sekä aikaisemmin suunniteltuihin että kokeellisesti testattuihin liitoksiin perustuen. Mikäli liitos luokitellaan aikaisemmin suunniteltujen liitosten perusteella, tulee tapausten vastata toisiaan. (3, s. 58; 4, s. 1-2.)

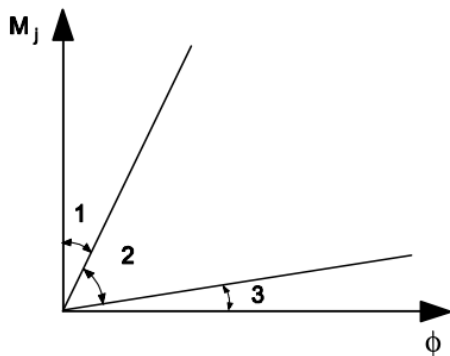
2.2.1 Luokittelu jäykkyyden mukaan

Liitokset, jotka luokitellaan jäykkyyden mukaan, jaetaan nimellisesti nivelellisiin, jäykkiin ja osittain jäykkiin liitoksiin. Luokittelu tehdään vertaamalla liitoksen kiertymisjäykkyyden alkuarvoa $S_{j,ini}$ luokitukselle kuvassa 2 määritettyihin arvoihin. (3, s. 58.)

Nimellisesti nivelellisten liitosten tulee siirtää sisäiset voimat siten, ettei merkittävän suuria momentteja, jotka vaikuttaisivat rakenneosaan tai koko rakenteeseen epäedullisesti, pääse syntymään. Liitoksen tulee omata kyky kiertyä mitoituskuormia vastaavan arvon verran. Jäykkyyden mukaan luokiteltu liitos voidaan luokitella nimellisesti nivelelliseksi, kun liitoksen kiertymisjäykkyyden alkuarvo $S_{j,ini} \leq 0,5E_b/L_b$. I_b on palkin nelimomentti ja L_b on palkin jänneväli. Alue 3 kuvassa 2 osoittaa $S_{j,ini}$ -arvoa, jolloin liitos luokitellaan nimellisesti nivelelliseksi. (2, s. 302; 3, s. 58-59.)

Jäykäksi luokitellulla liitoksella tulee olla riittävä kiertymiskyky, jolla taataan rakenteen jatkuvuuteen perustuva analyysi. Jäykkä liitos kykenee siirtämään myös taivutusmomenttia. (2, s. 302; 3, s. 58.)

Liitokset, jotka eivät täytä jäykille liitoksille määritellyjä kriteereitä, luokitellaan osittain jäykiksi liitoksiksi. Kyseisen liitoksen tulee pystyä siirtämään syntyvät sisäiset momentit ja voimat. Kuvassa 2 esitetään kiertymisjäykkyyden alkuarvon $S_{j,ini}$ -raja-arvot jäykälle (alue 1), osittain jäykälle (alue 2) sekä nimellisesti nivelelliselle (alue 3) liitokselle. (3, s. 58-59.)



Alue 1: jäykkä, jos $S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$

Missä:

$k_b = 8$ kehät, joissa jäykistysjärjestelmä pienentää vaakasuuntaisia siirtymiä vähintään 80 %:lla

$k_b = 25$ muut kehät olettaen, että jokaisessa kerroksessa on voimassa $K_b/K_c \geq 0,1$ *)

Alue 2: osittain jäykkä:

Kaikki aluelle 2 kuuluvat liitokset luokitellaan osittain jäykiksi. Alueilla 1 tai 3 olevat liitokset voidaan vaihtoehtoisesti käsitellä myös osittain jäykinä.

Alue 3: nimellinen nivel, jos $S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b / L_b$

*) Kehien, joille $K_b/K_c < 0,1$, liitokset luokitellaan osittain jäykiksi.

Merkinnät:

K_b on tarkasteltavan kerroksen yläpäässä olevien kaikkien palkkien I_b/L_b - arvojen keskiarvo;

K_c on tarkasteltavassa kerroksessa olevien kaikkien pilarien I_c/L_c - arvojen keskiarvo;

I_b on palkin hitausmomentti;

I_c on pilarin hitausmomentti;

L_b on palkin jänneväli (pilarien keskiöiden välinen etäisyys);

L_c on pilarin kerroskorkeus.

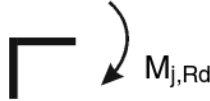
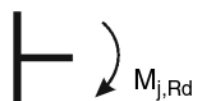
KUVA 2. $S_{j,ini}$ -raja-arvot jäykkyyteen perustuvassa luokittelussa (3, s.60)

2.2.2 Luokittelu lujuuden mukaan

Lujuuden mukaan liitoksen luokitellaan nimellisesti nivelellisiin, täysin lujiin ja osittain lujiin liitoksiin. Lujuuteen perustuva luokittelu tehdään vertaamalla liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvoa $M_{j,Rd}$ liitokseen liittyvien sauvojen taivutuskestävyyden mitoitusarvoihin. Tällöin sauvan kestävyden mitoitusarvoksi valitaan liitoksen vieressä oleva kestävyden arvo. (2, s. 302; 3, s. 60.)

Nimellisesti nivelelliset liitokset tulee suunnitella niin, ettei liitokseen pääse syntymään huomattavaa momenttia. Liitoksen tulee myös pystyä kiertymään mitoituskuormia vastaavan arvon verran. Mikäli liitos on luokiteltu lujuuteen perustuen, voidaan liitos luokitella nimellisesti nivelelliseksi silloin, kun liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ on enintään 25 % täysin lujan liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvosta, edellyttäen liitoksen omaavan riittävän kiertymiskyvyn. (3, s. 60.)

Täysin lujaksi luokiteltavan liitoksen mitoitusarvo tulee olla vähintään liittyvän sauvan taivutuskestävyyden mitoitusarvon suuruinen. Lisäksi liitoksen tulee täyttää kuvan 3 vaatimukset. Liitokset, jotka eivät täytä täysin lujan liitoksen vaatimuksia, luokitellaan osittain lujiksi liitoksiksi. (3, s. 60.)

a) Pilarin yläpää		Joko	$M_{j,Rd} \geq M_{b,pt,Rd}$
		Tai	$M_{j,Rd} \geq M_{c,pt,Rd}$
b) Liitos sijaitsee pilarin päiden välillä		Joko	$M_{j,Rd} \geq M_{b,pt,Rd}$
		Tai	$M_{j,Rd} \geq 2 M_{c,pt,Rd}$

Avainsuureet:

$M_{b,pt,Rd}$ on plastisuusteorian mukainen palkin taivutuskestävyyden mitoitusarvo;

$M_{c,pt,Rd}$ on plastisuusteorian mukainen pilarin taivutuskestävyyden mitoitusarvo;

KUVA 3. Lujuuteen perustuvan luokittelun täysin lujan liitoksen vaatimukset (3, s. 61)

2.3 Liitosten siirtämät voimat

Ensisijaisesti liitokset tulee valita ja suunnitella sen mukaan, mitä voimia liitosten halutaan siirtävän. Toisin sanoen päätetään, halutaanko liitoksen toimivan nivelellänä vai jäykkänä. Standardissa SFS-EN 1993-1-8 liitoksien kestävydet määritellään niin sanotun komponenttimenetelmän mukaan. Peruskomponenttien (ruuvi, hitsi, pilarin uuma) avulla määritetään liitoksen kestävyys. Muita valintaan vaikuttavia kriteerejä ovat asennettavuus ja asennuksen helppous sekä kustannukset.

Rakenteen kokonaistarkastelussa liitosten vaikutukset rakenteen sisäisten momenttien ja voimien jakaantumiseen ja rakenteen kokonaismuodonmuutoksiin otetaan huomioon tarkastelemalla liitoksia nivelellisen mallin, jäykän mallin tai osittain jäykän mallin kautta. Nivelellisessä mallissa liitoksien ei oleteta siirtävän taivutusmomenteja. Jäykässä mallissa liitoksen käyttäytymisen ei oleteta vaikuttavan rakenneanalyysiin. Osittain jäykässä mallissa liitosten käyttäytyminen otetaan huomioon rakenneanalyysissä. Liitosmalli määritetään taulukon 1 mukaan riippuen valitusta analyysimenetelmästä sekä liitosluokasta. Analyysimenetelmä voi olla jokin seuraavista:

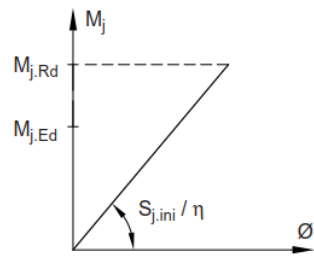
- kimmoteorian mukainen kokonaistarkastelu (elastic)
- kimmo-plastinen malli (elastic-plastic)
- jäykkä-plastinen malli (rigid-plastic). (2, s. 303-304.)

TAULUKKO 1. Liitosmallin valinta (2, s. 305)

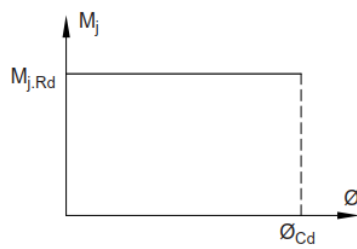
Kokonaistarkastelussa käytetty menetelmä	Liitosluokka		
	Kimmeteoria	Nimellisesti niveellinen	Jäykkä
Kimmo-plastinen malli ¹⁾	Nimellisesti niveellinen	Täysin luja	Osittain luja
Jäykkä-plastinen malli ¹⁾	Nimellisesti niveellinen	Jäykkä ja täysin luja	- Osittain jäykkä ja osittain luja - Osittain jäykkä ja täysin luja - Jäykkä ja osittain luja
Liitosmalli	Niveellinen	Jäykkä	Osittain jäykkä
¹⁾ ei sovelleta S500-700 teräksillä			

Kokonaistarkastelussa käytettyjen eri menetelmien momentti-kiertymäyhteydet on esitetty kuvassa 4. Kaikissa muissa menetelmissä, paitsi kimmoteorian mukaisessa analyysissä, on tunnettava liitoksen jäykkyyden lisäksi myös liitoksen kestävyys. Riippumatta siitä, mitä menetelmää käytetään, on liitoksella oltava riittävä kestävyys rakenneanalyysistä aiheutuvien momenttien ja voimien siirtämiseksi sekä riittävä kiertymiskyky analyysistä aiheutuvien kiertymien saavuttamiseksi. Rakenteen kaikkien liitosten mallintaminen ensin täysin niveellisenä, jolla saadaan maksimi-arvot kenttämomenteille, ja sitten täysin jäykkänä, jolloin

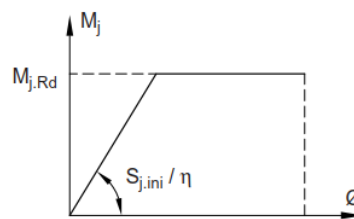
saadaan liitosten ja niiden kautta siirtyvien rasitusten maksimiarvot, on yleensä varmallalla puolella oleva menetelmä. (2, s. 304.)



a) Kimmoteorian mukainen analyysi



b) Jäykkä-plastinen malli



c) Yksinkertaistettu kimmo-plastinen malli

KUVA 4. Liitoksille valittavat tarkastelumallit kokonaistarkastelussa (2, s. 305)

3 RUUVIKIINNITYS JA LIITOSTYYPIT

Työmaaolosuhteiden tuomien haasteiden vuoksi hitsauskiinnitysten valmistamisen sijaan yleensä työmaalla tehtävissä asennuksissa suositaan ruuvikiinnitystä, joka ei ole yhtä herkkä olosuhteiden tuomiin haasteisiin. Hitsauspaikka on suojattava esimerkiksi sateelta, lumelta ja tuulelta, mikä hidastaa työtä sekä aiheuttaa lisäkustannuksia. Lisäksi hitsausrailojen puhtaanapito epäpuhtauksilta ja kosteudelta tuovat haasteita ja mahdollisia viivästyksiä työhön. Hitsatun teräksen nopeaa jäähtymistä tulee myös välttää, ettei halkeamisia pääsisi syntymään. Nopeaa jäähtymistä voidaan rajoittaa esilämmittämällä hitsattavat materiaalit ennen hitsauksen suorittamista. Yleensä tarve esilämmitykselle kasvaa, kun materiaali-paksuudet nousevat. (2, s. 301, 307-313; 8, s. 12-18.)

Ruuvikiinnityksen etu hitsauskiinnitykseen työmaaolosuhteissa liittyy pitkälti sen yksinkertaisuuteen. Sen toteuttaminen ei vaadi saman mittakaavan suojauksia olosuhteita vastaan kuin hitsaus. Suomen kansallinen liite standardiin SFS-EN 1993-1-8 suosittelee vain ruuvien lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 käyttöä. (2, s. 301, 307-313; 8, s. 12-18.)

3.1 Ruuvien lujuusluokat ja standardit

Ruuvien lujuusluokat määräytyvät niiden murto- ja myötölujuudesta. Näitä arvoja käytetään myös lujuuslaskelmissa ominaisarvoina, jotka on esitetty taulukossa 2. Ruuvien lujuusluokkien merkintä tapa on x,y, missä x merkitsee ruuvien murtolujuutta jaettuna 100:lla. Y merkitsee myötölujuuden ja murtolujuuden suhdetta kerrottuna 10:llä. Täten lujuusluokan 8.8 murtolujuus on $8 * 100 = 800 \text{ N/mm}^2$ ja myötölujuus $800 * 8/10 = 640 \text{ N/mm}^2$. (2, s. 313; 9, s. 89.)

TAULUKKO 2. Ruuvien lujuusluokat (3, s. 21)

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

Mutterien merkintätapana käytetään saman tyyppistä merkintää, mutta vain x-osaa, joka ilmoittaa mutterin murtolujuuden. Lujuusluokaltaan mutterin on vastattava vähintään ruuvien lujuusluokkaa, mutta on myös mahdollista valita korkeampi lujuus. Ruuvien, mutterien ja aluslaattojen viitestandardien mukaiset lujuudet on esitetty taulukossa 3. (2, s. 313.)

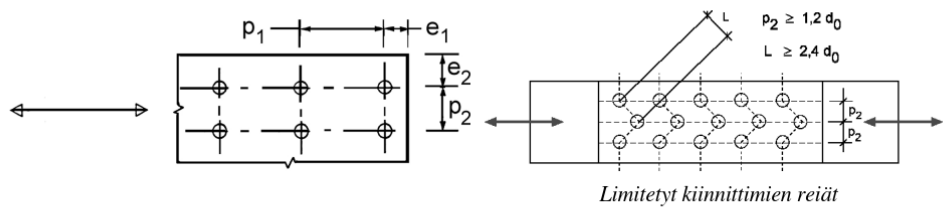
TAULUKKO 3. Ruuvien, mutterien ja aluslaattojen viitestandardit (2, s. 308-309)

Ruuvit		
EN ISO 4014	Osakierteiset kuusioruuvit. Tarkkuusluokat A ja B	- koko \leq M24 ja pituus \leq 10 d tai 150 mm: tarkkuusluokka A (= hieno) - koko $>$ M24 tai pituus $>$ 10 d tai 150 mm: tarkkuusluokka B (= keski) - varren maksimipituus: min. [10 d ; 500 mm] - kierteellisen osan pituus noin $b = 2,5 d$ ^{a)} - kannan korkeus noin $k = 0,63 d$ ^{a)} - lujuusluokat 5.6, 8.8, (9.8), 10.9
EN ISO 4016	Osakierteiset kuusioruuvit. Tarkkuusluokka C	- kaikki pituudet: tarkkuusluokka C (= karkea) - varren maksimipituus: min. [10 d ; 500 mm] - kierteellisen osan pituus noin $b = 2,5 d$ ^{a)} - kannan korkeus noin $k = 0,63 d$ ^{a)} - lujuusluokat (3.6), 4.6, 4.8
EN ISO 4017	Täyskierteiset kuusioruuvit. Tarkkuusluokat A ja B	- koko \leq M24 ja pituus \leq 10 d tai 150 mm: tarkkuusluokka A (= hieno) - koko $>$ M24 tai pituus $>$ 10 d tai 150 mm: tarkkuusluokka B (= keski) - varren maksimipituus: 200 mm - kannan korkeus noin $k = 0,63 d$ ^{a)} - lujuusluokat 5.6, 8.8, (9.8), 10.9
EN ISO 4018	Täyskierteiset kuusioruuvit. Tarkkuusluokka C	- kaikki koot: tarkkuusluokka C (= karkea) - varren maksimipituus: min. [10 d ; 500 mm] - kannan korkeus noin $k = 0,63 d$ ^{a)} - lujuusluokat (3.6), 4.6, 4.8
Mutterit		
EN ISO 4032	Normaalikorkuiset kuusiomutterit. Tarkkuusluokat A ja B	- koot \leq M16: tarkkuusluokka A (= hieno) - koot $>$ M16: tarkkuusluokka B (= keski) - korkeus noin $m = 0,87 d$ ^{a)} - lujuusluokat 6, 8, 10
EN ISO 4033	Korkeat kuusiomutterit. Tarkkuusluokat A ja B	- koot \leq M16: tarkkuusluokka A (= hieno) - koot $>$ M16: tarkkuusluokka B (= keski) - korkeus noin $m = 0,97 d$ ^{a)} - lujuusluokat 9, 12
EN ISO 4034	Normaalikorkuiset kuusiomutterit. Tarkkuusluokka C	- kaikki koot: tarkkuusluokka C (= karkea) - korkeus noin $m = 0,87 d$ ^{a)} - koot \leq M16: lujuusluokka 5 - koot $>$ M16: lujuusluokat 4, 5
Aluslaatat		
EN ISO 7089	Pyöreät aluslaatat. Normaalikokoiset. Tarkkuusluokka A	- kovuus 200 HV: lujuusluokille max. 8.8 ja 8 - kovuus 300 HV (karkaistu): lujuusluokille max. 10.9 ja 10 - korkeus noin $h = 0,15 d$ ^{a)} - ulkohalkaisija noin $d_2 = 1,85 d$ ^{a)}
EN ISO 7090	Pyöreät viistetyt aluslaatat. Normaalikokoiset. Tarkkuusluokka A	- kovuus 200 HV: lujuusluokille max. 8.8 ja 8 - kovuus 300 HV (karkaistu): lujuusluokille max. 10.9 ja 10 - korkeus noin $h = 0,15 d$ ^{a)} - ulkohalkaisija noin $d_2 = 1,85 d$ ^{a)}
EN ISO 7091	Pyöreät aluslaatat. Normaalikokoiset. Tarkkuusluokka C	- kovuus 100 HV: lujuusluokille max. 6.8 ja 6 - korkeus noin $h = 0,15 d$ ^{a)} - ulkohalkaisija noin $d_2 = 1,85 d$ ^{a)}
a) Tässä ilmoitettu mitta on vain suuntaa antava likiarvo (tuotestandardi ei määritä ko. mitta ruuvin nimelliskokoon suhteutettuna).		
Sulkuihin merkityt lujuusluokat sisältyvät tuotestandardiin, mutta niiden käyttö ei ole sallittu Eurocoden osan EN 1993-1-8 mukaisessa mitoituksessa [8,9,10]		

Ruukin hitsatut profiilit käsikirjassa on koottu yleisiä ohjeita ja suosituksia aluslaatan käyttöön liittyen. Yhtenä esimerkkinä näistä on standardissa SFS-EN 1993-1-8 määritelty aluslaatan käyttö yksileikkeisissä päällekkäisliitoksissa, joissa on vain yksi ruuvirivi sekä ruuvin kannan että mutterin alla. Aluslaatan käyttö sekä ruuvin kannan että mutterin alla mahdollistaa molemmin puolisen kirstyksen. Koko taulukko on nähtävissä Hitsatut profiilit käsikirjan taulukossa 3.8. (2, s. 314-315; 3, s. 26.)

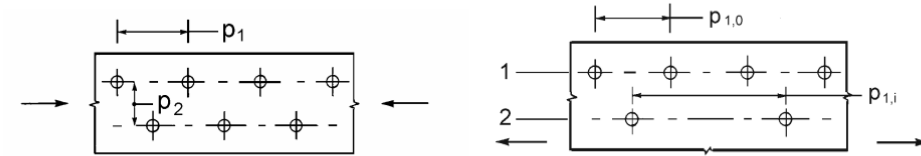
3.2 Keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet

Ruuvien sijoitteluun on annettu minimietäisyyksiä reunoista ja päädyistä, jotta standardin SFS-EN-1993-1-8 mukaiset laskentakaavat ovat voimassa. Ruuvien sijoitteluun on tärkeää kiinnittää huomiota, koska pienet keskiö- ja reunaetäisyydet kasvattavat pala- ja reunamurtumisriskiä. Kuva 5 havainnollistaa etäisyyksiä, joiden minimi- ja maksimiarvot on esitetty taulukossa 4. Kyseiset etäisyydet eivät päde väsytskuormitetuissa rakenteissa. Väsytskuormitetuissa rakenteissa minimi- ja maksimietäisyydet löytyvät standardista SFS-EN 1993-1-9. (3, s. 23; 10, s. 34, 49.)



a) Kiinnittimien etäisyyksien merkinnät

b) Limitettyjen kiinnittimien reikien merkinnät



$p_1 \leq 14 t$ ja ≤ 200 mm

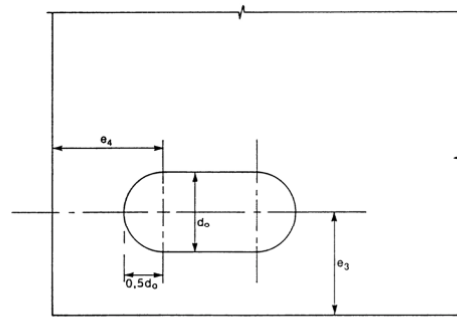
$p_2 \leq 14 t$ ja ≤ 200 mm

$p_{1,0} \leq 14 t$ ja ≤ 200 mm

$p_{1,i} \leq 28 t$ ja ≤ 400 mm

c) Limitetyt keskiövälit – puristetut rakenneosat

d) Limitetyt keskiövälit – vedetyt rakenneosat



e) Pidennettyjen reikien pääty- ja reunaetäisyydet

KUVA 5. Keskiöväli, reuna- ja päätyetäisyydet (3, s. 25)

TAULUKKO 4. Keskiövälin, reuna- ja päätyetäisyyksien minimi- ja maksimiarvot
(3, s. 24)

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo ^{1) 2) 3)}		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ 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
<p>1) Keskiöväleillä, pääty- ja reunaetäisyyksillä ei ole ylärajaa paitsi seuraavissa tapauksissa: - puristetussa rakenneosissa paikallisen lommahduksen ja korroosion välttämiseksi korroosiorasituksen alaisena ja; - korroosiorasitukselle alttiit vedetyt rakenneosat korroosion välttämiseksi.</p> <p>2) Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus lasketaan standardin EN 1993-1-1 mukaan olettamalla levy pilariksi ja käyttämällä nurjahduspituutena arvoa $0,6p_1$. Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallista lommahdusta ei tarvitse tarkistaa, jos p_1/t on pienempi kuin 9e. Reunaetäisyys saa olla enintään ulokkeelliselle puristetulle taso-osalle esitetyn arvon suuruinen paikallisen lommahduksen estämiseksi, ks. standardi EN 1993-1-1. Tämä vaatimus ei koske päätyetäisyyttä.</p> <p>3) t on uloimman liitettävän osan pienempi paksuus.</p> <p>4) Pidennettyjen reikien raja-arvot esitetään kohdan 1.2.7 mukaisessa viitestandardiryhmässä 7.</p> <p>5) Limitetyille kiinnitinriveille voidaan käyttää minimiarvoa $p_2 = 1,2d_0$, jos kahden limityksessä olevan kiinnittimen välinen minimietäisyys $L \geq 2,4d_0$, ks. kuva 3.1b).</p>				

Ruukin hitsatut profiilit -käsikirjassa on taulukoitu eri ruuvikokojen minimi- ja suosituksetäisyydet, jotka on esitetty taulukossa 5. Suosituksetäisyydet mahdollistavat ruuvien kiristämisen koneellisesti. (2, s. 319.)

TAULUKKO 5. Minimi- ja suositellut reuna- ja päätyetäisyydet (2, s. 319)

Ruuvi ^{a)}	Reikä ^{b)} d_0 (mm)	e_1 (mm)		e_2 (mm)		p_1 (mm)		p_2 (mm)	
		minimi	suositus	minimi	suositus	minimi	suositus	minimi	suositus
M12	13	16	30	16	25	29	40	32	40
M16	18	22	40	22	30	40	55	44	55
M20	22	27	50	27	40	49	70	53	70
(M22)	24	29	55	29	45	53	75	58	75
M24	26	32	60	32	50	58	80	63	80
(M27)	30	36	70	36	55	66	90	72	90
M30	33	40	75	40	60	73	100	80	100
M36	39	47	90	47	70	86	120	94	120

a) Sulkuihin merkittyjen kokojen saatavuus on syytä varmistaa.
b) Reikäkoot, ks. myös taulukko 3.7

Taulukossa esitetyt lähteen [45] mukaiset suosituksetäisyydet mahdollistavat ruuvien kiristämisen koneellisesti.

Taulukko ei päde standardin EN 14399-8 mukaisille soviteruuveille, koska niiden varren nimellis-halkaisija sekä käytettävät reikäkoot poikkeavat tavallisista ruuveista.

3.3 Ruuvikiinnitysten luokitus

Ruuvikiinnitykset jaetaan kahteen ryhmään. Jaottelu tapahtuu sen mukaan, kohdistuuko ruuveihin vetoa vai leikkausta. Jaottelua on tarkennettu vielä ryhmien sisällä kiinnitysluokkiin A...E. Kiinnityksien mitoitusta koskevat tarkastukset on esitetty taulukossa 6. (2, s. 319; 3, s. 22.)

TAULUKKO 6. Ruuvikiinnitysluokkien mitoitusta koskevat tarkastukset (3, s. 23)

Luokka	Ehto	Huomautuksia
Leikkausvoiman rasittamat kiinnitykset		
A Reunapuristustyyppinen kiinnitys	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Esijännitystä ei vaadita. Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9
B Käyttörajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys	$F_{v,Ed.ser} \leq F_{s,Rd.ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. Liukumiskestävyys ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.9
C Murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. Liukumiskestävyys ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.9 $N_{net,Rd}$ ks. SFS-EN 1993-1-1 kohta 6.2.3(4)
Vetovoiman rasittamat kiinnitykset		
D Esijännittämätön ruuvi	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Esijännitystä ei vaadita. Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9. $B_{p,Rd}$, ks. taulukko 4.
E Esijännitetty ruuvi	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. $B_{p,Rd}$, ks. taulukko 4.
Vetovoiman mitoitusarvoon lasketaan mukaan vipuvaikutus ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.11. Ruuvit, joihin kohdistuu sekä veto- että leikkausvoima, tarkistetaan lisäksi taulukon 7 mukaiselle yhteisvaikutukselle.		

3.3.1 Leikkausvoiman kuormittamat kiinnitykset

Ruuvikiinnitykset, joita kuormittaa leikkausvoima, jaetaan kolmeen luokkaan A, B ja C.

Kiinnitysluokka A

Kyseessä on reunapuristustyyppinen kiinnitys. Tässä luokassa ruuveja ei tarvitse esijännittää eikä liitettyjen osien pinnoille aseteta erityisvaatimuksia. Leikkausrasituksen mitoitusarvon tulee olla alle sekä taulukon 7 mukaisen leikkauskestävyyden että taulukon 7 reunapuristuskestävyyden mitoitusarvon ja alle standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 3.7. (2, s. 319; 3, s. 22.)

Standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdassa 3.7 esitetään kiinnitinryhmän kestävyyden määrittäminen yksittäisten kiinnittimien reunapuristuskestävyyksien mitoitusarvojen summana edellytyksenä, että jokaisen yksittäisen kiinnittimen leikkauskestävyyden mitoitusarvo on suurempi tai yhtä suuri kuin yksittäisen kiinnittimen reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo. Jos edellä oleva edellytys ei täyty, kiinnitinryhmän kestävyyden mitoitusarvo määritellään kiinnitinryhmän pienimmällä yksittäisen ruuvien kestävyyden mitoitusarvolla. Mitoitusarvo valitaan sen mukaan, kumpi on pienempi leikkauskestävyyden mitoitusarvo vai reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo, joka kerrotaan ruuvien lukumäärällä. (2, s. 319; 3, s. 22.)

Kiinnitysluokka B

Kiinnitysluokka B käsittää käyttörajatilassa liukumisen kestävät kiinnitykset. Luokassa käytetään esijännitettyjä, standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 3.1.2(1) mukaisia, ruuveja. Liukumista ei saa käyttörajatilassa tapahtua. Leikkausrasituksen mitoitusarvo käyttörajatilassa ei saa ylittää standardissa SFS-EN 1993-1-8 kohdassa 3.9 esitettyä liukumiskestävyyden mitoitusarvoa. Leikkausrasituksen mitoitusarvo murtorajatilassa ei saa ylittää kiinnitysluokan A tavoin määriteltyjä leikkauskestävyyden ja reunapuristuskestävyyden mitoitusarvoja. (2, s. 319; 3, s. 22.)

Kiinnitysluokka C

Kiinnitysluokkaan C puolestaan kuuluu murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys. Luokassa käytetään esijännitettyjä standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 3.1.2(1) mukaisia ruuveja. Murtorajatilassa liukumista ei sallita. Leikkausrasituksen mitoitussarvo murtorajatilassa ei saa ylittää standardissa SFS-EN 1993-1-8 kohdassa 3.9 esitettyä liukumiskestävyyden mitoitussarvoa. Leikkausrasituksen mitoitussarvo murtorajatilassa ei saa ylittää kohdassa kiinnitysluokka A tavoin määritettyä reunapuristuskestävyyden mitoitussarvoa. Lisäksi tulee tarkistaa vedetyssä kiinnityksessä, ruuvien reikien kohdalla, nettopoikkileikkauksen plastiisuusteorian mukainen vetokestävyys murtorajatilassa. (2, s. 319-320; 3, s. 22.)

3.3.2 Vetovoiman rasittamat kiinnitykset

Vetovoiman rasittamat kiinnitykset jaetaan luokkiin D ja E.

Kiinnitysluokka D

Kiinnitysluokkaan D kuuluvat kiinnitykset, joissa käytetään esijännittämättömiä ruuveja. Kiinnitysluokkaa ei ole sallittua käyttää silloin, kun kiinnityksiin kohdistuu usein vaihtelevaa vetovoimaa. Kiinnitysten käyttö on kuitenkin sallittua tapauksissa, joissa kiinnityksiin kohdistuu normaaleja tuulikuormia. (2, s. 320; 3, s. 22.)

Kiinnitysluokka E

Tämän luokan kiinnityksissä käytetään esijännitettyjä ruuveja. Ruuvien tulee olla standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 1.2.7 viitestandardiryhmän 7 mukaan kontrolloidusti esijännitettyjä luokan 8.8 tai 10.9 ruuveja. (2, s. 320; 3, s. 22.)

3.4 Ruuvikiinnityksen kestävyysmitoituksen pääperiaatteet

Yksittäisten ruuvikiinnikkeiden kestävyysmitoitussarvot esitetään taulukossa 7, kun kiinnikkeeseen kohdistuu veto- ja/tai leikkausvoima. Eri kokoisten ruuvien leikkauskestävyyksiä on taulukoitu muun muassa Ruukin hitsatut profiilit käsikirjassa sivulla 327 ja vetokestävyys sivulla 335. (2, s. 327, 335.)

TAULUKKO 7. Ruuvikiinnitysten kestävyiden mitoitusarvot (3, s. 28-29)

Murtumismuoto	Ruuvit
Leikkauskestävyys leikettä kohti	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$ <p>- kun ruuvin kierteen leikkaustasossa (A on ruuvin jännityspoikkipinta-ala A_s)</p> <ul style="list-style-type: none"> - $\alpha_v = 0,6$ (lujuusluokat 4.6, 5.6, 8.8) - $\alpha_v = 0,5$ (lujuusluokat 4.8, 5.8, 6.8, 10.9) <p>- kun kierteetön osa leikkaustasossa käytetään bruttopoikkileikkauksen pinta-alaa A</p> <ul style="list-style-type: none"> - $\alpha_v = 0,6$
Reunapuristuskestävyys ^{1), 2), 3)}	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$ <p>missä α_b on pienin arvoista α_d; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ja 1,0</p> <p>siirrettävän voiman suunnassa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - levyn pään ruuveille: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$; - muille kuin pään ruuveille: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ <p>kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - reunarivin ruuveille: k_1 on pienin arvoista $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5 - muille kuin pään ruuveille: k_1 on pienin arvoista $1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5
Vetokestävyys ²⁾	$F_{tRd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>missä $k_2 = 0,63$ uppokantaisille ruuveille, muissa tapauksissa $k_2 = 0,9$</p>

Ruuvin ja mutterin lävistymiskestävyys	$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2}$
Yhdistetty leikkaus- ja vetovoima	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$
<p>1) Ruuvien reunapuristuskestävyys $F_{b,Rd}$</p> <ul style="list-style-type: none"> - ylisuurissa rei'issä $F_{b,Rd}$ on 0,8 kertaa reunapuristuskestävyys, joka vastaa reunapuristuskestävyyttä, kun käytetään tavallista välystä. - Pidennetyissä rei'issä, kun reiän pituussuuntainen akseli on kohtisuorassa vaikuttavan voiman suhteen, $F_{b,Rd}$ on 0,6 kertaa vastaava kestävyys, kun ruuvit ovat tavallisissa pyöreissä rei'issä. - Yksileikkeisissä päällekkäisliitoksissa, joissa vain yksi ruuvirivi, reunapuristuskestävyys rajoitetaan arvoon $F_{b,Rd} \leq 1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$ <p>2) Uppokantaiset ruuvit:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reunapuristuskestävyyttä $F_{b,Rd}$ laskettaessa kyseeseen tulevan liitettävän levyn paksuutta t pienennetään arvolla, joka on puolet upotuksen syvyydestä. - Vetokestävyyttä $F_{t,Rd}$ laskettaessa upotuksen syvyys ja kulma valitaan kohdan standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 1.2.4 mukaisen viitestandardiryhmän 4 kyseeseen tulevan standardin mukaisesti. Muussa tapauksessa vetokestävyyttä muutetaan vastaavasti. <p>3) Kun ruuviin kohdistuva voima ei ole pääteisyyden suuntainen, reunapuristuskestävyys voidaan laskea tarkistamalla reunapuristuskestävyys pääteisyyden suuntaiselle ja sitä vastaan kohtisuoralle komponentille erikseen.</p>	

Standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 3.1.2(1) täyttävälle ruuveille käytetään esijännitysvoimaksi laskelmissa $F_{p,C}$ -arvoa, joka voidaan laskea kaavalla 1. Esijännitysvoimien minimiarvoja eri ruuveille on esitetty taulukossa 8. (3, s. 25-26; 11, s. 61.)

$$F_{p,C} = 0,7f_{ub} \cdot A_s$$

KAAVA 1

TAULUKKO 8. Esijännitysvoima $F_{p,C}$ (11, s. 61)

Lujuus- luokka	Ruuvien halkaisija (mm)								
	12	14	16	18	20	22	24	30	36
8.8	47	65	88	108	137	170	198	314	458
10.9	59	81	110	134	172	212	247	393	572

Esijännitettyjen ruuvien kiristäminen tulee tehdä standardissa SFS-EN 1090-2 esitetyillä kiristysmenetelmillä. Näitä menetelmiä ovat vääntömomentti-, yhdistetty-, HRC-kiristys- ja suoran vedon ilmaisuun perustuva DTI-menetelmä. Taulukkoon 9 on laskettu vääntömomentin $M_{r,2}$ -arvoja, joissa k_m -arvona on käytetty 0,14 ja $F_{p,C}$ -arvoina taulukon 8 arvoja. Taulukon arvot ovat suuntaa antavia. (11, s. 63.)

TAULUKKO 9. Vääntömomentti $M_{r,2}$ (Nm)

Lujuus- luokka	Ruuvien halkaisija (mm)								
	12	14	16	18	20	22	24	30	36
8.8	79	127	197	272	384	524	665	1319	2308
10.9	99	159	246	338	482	656	830	1651	2883

$M_{r,i}$ -arvot saadaan kaavoista 3 ja 4. Kaava 2 on tarkoitettu K2-luokan ja kaava 3 K1-luokan mukaiselle k-arvolle.

$$M_{r,2} = k_m \cdot d \cdot F_{p,c} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$M_{r,1} = 0,125 \cdot d \cdot F_{p,C} \quad \text{KAAVA 3}$$

k_m = luokan K2 mukainen k-arvo, jonka valmistaja ilmoittaa.

Vääntömomenttimenetelmässä kiristys tulee tehdä ainakin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa väännin säädetään arvoon $\sim 0,75 \times M_{r,i}$, kun $M_{r,i} = M_{r,2}$. Kaikki kiinnityksen ruuvit on kiristettävä ennen siirtymistä toiseen vaiheeseen. Toisessa vaiheessa väännin säädetään arvoon $1,1 \times M_{r,2}$. (11, s. 63.)

Ruuvikiinnitysluokkien B ja C liukumiskestävissä kiinnityksissä ruuvit, jotka on esijännitetty, puristavat pinnat toisiaan vasten ja estävät näiden liukumisen toisiinsa nähden. Liukumiskestävyyden mitoitusarvo esijännitetyille lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 ruuveille saadaan kiinnitysluokalle B kaavasta 4 ja kiinnitysluokalle C kaavasta 5. (2, s, 338.)

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} \cdot F_{p,C} \quad \text{KAAVA 4}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \quad \text{KAAVA 5}$$

k_s = arvot esitetään taulukossa 10

n = kitkapintojen lukumäärä

μ = kitkakerroin, joka valitaan taulukosta 11 tai määritetään kokeellisesti käytettävälle kitkapinnalle kohdan 1.2.7 mukaisen viitestandardien mukaan. (3, s. 32-33.)

TAULUKKO 10. k_s : n arvot (3, s. 33)

Kuvaus	k_s
Ruuvit ovat normaaleissa pyöreissä rei'issä.	1,0
Ruuvit ovat ylisuurissa rei'issä tai lyhyissä pidennetyissä rei'issä. Pidennetyn reiän pituussuuntainen akseli on kohtisuorassa suunnassa vaikuttavan voiman kanssa.	0,85
Ruuvit ovat pitkissä pidennetyissä rei'issä. Pidennetyn reiän pituussuuntainen akseli on kohtisuorassa suunnassa vaikuttavan voiman kanssa.	0,7
Ruuvit ovat lyhyissä pidennetyissä rei'issä. Pidennetyn reiän pituussuuntainen akseli on yhdensuuntainen vaikuttavan voiman kanssa.	0,76
Ruuvit ovat pitkissä pidennetyissä rei'issä. Pidennetyn reiän pituussuuntainen akseli on yhdensuuntainen vaikuttavan voiman kanssa.	0,63

TAULUKKO 11. Kitkakertoimen μ taulukkoarvoja (3, s. 33)

Kitkakerroinluokka (ks. EC3 1993-1-8, kohta 1.2.7 mukainen viitestandardiryhmä)	Kitkakerroin μ
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

Huomioita:

1. Testaus- ja tarkastusvaatimukset esitetään kohdan 1.2.7 viitestandardiryhmän 7 standardeissa. (SFS-EN 1993-1-8)
2. Muiden pintakäsittelyjen kitkakerroinluokka määritetään käyttäen rakenteessa käytettävää pintaa edustavia koekappaleita ja käyttämällä SFS-EN 1993-1-8 kohdan 1.2.7 viitestandardiryhmän 4 standardin mukaisia koemenetelmiä.
3. Kitkakerroinluokkiin liittyviä kitkapintoja koskevat määritelmät esitetään kohdan 1.2.7 viitestandardiryhmän 7 standardissa.
4. Maalattuja pintoja käytettäessä esijännitysvoima voi pienentyä ajan myötä.

3.5 Liitoksien murtumistyyppinä

Ruuviliitosten osalta murtumistyyppinä ovat muun muassa palamurtuminen sekä ekvivalentin T-osan avulla määriteltävät murtumismallit. Tässä opinnäytetyössä perehdytään tarkemmin palamurtumiseen ja ekvivalenttiin T-osaan.

3.5.1 Palamurtuminen

Palamurtumista tapahtuu, kun vedon rasittamalla pinta-alalla tapahtuu samanaikaisesti myös leikkausmyötäämistä leikkauksen rasittamalla pinta-alalla. Murtuminen tapahtuu ruuvien keskilinjoja pitkin nettopoikkileikkauksessa. Palamurtu-

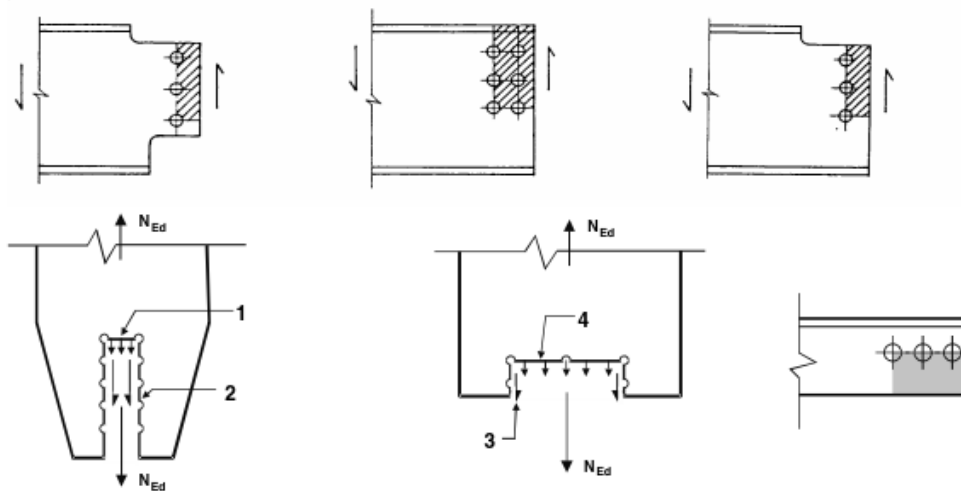
mista havainnollistetaan kuvassa 6. Palamurtumiskestävyuden mitoitusarvo saadaan symmetriselle ruuviryhmälle, johon kohdistuu keskeinen kuorma, kaavasta 5 ja kaavasta 6, kun ruuviryhmään kohdistuu epäkeskeinen kuorma. (2, s. 340-341; 3, s. 34-35; 10, s. 48-50.)

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad \text{KAAVA 5}$$

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad \text{KAAVA 6}$$

A_{nt} = vedon rasittama nettopinta-ala

A_{nv} = leikkauksen rasittama nettopinta-ala.



1. Pieni vetovoima
2. Suuri leikkausvoima
3. Pieni leikkausvoima
4. Suuri vetovoima

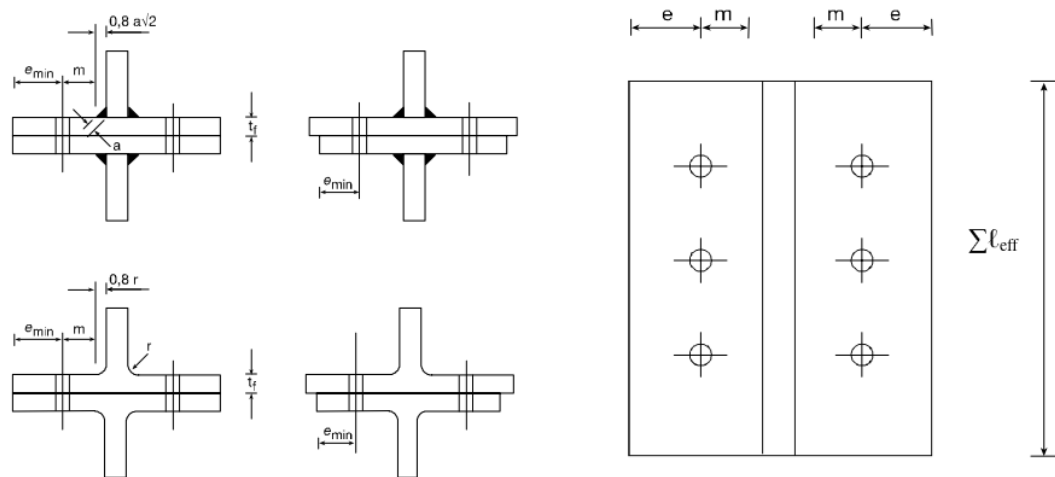
KUVA 6. Palamurtuminen (3, s. 35)

3.5.2 Ekvivalentti T-osa

Seuraavien ruuviliitosten komponenttien kestävyysmitoitussarvojen mallintamiseksi voidaan käyttää vedettyä ekvivalenttia T-osaa:

- päätylevyn taivutus
- laipan kulmateräksen taivutus
- pilarin laipan taivutus
- pilarin pohjalevyn taivutus, kun pilarin pohjalevyyn kohdistuu vetovoima.

Ekvivalentin T-osan laipan arvojen e_{\min} , ℓ_{eff} ja m mittojen määrittäminen esitetään kuvassa 7. Teholliseksi kokonaispituudeksi $\Sigma \ell_{\text{eff}}$ valitaan arvo, jolla laipan kestävyysmitoitussarvo on yhtä suuri kuin sitä kuvaavan liitoksen kestävyysmitoitussarvo. (3, s. 72.)



KUVA 7. Laipan mittoja ekvivalentissa T-osassa (3, s. 73)

Ekvivalentin T-osan laipan vetokestävyysmitoitussarvo määritellään taulukon 12 mukaisesti. Mikäli vipuvoimia voi syntyä, määritellään vetokestävyysmitoitussarvo $F_{T,Rd}$ taulukon 12 mukaan valitsemalla pienin kolmesta mahdollisista murtumuotoa vastaavista arvoista. Jos vipuvoimia ei voi syntyä, valitaan vetokestävyysmitoitussarvoksi $F_{T,Rd}$, joka on pienempi kahdesta mahdollisesta murtumismallista taulukon 12 mukaisista arvoista. (3, s. 72; 12, s. 17.)

TAULUKKO 12. T-osan laipan kestävyysarvo $F_{t,Rd}$ (3, s. 74)

	Vipuvoimia voi syntyä, jos $L_b \leq L_b^*$		Vipuvoimia ei voi syntyä
Murtumis- malli 1	Menetelmä 1	Menetelmä 2 (vaihtoehtoinen menetelmä)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Taustalevyjä ei käytetä	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) \cdot M_{pl,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
Taustalevyjä käytetään	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) \cdot M_{pl,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
Murtumis- malli 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\sum F_{t,Rd}}{m + n}$		
Murtumis- malli 3	$F_{T,2,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		
<p>Murtumismalli 1: Täyden mekanismin syntyminen laipassa Murtumismalli 2: Ruuvin murtuminen, kun laippa samanaikaisesti myötää Murtumismalli 3: Ruuvin murtuminen L_b on</p> <ul style="list-style-type: none"> - ruuvin venymäpituus. Arvoksi valitaan liitospaksuus (liittyvät materiaalit + aluslaattojen yhteenlaskettu paksuus) lisättynä arvolla, joka on puolet ruuvin kannan ja mutterin yhteenlasketusta paksuudesta tai; - perustusruuvin venymäpituus, jonka pituudeksi valitaan kahdeksan kertaa perustusruuvin halkaisija + jälkivalun paksuus + pohjalevyn paksuus + aluslaatan paksuus + puolet mutterin korkeudesta. $L_b^* = \frac{8,8m^3 \cdot A_s}{\sum \ell_{eff,1} \cdot t_f^3}$ <p>$F_{T,Rd}$ on laipan T-osan vetokestävyysarvo Q on vipuvoima $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$ $M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$ $M_{bp,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$ $n = e_{min}$, mutta $n \leq 1,25m$</p>			

$F_{t,Rd}$ on ruuvien vetokestävyyden mitoitusarvo, ks taulukko 5.

$\Sigma F_{t,Rd}$ on kaikkien T-osan ruuvien vetokestävyyksien $F_{t,Rd}$ summa

$\Sigma l_{eff,1}$ on Σl_{eff} :n arvo murtumismallissa 1;

$\Sigma l_{eff,2}$ on Σl_{eff} :n arvo murtumismallissa 2;

e_{min} , m ja t_t ovat kuvan 5 mukaisia suureita

$f_{y,bp}$ on taustalevyjen myötöraja;

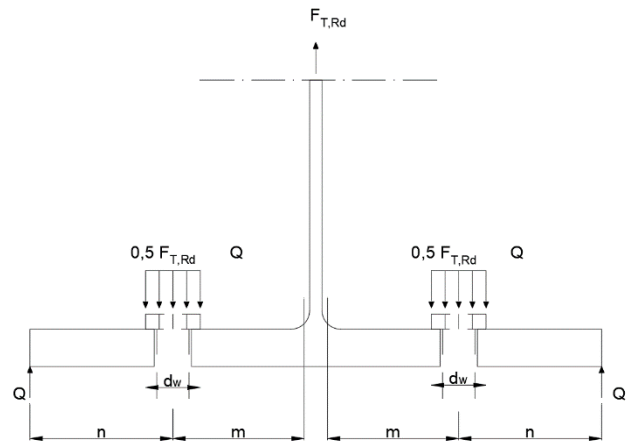
t_{bp} on taustalevyn paksuus;

$e_w = d_w / 4$;

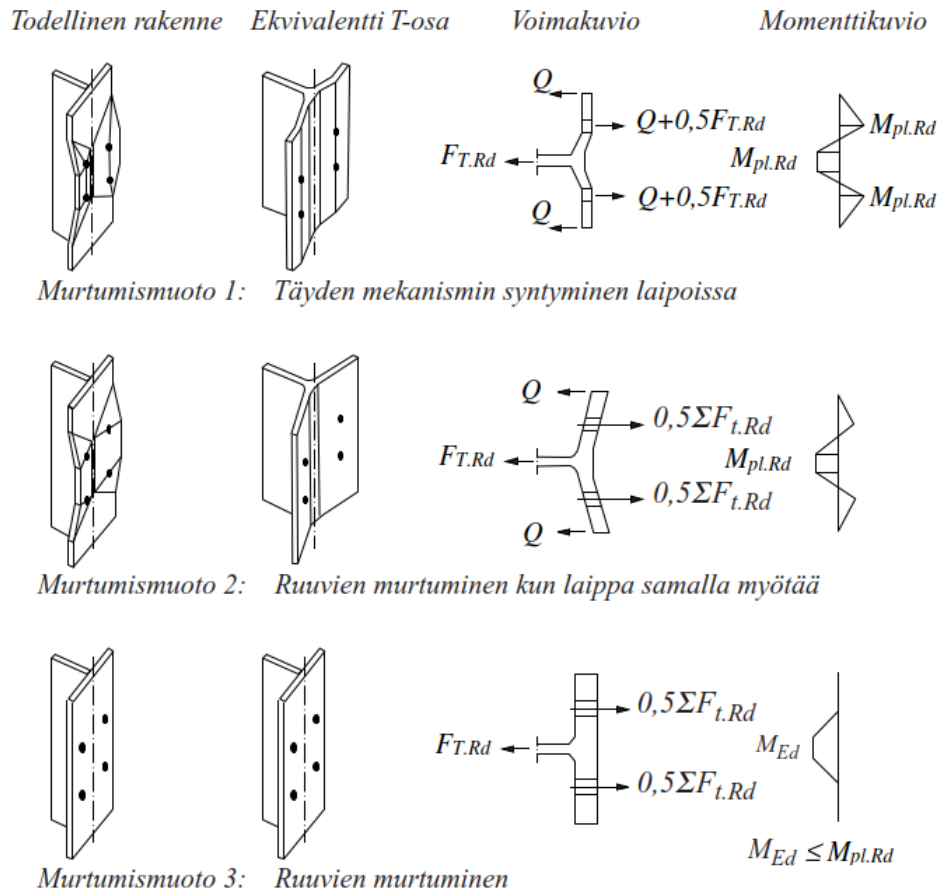
d_w on aluslaatan halkaisija, tai mutterin avainväli tai ruuvien kannan tarkasteltavasta tapauksesta riippuen.

Huom. 1: Pilari-palkki ruuviliitoksissa ja palkki-palkki jatkoksissa voidaan olettaa syntyvän vipuvoimia.

Huom. 2: Menetelmä 2 oletuksena on, että ruuvien kautta T-osan laippaan vaikuttava voima jakautuu tasaisesti. Menetelmä 2 johtaa suurempiin kestävyysarvoihin murtumismallissa 1.



Murtumismuodot, voimakuviot ja momenttikuviot kolmelle eri tapaukselle on esitetty kuvassa 8.



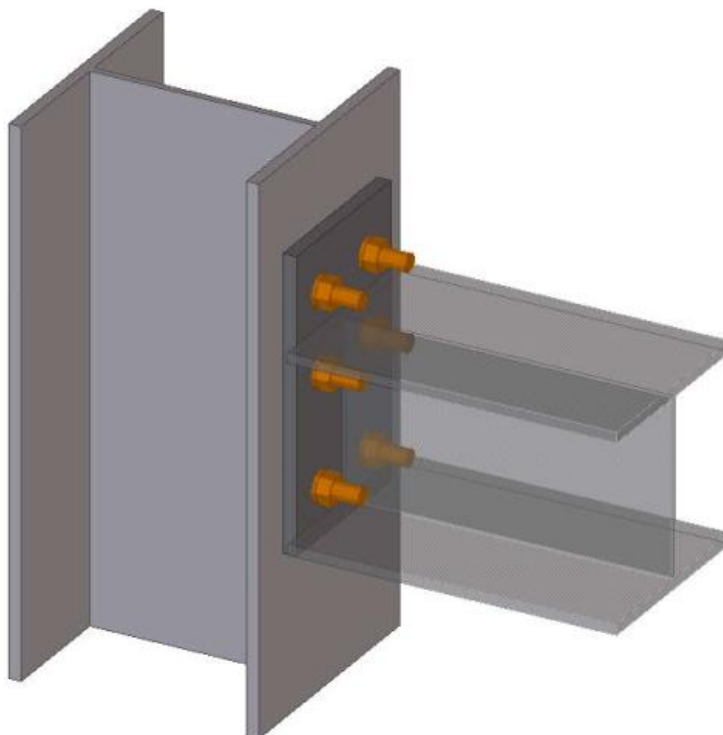
KUVA 8. Ekvivalentin T-osan murtumismuodot (2, s. 382)

3.6 Liitostyypit

Opinnäytetyö on rajattu kattamaan yleisimpiä käytössä olevia teräsrakenteiden liitoksia. Luvuissa 3.6.1 – 3.6.6 esitellään yleisimpiä liitostyyppejä sekä näiden liitoksen kestävyyksien laskemiseen tarvittavia peruskomponentteja liitostyypeittäin.

3.6.1 Momenttiliitos, päätylevy

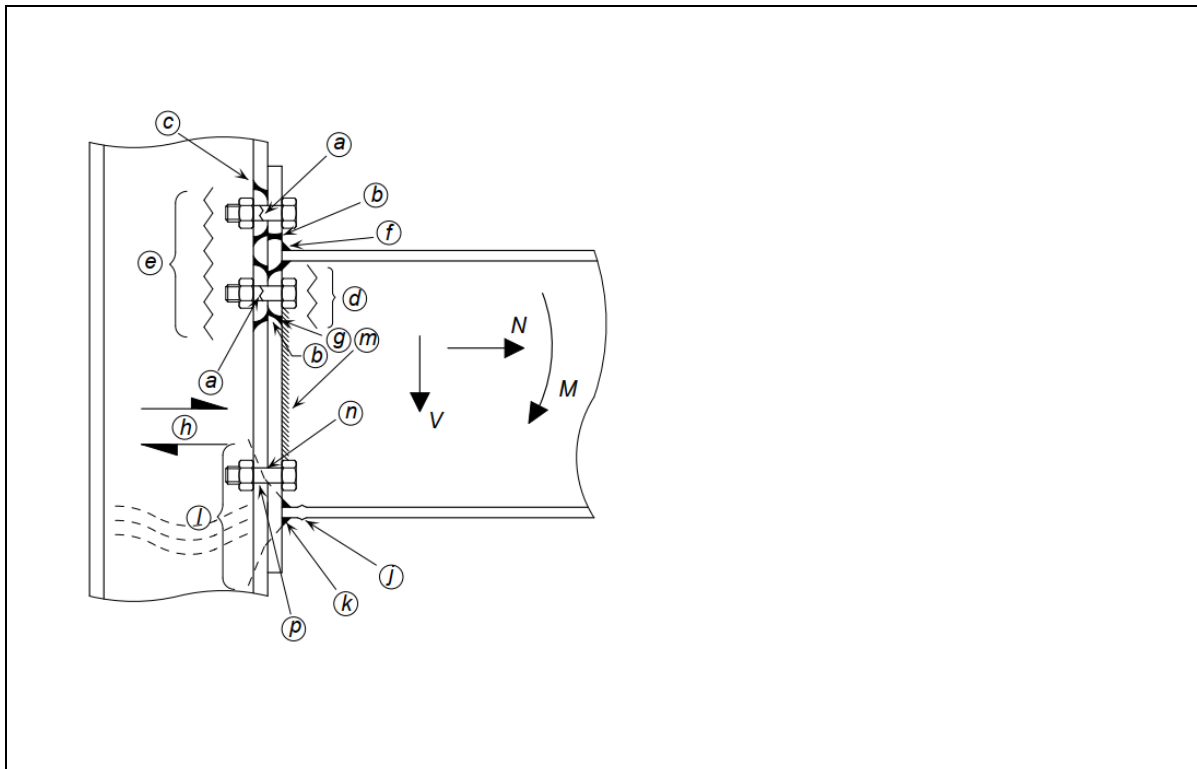
Päätylevyjen osalta momenttiliitos voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 9 mukaisesti. Liitoksessa yläreunan pultit estävät palkin päätä kiertymästä, mikä aiheuttaa liittyvän palkin ylälaipan alueen kiinnityksille vetoa. Liittyvän palkin alalaipan alueelle aiheutuu puristusta.



KUVA 9. Pilarin ja palkin välinen momenttijäykkä liitos (5)

Momenttijäykässä liitoksessa esiintyviä rasituksia on esitetty taulukossa 13. Taulukossa rasitukset on jaettu neljään eri vyöhykkeeseen. Usein liitos vaatii jäykkeitä pilariin liittyvän palkin laippojen kohdille. Jäykisteiden paksuudeksi kannattaa yleensä valita saman paksuiset levyt kuin liittyvän palkin laipat. (6, s. 194.)

TAULUKKO 13. Momenttiliitoksen tarkasteltavat komponentit (7, s. 6)

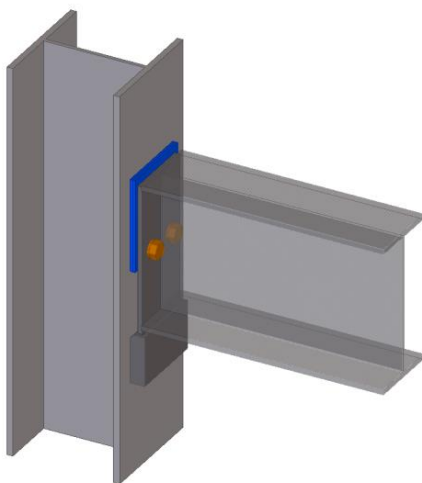


ALUE		Komponentti
Veto	a	Pultin veto
	b	Päätylevyn taipuminen
	c	Pilarin laipan taipuminen
	d	Palkin uuman veto
	e	Pilarin uuman veto
	f	Palkin ylälaipan hitsi päätylevyyn
	g	Palkin uuman hitsi päätylevyyn

Vaakasuuntainenleikkaus	h	Pilarin uuman leikkautuminen
Puristus	j	Palkin alalaipan puristuminen
	k	Palkin alalaipan hitsi päätylevyyn
	l	Pilarin uuman puristuminen
Pystysuuntainenleikkaus	m	Palkin uuman hitsi päätylevyyn
	n	Pultin leikkautuminen
	p	Pultin reunapuristukset (levy tai pilarin laippa)

3.6.2 Konsolilevyliitos, nivelliitos

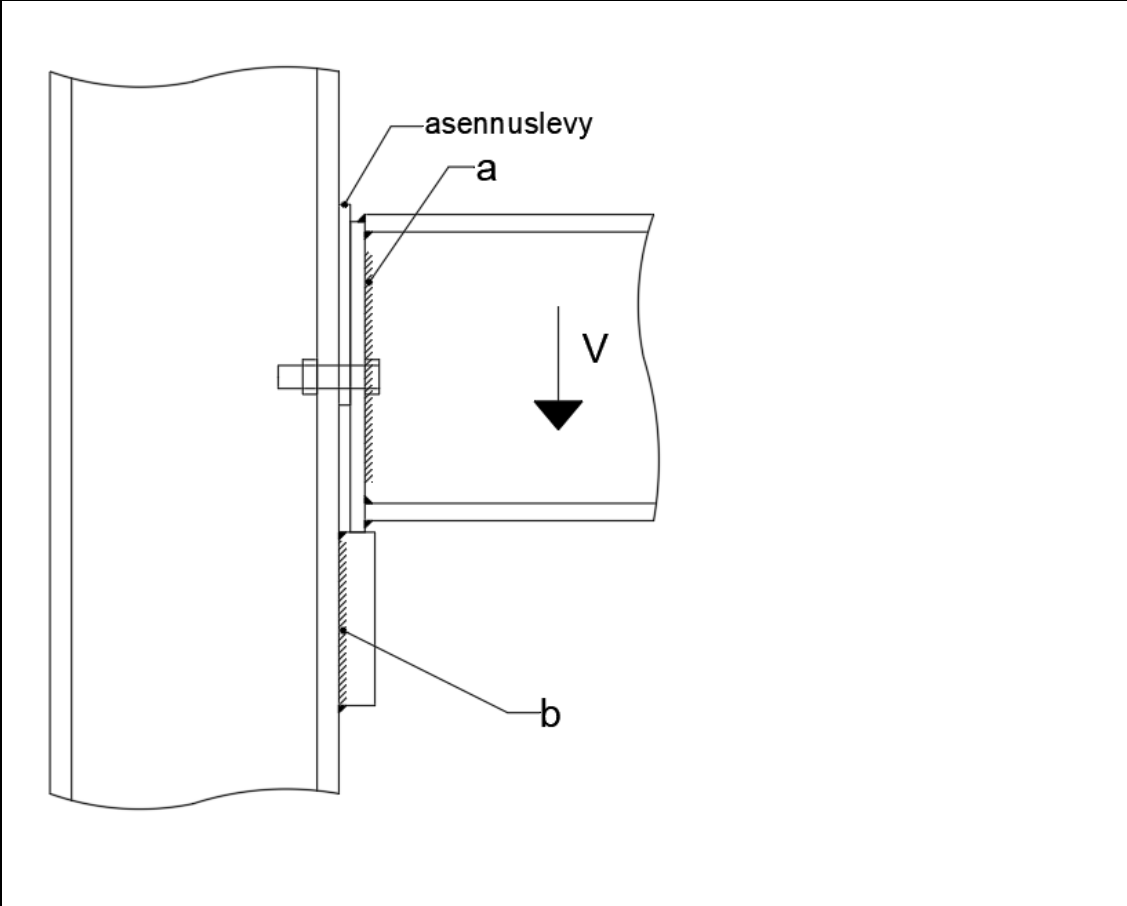
Niveellinen konsolilevyliitos tulee suunnitella siten, ettei liitokseen pääse syntymään huomattavaa momenttia. Liitoksessa pultit tulee sijoittaa palkin keskilinjan ja alalaipan välille, jotta palkin yläpään kiertyminen ei rajoitu. Kuvassa 10 on esitetty yksi tapa tehdä nivelliitos pilarin ja palkin välille. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota siihen, että palkin pään on mahdollista kiertyä mahdollisimman vapaasti. (2, s. 387-389.)



KUVA 10. Pilarin ja palkin nivelliitos (5)

Kun liitos toteutetaan nivelenä, on rakenteen kokonaistarkastelu hieman yksinkertaisempaa. Palkin maksimimomentin arvo ja taipuma kuitenkin kasvaa, jolloin palkista tulee hieman raskaampi. Jos asiaa katsotaan toiselta kannalta, pilareiden toteuttaminen onnistuu usein kevyempinä, koska pilareihin ei kohdistu palkilta tulevaa taivutusmomenttia. Taulukossa 14 on esitelty konsolilevyliitoksessa esiintyviä rasituksia. (2, s. 303.)

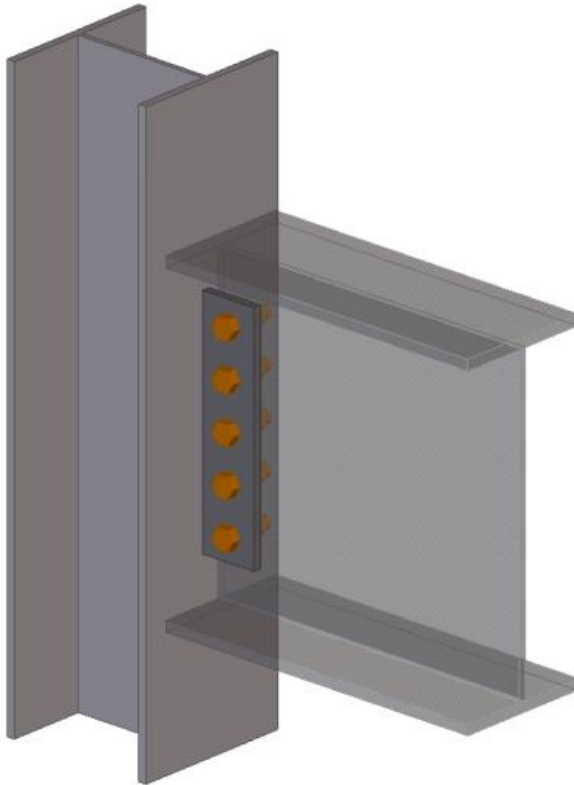
TAULUKKO 14. Konsolilevyliitoksen tarkasteltavat komponentit



Alue		Komponentti
Pystysuuntainenleikkaus	a	Palkin uuman hitsi päätylevyyn
	b	Konsolilevyn hitsi pilarin laippoihin

3.6.3 Leikkauslevyliitos

Leikkauslevyliitos on suosittu, koska sen asennus on nopea suorittaa. Leikkauslevyliitoksen laskennassa liitos katsotaan niveleksi. Liitoksen ei oleteta siirtävän taivutusmomenttia. Suunnittelussa on otettava huomioon liitoksen riittävä kiertymiskyky. Leikkauslevyn pituudeksi on hyvä valita vähintään $0,6$ x liittyvän palkin korkeus. Kuvassa 11 on esitetty esimerkkiratkaisu leikkauslevyliitoksesta ja taulukossa 15 on esitetty liitoksessa vaikuttavia rasituksia. (4, s. 108-112.)



KUVA 11. Leikkauslevyliitos (5)

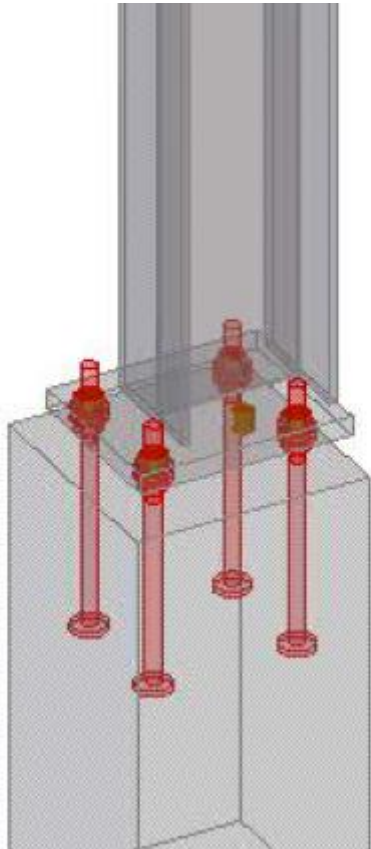
TAULUKKO 15. Leikkauslevyliitoksen tarkasteltavat komponentit

Alue		Komponentti
Pystysuuntainenleikkaus	a	Pultin leikkautuminen
	b	Levyn hitsi pilarin laippaan
	c	Levyn ja palkin uuman reunapuristus
	d	Levyn ja palkin uuman palamurtuminen

3.6.4 Pilariperustusliitos

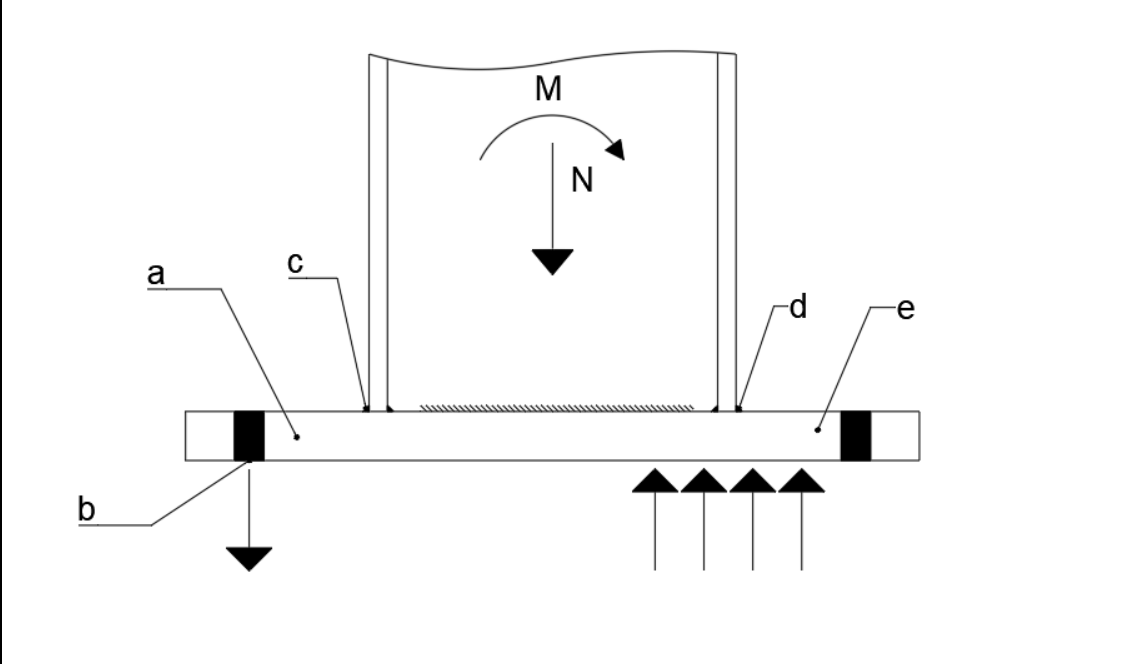
Yleinen ratkaisu on pilarin alapäähän hitsattava pohjalevy, joka kiinnitetään perustuspuiteilla perustukseen. Pohjalevy tulee suunnitella riittävän jäykäksi, suureksi ja kestäväksi, jotta pilarissa vaikuttavat sisäiset voimat saadaan siirrettyä perustukselle ilman sen kestävyiden ylittämistä. Pohjalevyn ja peruspilarin väliin tehdään jälkivalu. Perustuspuittit valitaan leikkauskestävyyden, vetokestävyiden

tai yhdistetyn veto- ja leikkauskestävyyden perusteella. Kuvassa 12 on esitetty yksi esimerkkiratkaisu pilarin liitoksesta perustukseen. Taulukossa 16 on esitelty liitoksessa vaikuttavia rasituksia. (2, s. 401.)



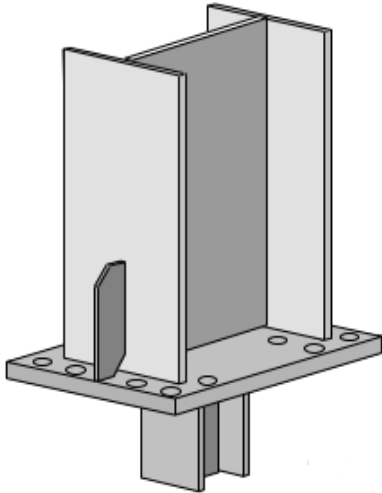
KUVA 12. Pilarin liitos perustukseen (5)

TAULUKKO 16. Pilariperustusliitoksen tarkasteltavat komponentit



Alue		Komponentti
Veto	a	Vetovoimasta aiheutuva pohjalevyn taivutus
	b	Perustuspultin vetokestävyys
	c	Pohjalevyn ja pilarin laipan hitsit
Puristus	d	Pohjalevyn ja pilarin laipan hitsit
	e	Puristusvoimasta aiheutuva pohjalevyn taivutus

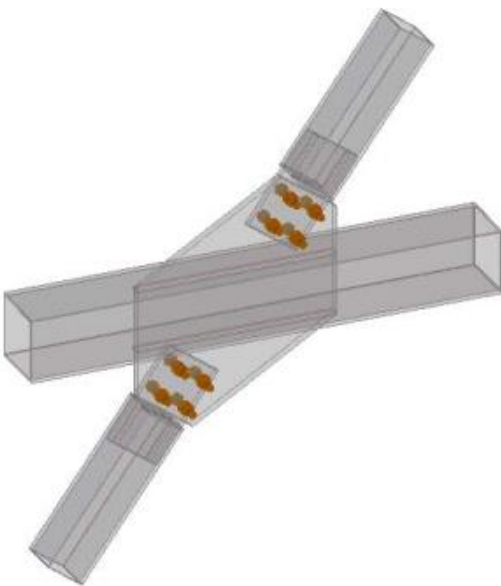
Leikkausvoiman siirtäminen ei aina onnistu pohjalevyn ja tuen välisen kitkan, perustuspulttien leikkauskestävyyksien tai ympäröivän perustuksen osan leikkautumisen avulla. Tällöin pohjalevyn alapintaan voidaan hitsata vaarnaprofiili kuvan 13 mukaisesti. Profiili mitoitetaan kantamaan leikkausvoima yhdessä tai kahdessa suunnassa pääakselin suhteen. Perustuspultit voidaan tässä tapauksessa mitoittaa vedolle sekä asennuksen aikaiselle puristukselle. (2, s. 404.)



KUVA 13. Pohjalevyyn lisätty vaarnaprofiili (2, s. 403)

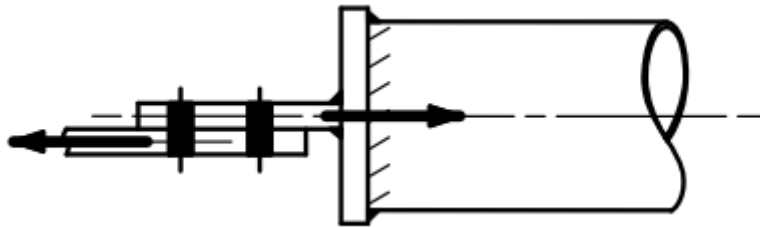
3.6.5 Sideliitos

Sideliitos mitoitetaan sauvassa vaikuttavien normaalivoimien mukaan. Yleensä liitos toteutetaan yksileikkeisenä ruuviliitoksena. Siteen päähän leikataan lovi, johon asetetaan levy, joka hitsataan kiinni rakenneputkeen. Tämä on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Sideliitos (5)

Vaihtoehtoinen ratkaisu rakenneputken loveukselle on hitsata levy rakenneputken pätyyn. Levyyn hitsataan sitä vastaan kohtisuorassa oleva toinen levy. Kyseinen ratkaisu on esitetty kuvassa 15. Rakenneosassa, johon side liitetään, on vastaavasti hitsattu levy, johon side kiinnitetään ruuvein. Taulukossa 17 on esitelty liitoksessa vaikuttavia rasituksia. (4, s. 258-260.)



KUVA 15. Sideliitos (4, s. 258)

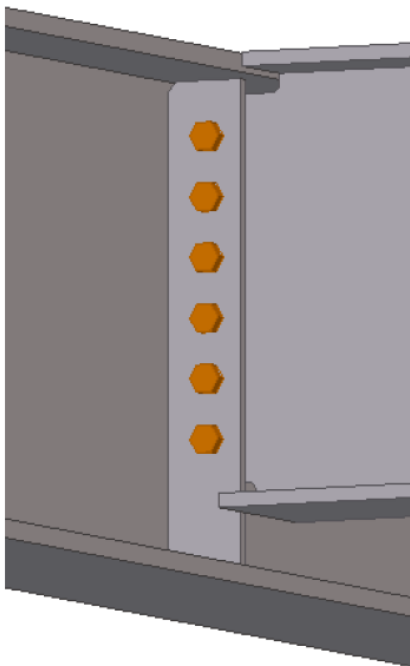
TAULUKKO 17. Sideliitoksen tarkasteltavat komponentit

Alue		Komponentti
Veto	a	Ruuvien leikkautuminen
	b	Reunapuristuskestävyys
	c	Levyjen palamurtuminen
	d	Rakenneputken hitsi levyyn

Puristus	a	Ruuvien leikkautuminen
	b	Reunapuristus
	c	Levyjen palamurtuminen
	d	Rakenneputken hitsi levyyn

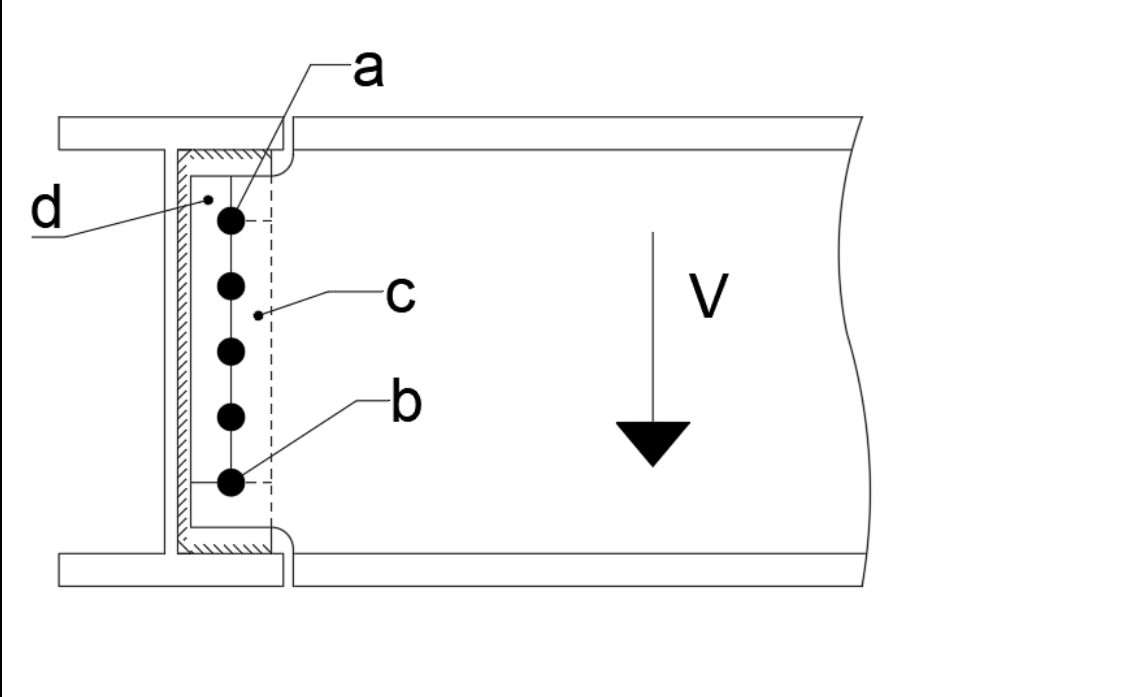
3.6.6 I-palkki - I-palkkiliitos

Tyypillinen liitos kahden I-profiili palkin välillä tehdään hitsaamalla primääripalkkiin levy, johon sekundääripalkki liitetään ruuvikiinnikkein. Sekundääripalkki yleensä lovetaan ylä- ja alalaipan alueelta. Kuvassa 16 on esitetty esimerkkiratkaisu. Taulukossa 18 on esitelty liitoksessa vaikuttavia rasituksia.



KUVA 16. I-palkki - I-palkkiliitos (5)

TAULUKKO 18. I-palkki - I-palkkiliitoksen tarkasteltavat komponentit

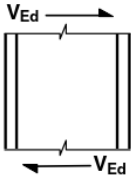
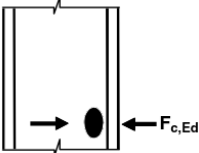
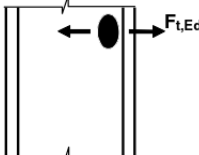
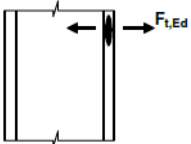
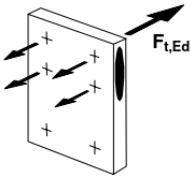


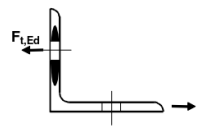
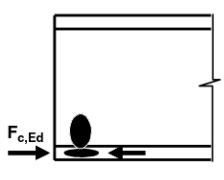
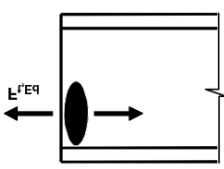
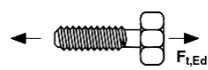
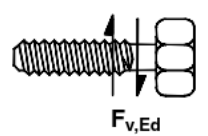
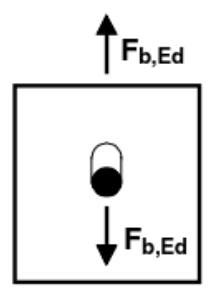
Alue		Komponentti
Pystysuuntainenleikkaus	a	Ruuvien leikkautuminen
	b	Reunapuristus (levy ja sek.palkin uuma)
	c	Levyn palamurtuminen
	d	Palkin uuman palamurtuminen

Liitoksen peruskomponentit

Liitoksessa esiintyvien peruskomponenttien kestävyysarvon, jäykkyyden ja kiertymiskyvyn määrittelemiseksi tulee seurata standardin SFS-EN 1993-1-8 soveltamissääntöjä. Taulukossa 19 on lueteltu eri peruskomponenttien osalta, mitä standardin sääntöä tulee soveltaa. (3, s. 67-68.)

TAULUKKO 19. Peruskomponentit liitoksissa (3, s. 67-68)

Komponentti			Viittaus soveltamissääntöön		
			Kestävyyden mitoitusarvo	Jäykkyys- tekijä	Kiertymis- kyky
1	Pilarin uuman leikkaus		6.2.6.1	6.3.2	6.4(4)
2	Pilarin uuman poikittainen puristus		6.2.6.2	6.3.2	6.4(5) ja 6.4(6)
3	Pilarin uuman poikittainen veto		6.2.6.3	6.3.2	6.4(5)
4	Pilarin laipan taivutus		6.2.6.4	6.3.2	6.4(7)
5	Päätylevyn taivutus		6.2.6.5	6.3.2	6.4(7)

6	Laipan kulma- teräksen tai- vutus		6.2.6.6	6.3.2	6.4(7)
7	Palkin tai pila- rin laipan ja uuman puris- tus		6.2.6.7	6.3.2	-
8	Palkin uuman veto		6.2.6.8	6.3.2	-
9	Vedetyt ruuvit		Pilarin laippa: - 6.2.6.4 päätylevy: - 6.2.6.5 laipan kulma- teräs: - 6.2.6.2	6.3.2	6.4(7)
10	Ruuvien leik- kaus		3.6	6.3.2	6.4(2)
11	Ruuvit joihin kohdistuu reu- napuristus (pääty- tai kul- malevyssä, pi- larin tai palkin laipassa)		3.6	6.3.2	-
12	Hitsit		4	6.3.2	-

4 HITAUSKIINNITYKSET JA LIITOSTYYPIT

Työmaalla tehtyjen hitsausten laadunvarmistus on työmaalla vaikeaa, ja lisäksi työmaan olosuhteet voivat tehdä hitsauksesta hankalaa. Laadunvarmistus sekä hitsaukset on näin ollen järkevää tehdä konepajalla, mikäli se on mahdollista. (2, s. 342; 3, s. 41.)

Standardin SFS-EN 1993-1-8 sääntöjä sovelletaan standardin SFS-EN 1993-1-1 mukaisille hitsattaville rakenneteräksille silloin, kun ainepaksuus on vähintään 4 mm, ja rakenneputkien osalta silloin, kun seinämäpaksuus on vähintään 2,5 mm. Näitä sääntöjä sovelletaan myös hitsauskiinnityksiin, joissa hitsausaineen mekaaniset ominaisuudet vastaavat perusaineen mekaanisia ominaisuuksia. Hitsausaineiden valinta tulee tehdä standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 1.2.5 viitestandardiryhmän 5 mukaan ja lisäaineilta vaaditaan, että myötölujuus, vetomurtolujuus, murtovenymä ja Charpy-V iskuenergian minimiarvo vastaavat vähintään hitsattavan perusaineen vastaavia arvoja. (2, s. 342; 3, s. 41; 10, s. 58; 13, s. 198.)

Hitsausluokat määritellään standardissa EN ISO 5817. Näitä hitsausluokkia sovelletaan myös hitsauskiinnityksiin. Hitsausluokkia on kolme: B, C ja D. Näistä B on vaativin luokka. Luokitus perustuu sallittuihin hitsausvirheisiin. Ainoa hitsausluokka, jossa systemaattisia hitsausvirheitä sallitaan, on hitsausluokka D. Eri toteutusluokilla EXC1, -2, -3 ja -4 on eri vaatimukset myös hitsausluokille. Esimerkiksi EXC1:n vaatimuksena on hitsausluokka D. EXC2-toteutusluokan vaatimus hitsausluokalle on C ja EXC3-toteutusluokan vaatimus hitsausluokalle on B. Mikäli toteutusluokka on EXC4, tulee hitsausluokan B lisäksi tapauskohtaisesti erityisvaatimuksia. Yleensä hitsausluokka on C, ellei vaatimuksena ole vaativampi luokka. (2, s. 342; 3, s. 41; 14, s. 10.)

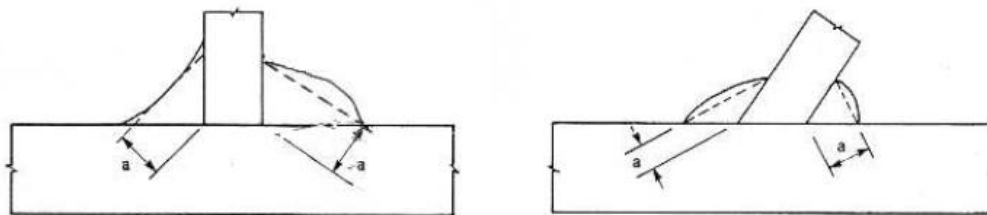
4.1 Hitsilajit

Hitsauskiinnityksien käytössä olennaista on hitsilajin valinta kuhunkin tilanteeseen sopivaksi. Standardin SFS-EN 1993-1-8 hitsausliitoksia käsittelevä osa koskee pyöröterästen kylkihitsien, tulppahitsien, kolopienahitsien, pienahitsien ja päittäishitsien mitoitusta. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kahta viimeistä eli piena- ja päittäishitsejä. (3, s. 41.)

4.1.1 Pienahitsit

Pienahitsien käyttö osien kiinnittämiseen on mahdollista silloin, kun liitospintojen välinen kulma on $60^\circ - 120^\circ$. Pienemmät kulmat kuin 60° ovat kuitenkin myös sallittuja. Tällöin hitsiä tulee kuitenkin käsitellä osittain läpihitsattuna päittäishitsinä. Hitsin paksuudeksi valitaan tällöin enintään se hitsautumissyvyys, joka on mahdollista saavuttaa säännöllisesti. Mikäli liitettävien osien liitospintojen kulma on yli 120° , tulee kestävyys määrittää kokeellisesti standardin EN 1990 liitteessä D esitettyjen kokeellisen mitoituksen ohjeen mukaan. (2, s. 344; 3, s. 45; 10, s. 64.)

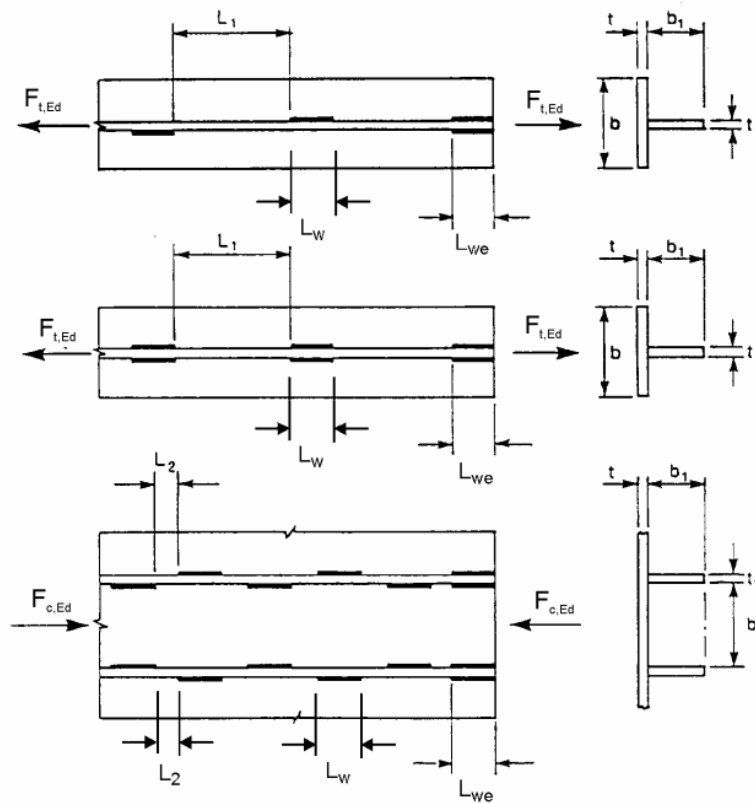
Pienahitsin efektiiviseksi a-mitaksi katsotaan suurimman mahdollisen kolmion korkeus, joka on mahdollista piirtää railon kylkien ja hitsin pinnan sisään. Tämä mitataan kohtisuorassa suunnassa kyseisen kolmion uloimpaan pintaan nähden. Kolmio voi olla joko tasatai erikylkinen. Kuvassa 17 havainnollistava kuva a-mitasta. (2, s. 344; 3, s. 45; 10, s. 64.)



KUVA 17. Pienahitsin efektiivinen a-mitta (3, s. 45)

Kuitenkin pienahitsin a-mitaksi tulee valita vähintään 3 mm. A-mitassa voidaan ottaa huomioon myös tunkeuma edellyttäen, että on ennakkoon kokein osoitettu vaaditun tunkeuman saavutettavuus jatkuvasti. (2, s. 344; 3, s. 45; 10, s. 64.)

Pienahitsi voidaan suorittaa myös katkopianahitsinä ja kolopienahitsinä. Katkopianahitsien käyttö ei ole sallittua syövyttävissä olosuhteissa ja osahitsien väliset hitsaamattomien osien mitat tulee valita siten, että kuvan 18 mitat täyttyvät. (3, s. 43.)



Pienempi arvoista:	$L_{we} \geq 0,75 b$	ja	$0,75 b_1$	
Vedetyt hitsatut rakenneosat:				
Pienempi arvoista:	$L_1 \leq 16 t$	ja	$16 t_1$	ja 200 mm
Hitsattu rakenneosa, johon kohdistuu puristus tai leikkaus:				
Pienempi arvoista:	$L_2 \leq 12 t$	ja	$12 t_1$	ja $0,25 b$ ja 200 mm

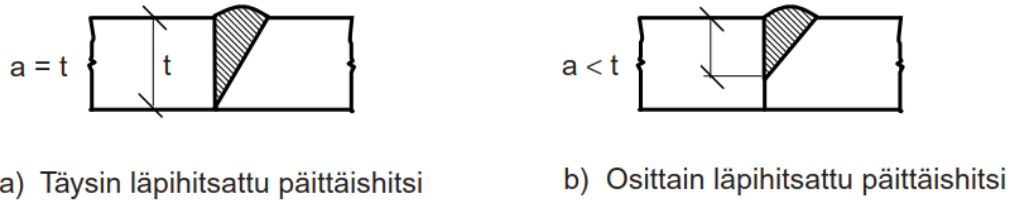
KUVA 18. Katkopienahitsien hitsaamattomat osat (3, s. 43)

4.1.2 Päittäishitsit

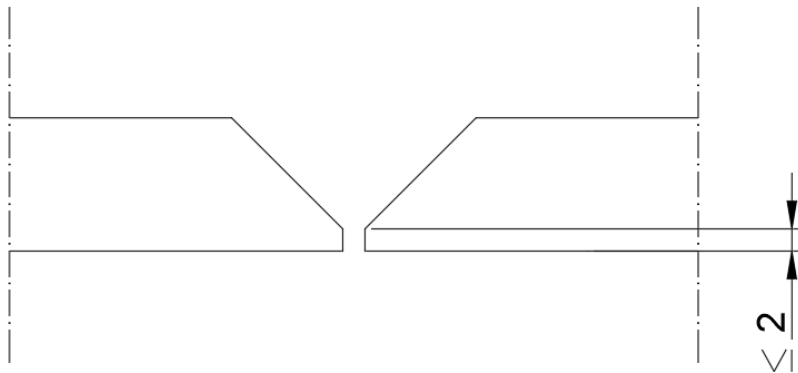
Päittäishitsiä, jonka hitsautumissyvyys ylittää koko perusaineen ainepaksuuden läpi, kutsutaan läpihitsatuksi päittäishitsiksi. Kestävyys voidaan tässä tapauksessa olettaa yhtä suureksi kuin liitettävän heikoimman osan kestävyys silloin, kun hitsausaineiden murto- ja myötölujuuden minimiarvot vastaavat vähintään perusaineen arvoja. (2, s. 357; 3, s. 48.)

Osittain läpihitsatun päittäishitsin kestävyys lasketaan, kuten tunkeuman omaavan pienahitsin kestävyys, standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 3.5.2.2 mukaisesti. Paksuudeksi tulee valita enintään hitsautumissyvyys, joka on hitsauskokein osoitettu saavutetta-

van säännöllisesti. Kuvassa 19 on esitetty täysin läpihitsattu ja osittain läpihitsattu päittäishitsi puoli-V-railossa. Täysin läpihitsatussa päittäishitsissä juuripinnan korkeus voi olla 0-2 mm, mikä helpottaa hitsin toteuttamista. Havainnollistava kuva juuripinnasta on esitetty kuvassa 20. (2, s. 357; 3, s. 48; 15, s. 16.)



KUVA 19. Täysin ja osittain läpihitsattu päittäishitsi puoli-V-railossa (2, s. 357)



KUVA 20. Juuripinnan korkeus

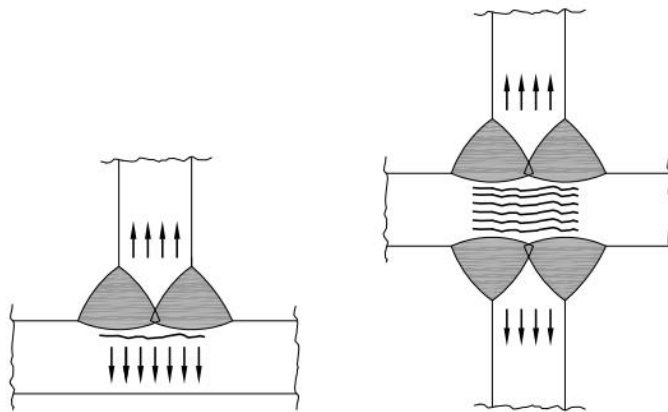
Yksittäiset pienahitsit ja yhdeltä puolen osittain läpihitsatut päittäishitsit, jotka ovat epäkeskeisesti kuormitettuja, tulee välttää, jos se on mahdollista. Paikalliset epäkeskeisyydet tulee ottaa huomioon, kun hitsin pituusakselin suhteen vaikuttava taivutusmomentti aiheuttaa vetoa hitsin juureen tai kun pituusakselia vasten kohtisuorassa suunnassa oleva vetovoima aiheuttaa taivutusmomentin, josta aiheutuu vetoa hitsin juureen. (3, s. 51-52.)

Lamellirepeily

Liitoksessa tapahtuvaa lamellirepeilyä tulee välttää. Lamellirepeilyä voi esiintyä hitsausliitoksessa silloin, jos levyyn kohdistuu kohtisuorassa suunnassa vetojännitystä. Kuvassa 21 on esitetty esimerkkejä lamellirepeilystä perusmateriaalissa. Vetojännitys voi johtua

hitsauksesta aiheutuvasta kutistumisjännityksestä tai ulkoisen kuormituksen aiheuttamasta vetojännityksestä. Seuraavat asiat vaikuttavat lamellirepeilyalttiuteen:

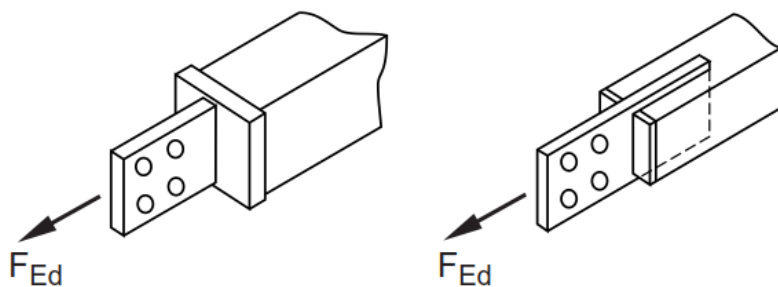
- materiaalin paksuussuuntaiset ominaisuudet
 - Z-arvo
- liitoksen muotoilu ja rakenne
 - kuvassa 22 on esitetty esimerkki
- liitoksen ympärillä olevien rakenteiden jäykkyys
- hitsauksen suoritus
 - suuremmalla hitsausenergialla tehdyissä hitseissä lamellirepeilyalttiuus on pienempi, koska leveämpi hitsi ja parempi tunkeuma välittävät muodonmuutokset laajemmalle alueelle
- liitokseen kohdistuvat kuormitukset ja niiden suunta sekä suuruus. (2, s. 470; 16, s. 6-7; 17, s. 13-14.)



KUVA 21. Lamellirepeily perusmateriaalissa hitsiliitoksen alapuolella (2, s.470)

a) Altis lamellirepeilylle

b) Ei lamellirepeilyvaaraa



KUVA 22. Liitoksen muotoilun vaikutus lamellirepeilyalttiuteen (2, s. 472)

Erityisesti jäykät piena- ja päittäishitsatut T- ja L-liitokset ovat herkkiä lamellirepeilylle, koska ne mahdollistavat suurien paksuussuuntaisten jännitysten esiintymisen. Lamellirepeilyn todennäköisyyttä voidaan arvioida levyn paksuussuunnassa tehdyissä vetokeissa, joissa mitataan murtokuroumaa eli Z-arvoa. Testattuja levyjä kutsutaan yleisesti Z-levyiksi. Z-arvo voidaan määritellä käytännössä kaikille teräslajeille. Rajoittavana tekijänä on levyn minimiainepaksuus, jonka on oltava yli 15 mm. Murtokurouman arvojen pohjalta ilmoitetut todennäköisyydet on esitetty taulukossa 20. (2, s. 470; 17, s. 13-14.)

TAULUKKO 20. Lamellirepeilyn todennäköisyydet (2, s. 471)

Paksuussuuntainen murtokurouma (%)	Lamellirepeilyn todennäköisyys
$Z < 10$	Mahdollinen jo lievästi levyn paksuussuunnassa kuormitettavissa hitsausliitoksissa.
$10 \leq Z < 15$	Mahdollinen kohtuullisesti levyn paksuussuunnassa kuormitettavissa hitsausliitoksissa.
$15 \leq Z < 20$	Mahdollinen voimakkaasti levyn paksuussuunnassa kuormitettavissa hitsausliitoksissa.
$20 \leq Z < 35$	Erittäin harvinainen.
$Z \geq 35$	Erittäin epätodennäköinen.

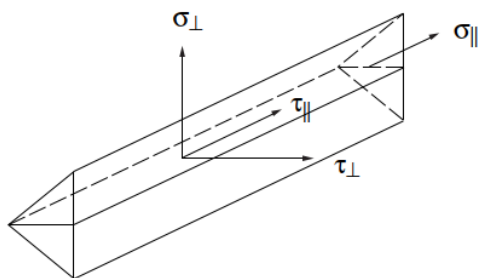
4.2 Hitsien kestävyuden mitoituksen periaatteet

Pienahitsien kestävyuden mitoitusarvon määrittämiseen on kaksi tapaa. On mahdollista käyttää komponenttimenetelmää tai yksinkertaistettua menetelmää. (3, s. 45.)

Voimien jakaantuminen hitsauskiinnityksissä voidaan määrittää olettamalla käyttäytymisen, joko kimmo- tai plastisuusteorian mukaiseksi. Yleensä voidaan olettaa, että kuorman jakautumista hitseissä on yksinkertaistettu. Hitsausliitoksia suunniteltaessa tulee pitää mielessä, että liitoksilla on riittävä muodonmuutoskyky. Hitsit tulee suunnitella siten, että ne eivät murru ennen vieressä olevan perusmateriaalin yleistä myötäämistä. Tämä ehto saadaan yleensä täytettyä, kun hitsin kestävyuden mitoitusarvo on vähintään 80 % siihen liitetyn heikomman materiaalin kestävyuden mitoitusarvosta. (9, s. 105.)

4.2.1 Komponenttimenetelmä

Menetelmässä hitsin yksikköpituuden siirtämät voimat jaetaan hitsin pituussuuntaisen akselin suhteen yhdensuuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuoriin komponentteihin. Lisäksi voimat jaetaan myös hitsin laskentapinnan suuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuorassa oleviin komponentteihin. Kuvassa 23 on esitetty tarvittavat jännitykset hitsin kestävyuden määrittämiseksi komponenttimenetelmän mukaisesti. (3, s. 45.)



- σ_{\perp} on laskentapintaa vastaan kohtisuora normaalijännitys
- σ_{\parallel} on hitsin akselin suuntainen normaalijännitys
- τ_{\perp} on hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa) ja
- τ_{\parallel} on hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa).

KUVA 23. Laskentapinnan jännitykset pienahitsissä (2, s. 348)

Hitsin akselin suuntaista normaalijännitystä ei tarvitse ottaa huomioon kestävyyslaskennassa, koska se ei johdu hitsiä kuormittavasta primäärisestä voimasta. Pienahitsin kestävyys voidaan todeta riittäväksi, mikäli molemmat seuraavista ehdoista ovat voimassa. (3, s. 45.)

$$(\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))^{0,5} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$$

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

f_u = heikomman liitettävän osan vetomurtolujuuden nimellisarvo

β_w = taulukon 21 mukainen kyseeseen tuleva korrelaatiokerroin.

TAULUKKO 21. Hitsin lujuuskerroin β_w (2, s. 349)

Teräksen lujuusluokka	Hitsin lujuuskerroin β_w
S235	0,8
S275	0,85
S355	0,9
S420	1,0
S460	1,0
Lujuusluokkien S500-S700 teräksille käytetään arvoa $\beta_w = 1,0$	

4.2.2 Yksinkertaistettu menetelmä

Vaihtoehtoisesti pienahitsin kestävyys voidaan olettaa riittäväksi silloin, kun hitsin jokaisessa pisteessä sen pituudella, hitsiin kohdistuvien kaikkien voimien resultantti yksikköpituutta kohti toteuttaa ehdon.

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

$F_{w,Ed}$ on hitsin pituusyksikköä kohti vaikuttavan voiman mitoitusarvo ja $F_{w,Rd}$ on hitsin kestävyden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti. Hitsin kestävyden mitoitusarvo lasketaan kaavasta 8 ja hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavasta 9. (3, s. 47-48.)

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad \text{KAAVA 8}$$

$f_{vw,d}$ = hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo.

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{KAAVA 9}$$

f_u = heikomman liitettävän osan vetomurtolujuuden nimellisarvo

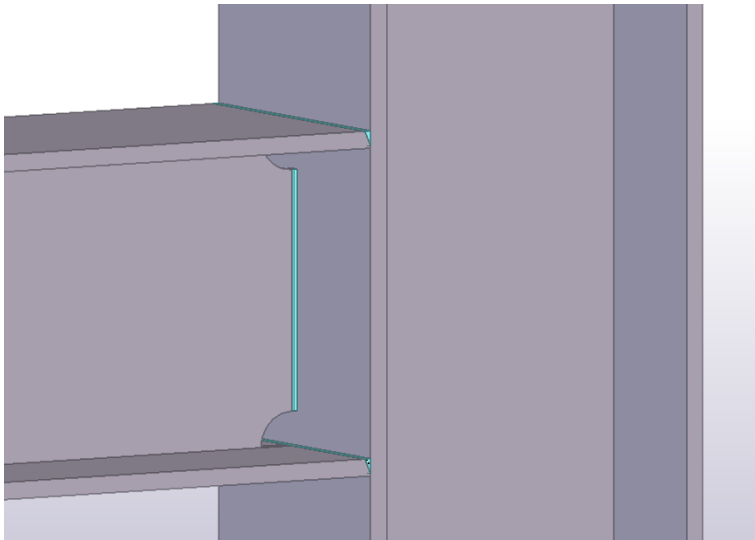
β_w = taulukon 21 mukainen kyseeseen tuleva korrelaatiokerroin.

4.3 Liitostyypit

Hitsausliitostyypeistä esitellään pilari-palkki- sekä palkki-palkkiliitos. Pilari-palkkiliitoksessa voi olla tarpeen hitsata konepajalla pilariin konsoli, jotta asennus ja hitsin toteuttaminen työmaalla helpottuu.

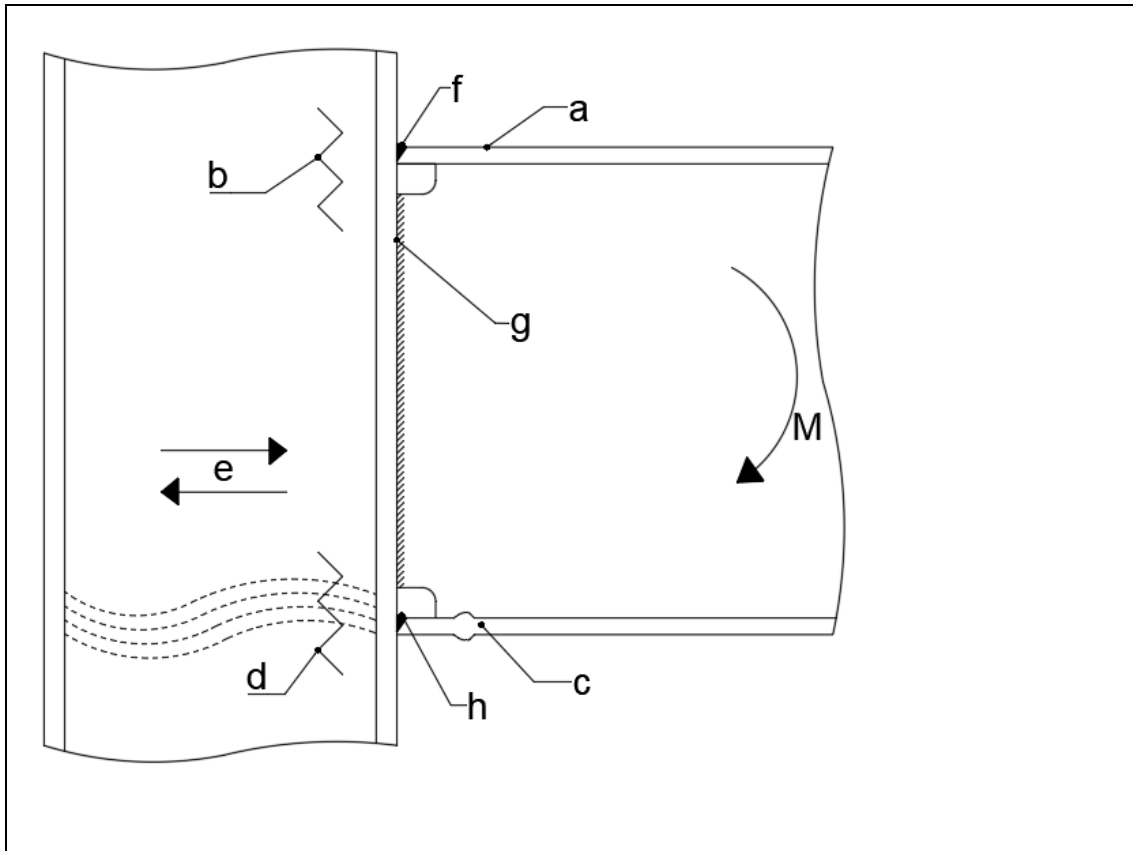
4.3.1 Pilari-palkkiliitos, momenttiliitos

Pilarin ja palkin välinen momenttiliitos toteutetaan hitsaamalla liitettävän palkin ylä- ja ala-laippa pilariin. Laippojen hitsit on hyvä toteuttaa läpihitsatuilla päittäishitseillä. Myös uuma voidaan toteuttaa päittäishitsinä, joko osittain tai läpihitsattuna. Esimerkkiratkaisu on esitetty kuvassa 24 ja liitoksessa tarkasteltavat komponentit on esitetty taulukossa 22.



KUVA 24. Pilari-palkki momenttiliitos

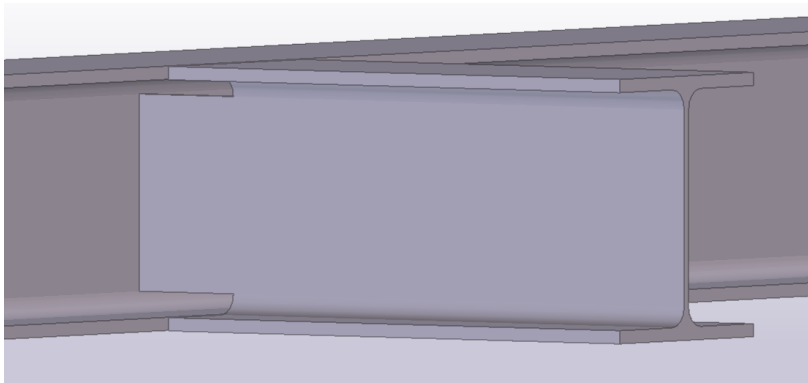
TAULUKKO 22. Pilari-palkkihitsausliitoksessa tarkasteltavat komponentit



Alue		Komponentti
Veto	a	Palkin laipan veto
	b	Pilarin uuman veto
Puristus	c	Palkin uuman puristus
	d	Pilarin uuman puristus
Vaakasuuntaisen leikkauksen leikkaus	e	Pilarin uuman leikkautuminen
Hitsit	f,g ja h	Pilarin ja palkin väliset hitsit

4.3.2 Palkki-palkkiliitos

Palkki-palkkiliitos voidaan tehdä esimerkiksi kuvan 25 mukaisesti. Mikäli liitoksen halutaan toimivan momenttiliitoksena, voidaan sekundääripalkin laipat hitsata kiinni primääripalkin laippoihin. Sekundääripalkin ylä- ja alalaippojen alueelle tehdään loveukset ja tarvittaessa voidaan lisätä jäykisteitä, jotka ovat laippojen suuntaiset, hitsaamalla ne kiinni primääri- ja sekundääripalkkien uumiin. Taulukossa 23 on esitetty tarkasteltavia peruskomponentteja.



KUVA 25. Palkki-palkkihitsausliitos

TAULUKKO 23. Palkki-palkkiliitoksen tarkasteltavat komponentit

2D-kuva palkki-palkkiliitoksesta tarkasteltavien komponenttien tunnistamiseksi. Kuvassa nähdään palkkien liitos, jossa on merkintä 'a' ja voima 'V'.

Alue		Komponentti
Hitsi	a	Uumien välinen hitsi

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia materiaali, jonka avulla teräsrakenteiden liitoksien valinta Tekla Structures -ohjelmiston komponenttikirjastosta helpottuisi ja tieto liitoksen mitoittamiseen käytettävissä olevasta työkalusta olisi koottu samaan materiaaliin. Työssä käytiin läpi liitoksen luokittelua standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti liitoksen jäykkyyden ja lujuuden mukaan. Lisäksi työssä perehdyttiin liitoksen kiertymiskyvyn määrittelyyn sekä peruskomponenttien jaotteluun hauraiksi tai sitkeiksi. Työssä esiteltiin myös liitoksen siirtämiä voimia yleisissä liitosratkaisuissa ja tarkasteltavat peruskomponentit kyseisten liitosten kestävyyksien määrittelemiseksi.

Työssä perehdyttiin tarkemmin ruuvi- sekä hitsauskiinnityksiin. Ruuvien osalta työssä perehdyttiin luokitteluun, lujuusluokitteluun sekä esiteltiin taulukkomuodossa eri viitestardeja ruuveihin, muttereihin ja aluslaattoihin liittyen. Työssä käytiin läpi ruuviliitosten mitoituksen pääperiaatteita sekä mahdollisia murtumistapoja. Hitsien osalta päädyttiin perehtymään tarkemmin kahteen hitsilajiin: piena- ja päittäishitseihin. Opinnäytetyössä esiteltiin hitsien kestävyyksien mitoituksen pääperiaatteet sekä komponentti- että yksinkertaistetun menetelmän mukaan. Opinnäytetyössä esitellään myös liitoksittain, mitä peruskomponentteja kestävyuden määrittämiseksi tulisi tarkastella.

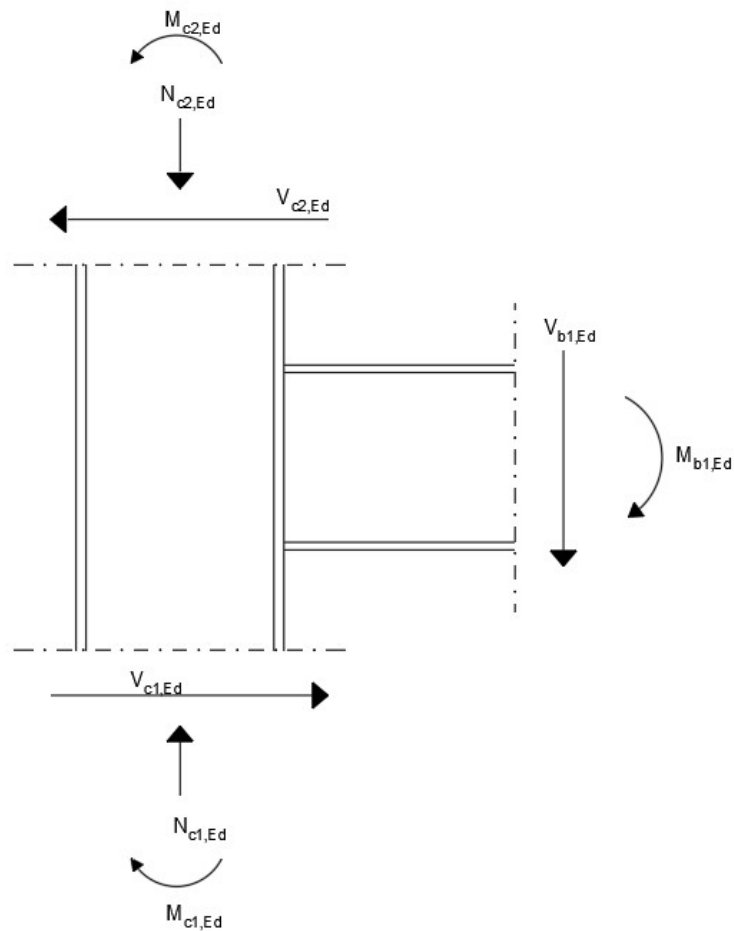
Teräsrakenteiden liitossuunnittelu on haastava ja mielenkiintoinen tehtävä, jolla on suuri vaikutus koko rakenteen toiminnassa sekä kustannuksissa. Työn edetessä ja erinäisiin lähteisiin perehdyttäessä huomattiin, että liitoksien suunnittelussa on tärkeää pitää mielessä asennettavuus sekä liitoksen pitäminen mahdollisimman yksinkertaisena. Monimutkaisten liitosten valmistus on kallista ja asennettavuudessa voi ilmetä hankaluuksia. Työtä olisi mahdollista viedä pidemmälle muun muassa kehittämällä mitoitustyökaluja sekä tarkastelemalla eri liitostyyppien vaikutuksia rakenteen kokonaistarkastelussa.

LÄHTEET

1. AFRY Finland Oy. 2020. Etusivu. Saatavissa: www.afry.com/fi-fi. Hakupäivä 22.3.2020.
2. Hitsatut profiilit EN 1993 -käsikirja. Uudistettu kolmas painos. 2010. Hämeenlinna: Rautaruukki Oyj.
3. SFS-EN 1993-1-8. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-8 Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
4. Joints in Steel Construction, Simple Joints to Eurocode 3. 2014. London: The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association. Saatavissa: <https://www.steelconstruction.info/File:SCIP358.pdf>. Hakupäivä 1.2.2020.
5. AFRY Finland Oy henkilöstö ja materiaalit. 2020.
6. RIL 167-2 Teräsrakenteet II. 1992. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
7. Joints in Steel Construction, Moment-Resisting Joints to Eurocode 3. 2013. London: The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association. Saatavissa: https://www.steelconstruction.info/images/5/5d/SCI_P398.pdf. Hakupäivä 1.2.2020.
8. SFS-EN 1011-1. 2009. Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituksat. Osa 1. Yleisohjeet kaarihitsaukselle. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
9. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 -oppikirja. 2010. Teräsrakenneyhdistys ry. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
10. Kouhi, Jouko 2015. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu: 1-8 Liitokset. Sovellusohjeita, taustatietoa, kommentteja, tulkintoja, selvennyksiä, kansallinen liite ja sen taustoja, oppi- ja opetusaineistoa, esimerkkejä. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
11. SFS-EN 1090-2. 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

12. Balashov, Alexey 2019. Päätylevyliitoksen suunnittelu standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaan. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan osasto. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/170863>. Hakupäivä 2.2.2020.
13. SSAB Domex tube. Rakenneputket EN 1993 -käsikirja. 2016. Hämeenlinna: SSAB Europe Oy.
14. SFS-EN ISO 5817. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
15. SFS-EN 9692-1. 2013. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Railomuodot. Osa 1: Terästen puikko-, metallikaasukaari-, kaasuhitsaus, TIG- ja sädehitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
16. SFS-EN 10164. 2018. Terästuotteet parannetuin paksuussuuntaisiin murtokouromaominaisuuksin. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
17. SFS-EN 1993-1-10. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-10. Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Pilari-palkkiliitos. Hitsausliitos



LÄHTÖTIETOJA

Rasitukset

Pilari

Pilari

$$V_{c2.Ed} := 35 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$V_{b1.Ed} := 48 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$V_{c1.Ed} := 35 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{b1.Ed} := 40 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{c2.Ed} := 20 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{c1.Ed} := 18 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$N_{c2.Ed} := 1500 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{c1.Ed} := N_{c2.Ed} + V_{b1.Ed}$$

$$N_{c1.Ed} = (1.548 \cdot 10^6) \text{ N}$$

LIITOKSEN PROFIIILIT JA MITTOJA

Pilari HEA 280

$$h_c := 270 \text{ mm} \quad t_{fc} := 13 \text{ mm} \quad t_{wc} := 8 \text{ mm} \quad b_{fc} := 280 \text{ mm} \quad r_c := 24 \text{ mm}$$

$$A_c := 9726 \text{ mm}^2$$

$$I_{yc} := 13673 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{el.yc} := 1013 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl.yc} := 1112 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Pilari IPE 240

$$h_b := 240 \text{ mm} \quad t_{fb} := 9.8 \text{ mm} \quad t_{wb} := 6.2 \text{ mm} \quad b_{fb} := 120 \text{ mm} \quad r_b := 15 \text{ mm}$$

$$A_b := 3912 \text{ mm}^2$$

$$I_{yb} := 3892 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{el.yb} := 324 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl.yb} := 367 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

MATERIAALITIEDOT

$$f_{y.wb} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{y.fb} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{u.b} := 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{y.b} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{y.wc} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{y.fc} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{u.c} := 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{y.c} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \gamma_{M0} := 1.0 \quad \gamma_{M1} := 1.0 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

PILARIN UUMAN LEIKKAUSKESTÄVYYS JA JÄYKKYYS

Katso SFS-EN 1993-1-8 kohta 6.2.6.1 ja SFS-EN 1993-1-1 kohta 6.2.6

η on kansallinen parametri, jonka arvo voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä. Suomen kansallisen liitteen NA SFS-EN 1993-1-5 mukaab käytetään suositeltuja arvoja kun lämpötila on enintään 400 °C, joten

$$\eta := 1.2$$

Pilarin uuman leikkauspinta-ala: $A_{vc} := 2056 \text{ mm}^2$

$$V_{wp.Rd} := \frac{0.9 \cdot f_{y.wc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = (3.793 \cdot 10^5) \text{ N}$$

Uumaan kohdistuva resultoiva leikkausvoima (ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 5.3(3) kaava 5.3)

$$z_b := h_b - t_{fb} = 230.2 \text{ mm} \quad M_{b2.Ed} := 0$$

$$V_{wp.Ed} := \frac{M_{b1.Ed} - M_{b2.Ed}}{z_b} - \frac{V_{c1.Ed} + V_{c2.Ed}}{2} = (1.388 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{V_{wp.Ed}}{V_{wp.Rd}} = 0.366 \quad \frac{V_{wp.Ed}}{V_{wp.Rd}} \leq 1 = 1$$

Komponentin jäykkyys

Tarkasteltavan liitoksen muunnosparametri $\beta := 1$.
(ks. SFS-EN 1993-1-8 taulukko 5.4 ja 6.11)

$$k_1 := \frac{0.38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z_b} = 3.394 \text{ mm}$$

PILARIN UUMAN KESTÄVYYS POIKITTAISELLE PURISTUKSELLE

ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 6.2.6.2 ja kuva 6.6

$s := r_c$ Oletetaan palkin laipan ja pilarin laipan välisen hitsin a-mitaksi 6 mm $a_b := 8 \text{ mm}$

$$b_{eff.c.wc} := t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{fc} + s) = 217.427 \text{ mm}$$

Pilarin puristusjännityksen vaikutus

ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 6.2.6.2 kaava 6.14

$$N_{c1.Ed} = (1.548 \cdot 10^6) \text{ N} \quad A_c = (9.726 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{com.Ed} := \frac{N_{c1.Ed}}{A_c} + \frac{M_{c1.Ed}}{I_{yc}} \cdot \left(\frac{h_c}{2} - t_{fc} - r_c \right) = 172.062 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$0.7 \cdot f_{y.wc} = 248.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad k_{wc} := 1$$

Pienennystekijä ω . ks. SFS-EN 1993-1-8 taulukko 6.3

$$\omega_1 := \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \cdot \left(b_{eff.c.wc} \cdot \frac{t_{wc}}{A_{wc}} \right)^2}} = 0.72 \quad \omega := \omega_1$$

Pilarin mahdollinen lommahdus. ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 6.2.6.2(2)

$$d_{wc} := h_c - 2 \cdot (t_{fc} + r_c) = 196 \text{ mm}$$

$$\lambda_p := 0.932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff.c.wc} \cdot d_{wc} \cdot f_{y.wc}}{E \cdot t_{wc}^2}} = 0.989 \quad --> \quad \lambda_p > 0.72 \quad -->$$

$$\rho := (\lambda_p - 0.2) \cdot \lambda_p^2 = 0.771$$

Komponentin kestävyys. ks SFS-EN 1993-1-8 kaava 6.9

$$F_{c.wc.Rd} := \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc}}{\gamma_{M0}} = (4.444 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\text{,mutta} \quad F_{c.wc.Rd} \leq \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc}}{\gamma_{M1}}$$

$$F_{c.wc.Rd.max} := \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc}}{\gamma_{M1}} = (3.428 \cdot 10^5) \text{ N}$$

palkin laipan ja pilarin välinen puristusvoima

$$F_{f.Ed} := \frac{M_{b1.Ed}}{h_b - t_{fb}} = (1.738 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{F_{f.Ed}}{F_{c.wc.Rd.max}} = 0.507$$

Komponentin jäykkyys

$$d_c := h_c - 2 \cdot t_{fc} - 2 \cdot r_c = 196 \text{ mm}$$

$$b_{eff.c.wc} = 217.427 \text{ mm}$$

$$k_2 := \frac{0.7 \cdot b_{eff.c.wc} \cdot t_{wc}}{d_c} = 6.212 \text{ mm}$$

PILARIN UUMAN KESTÄVYYS POIKITTAISELLE VEDOLLE

Komponentin kestävyys. ks SFS-EN 1993-1-8 kohta 6.2.6.3 kaava 6.15

$$s = 24 \text{ mm}$$

$$b_{eff.t.wc} := t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{fc} + s) = 217.427 \text{ mm}$$

$$F_{t.wc.Rd} := \frac{\omega \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y.wc}}{\gamma_{M0}} = (4.444 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{F_{f.Ed}}{F_{t.wc.Rd}} = 0.391$$

Komponentin jäykkyys

$$k_3 := \frac{0.7 \cdot b_{eff.t.wc} \cdot t_{wc}}{d_c} = 6.212 \text{ mm}$$

PILARIN LAIPAN POIKITTAINEN TAIVUTUS

ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 6.2.6.4.3 ja kaava 6.20

$$k := \left(\frac{t_{fc}}{t_{fb}} \right) \cdot \left(\frac{f_{y.fc}}{f_{y.fb}} \right) = 1.327 \quad , \text{mutta} \quad k \leq 1 \quad \rightarrow \quad k := 1$$

$$a_b = 8 \text{ mm} \quad \text{Palkin laippojen ja pilarin laipan välinen hitsi}$$

$$b_{eff.b.fc} := t_{wc} + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_{fc} = 147 \text{ mm}$$

$$F_{f.c.Rd} := \frac{b_{eff.b.fc} \cdot t_{fb} \cdot f_{y.fb}}{\gamma_{M0}} = (5.114 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{F_{f.Ed}}{F_{f.c.Rd}} = 0.34$$

$$b_p := b_{fb} = 120 \text{ mm} \quad f_{y.p} := f_{y.fb} = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{u.p} := f_{u.b} = 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\left(\frac{f_{y.p}}{f_{u.p}} \right) \cdot b_p = 83.529 \text{ mm} \quad b_{eff.b.fc} \geq \left(\frac{f_{y.p}}{f_{u.p}} \right) \cdot b_p$$

SFS-EN 1993-1-8 kohdan 4.10(3) ehto on voimassa

HITSIEN MITOITUS

palkin uuman ja pilarin laipan väliset hitsit

$$f_{u.b} = 510 \frac{N}{mm^2} \quad f_{u.c} = 510 \frac{N}{mm^2} \quad f_u := 510 \frac{N}{mm^2}$$

Hitsin korrelaatiokerroin $\beta_w := 0.9$
 ks. SFS-EN 1993-1-8 taul. 4.1

$$f_{vw.d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 261.732 \frac{N}{mm^2}$$

$a_{w.cf.bw} := 3 \text{ mm}$ tarkoittaa pilarin laipan ja palkin uuman välistä hitsiä

$$F_{w.Rd.1} := f_{vw.d} \cdot a_{w.cf.bw} = 785.196 \frac{N}{mm}$$

$$l_{eff.wb} := h_b - 2 \cdot t_{fb} - 2 \cdot r_b = 190.4 \text{ mm}$$

$$V_{v.Rd.w} := 2 \cdot F_{w.Rd.1} \cdot l_{eff.wb} = (2.99 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{V_{b1.Ed}}{V_{v.Rd.w}} = 0.161$$

Palkin laipan ja pilarin laipan väliset hitsit

$a_b = 8 \text{ mm}$ palkin laippojen ja pilarin laipan väliset hitsit

$$b_{fc} = 280 \text{ mm} \quad b_{fb} = 120 \text{ mm}$$

$$F_{w.Rd.2} := f_{vw.d} \cdot a_b = 2093.857 \frac{N}{mm}$$

$$l_{eff.wf} := 2 \cdot b_{fb} - t_{wb} - 2 \cdot r_b = 203.8 \text{ mm}$$

$$V_{w.Rd.f} := F_{w.Rd.2} \cdot l_{eff.wf} = (4.267 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$F_{f.Ed} := \frac{M_{b1.Ed}}{h_b - t_{fb}} = (1.738 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{F_{f.Ed}}{V_{w.Rd.f}} = 0.407$$

SFS-EN 1993-1-8 kohdan 4.10(5) mukaan palkin laipan ja pilarin laipan väliset hitsit mitoitetaan vähintään voimalla:

$$\frac{b_{fb} \cdot t_{fb} \cdot f_{y.p}}{\gamma_{M0}} = (4.175 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{b_{fb} \cdot t_{fb} \cdot f_{y.p}}{\gamma_{M0} V_{w.Rd.f}} = 0.978$$

PALKIN LEIKKAUSKESTÄVYYS

ks. SFS-EN 1993-1-8 kohta 6.2.6.1 ja SFS-EN 1993-1-1 kohta 6.2.6

η on kansallinen parametri, jonka arvo voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä. Suomen kansallisen liitteen NA SFS-EN 1993-1-5 mukaan käytetään suositeltuja arvoja kun lämpötila on enintään 400 °C, joten

$$A_{vb} := 1427 \text{ mm}^2$$

$$V_{wp.Rd.b} := \frac{f_{y.wb} \cdot A_{vb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = (2.925 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$\frac{V_{b1.Ed}}{V_{wp.Rd.b}} = 0.164 \quad <0.5 \text{ --> taivutuskestävyyttä ei tarvitse pienentää leikkausvoiman takia}$$

KOKO LIITOKSEN TAIVUTUSKESTÄVYYS JA JÄYKKYYS

Taivutuskestävyys

Pilarin uuman leikkaus	$V_{wp.Rd} = (3.793 \cdot 10^5) \text{ N}$	$k_1 = 3.394 \text{ mm}$
------------------------	--------------------------------------------	--------------------------

Pilarin uuman poikittainen puristus	$F_{c.wc.Rd.max} = (3.428 \cdot 10^5) \text{ N}$	$k_2 = 6.212 \text{ mm}$
-------------------------------------	--------------------------------------------------	--------------------------

Pilarin uuman poikittainen veto	$F_{t.wc.Rd} = (4.444 \cdot 10^5) \text{ N}$	$k_3 = 6.212 \text{ mm}$
---------------------------------	----------------------------------------------	--------------------------

Pilarin laipan poikittainen taivutus	$F_{f.c.Rd} = (5.114 \cdot 10^5) \text{ N}$	
--------------------------------------	---------------------------------------------	--

Valitaan minimi edellä mainituista arvoista	$F_{min} := F_{c.wc.Rd.max}$	
---------------------------------------------	------------------------------	--

Koko liitoksen taivutuskestävyys:

$$M_{j.Rd} := F_{min} \cdot z_b = (7.891 \cdot 10^7) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{M_{b1.Ed}}{M_{j.Rd}} = 0.507$$

Vertailun vuoksi selvitetään liitoksen taivutuskestävyyden arvo verrattuna pilarin ja palkin taivutuskestävyyksiin.

$$M_{b.Rd} := \frac{W_{pl.yb} \cdot f_{y.b}}{\gamma_{M0}} = (1.303 \cdot 10^8) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{c.Rd} := \frac{W_{pl.yc} \cdot f_{y.c}}{\gamma_{M0}} = (3.948 \cdot 10^8) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{M_{j.Rd}}{M_{b.Rd}} = 0.606 \qquad \frac{M_{j.Rd}}{M_{c.Rd}} = 0.2$$

Jäykkyys

Tekijä Ψ saadaan SFS-EN 1993-1-8 taulukosta 6.8

$$\Psi := 2.7 \qquad M_{b1.Ed} = (4 \cdot 10^7) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{2}{3} = 0.667 > \frac{M_{b1.Ed}}{M_{j.Rd}} = 0.507 \quad \rightarrow \quad \mu := 1$$

$$S_j := \frac{E \cdot z_b^2}{\mu \cdot \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \right)} = (1.805 \cdot 10^{10}) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

POIKKILEIKKAUSLUOKKA JA POIKKILEIKKAUSKESTÄVYYS

Palkin poikkileikkausluokka

Laippa puristettuna

$$\varepsilon_b := \sqrt{\frac{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{f_{y.b}}} = 0.814$$

$$\frac{(b_{fb} - t_{wb} - 2 \cdot r_b)}{2} = 5.255 \quad 5.255 \leq 9 \quad \text{Täyttää PL1 vaatimukset}$$

$$\frac{\quad}{\varepsilon_b \cdot t_{fb}}$$

Uuma taivutettuna

$$\frac{h_b - 2 \cdot t_{fb} - 2 \cdot r_b}{\varepsilon_b \cdot t_{wb}} = 37.745 \quad 37.745 \leq 72 \quad \text{Täyttää PL1 vaatimukset}$$

Palkin poikkileikkauksen kestävyys

$$V_{b1.Ed} = (4.8 \cdot 10^4) \text{ N} \quad M_{b1.Ed} = (4 \cdot 10^7) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{V_{b1.Ed}}{V_{wp.Rd.b}} = 0.164$$

Palkin taivutuskestävyyttä ei tarvitse pienentää leikkauksen kestävyysvuoksi, koska yllä oleva suhde alle 0.5

$$\frac{M_{b1.Ed}}{M_{b.Rd}} = 0.307$$

Pilarin poikkileikkausluokka

laippa puristettuna

$$\varepsilon_c := \sqrt{\frac{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{f_{y.c}}} = 0.814$$

$$\frac{(b_{fc} - t_{wc} - 2 \cdot r_c)}{2} = 10.589 \quad 10.589 \leq 14 \quad \text{Täyttää PL3 vaatimukset}$$

$$\frac{\quad}{\varepsilon_c \cdot t_{fc}}$$

Uuman taivutus

$$\frac{h_c - 2 \cdot t_{fc} - 2 \cdot r_c}{\varepsilon_c \cdot t_{wc}} = 30.112 \quad 30.112 \leq 72 \quad \text{Täyttää PL1 vaatimukset taivutukselle}$$

$$\frac{h_c - 2 \cdot t_{fc} - 2 \cdot r_c}{\varepsilon_c \cdot t_{wc}} = 30.112 \quad 30.112 \leq 33 \quad \text{Täyttää PL1 vaatimukset puristukselle}$$

Uuman yhdistetty puristus ja taivutus

$$\sigma_{xN.Ed} := \frac{N_{c1.Ed}}{A_c} = (1.592 \cdot 10^8) \text{ Pa}$$

$$\sigma_{xM.Ed} := \frac{M_{c1.Ed}}{W_{el.yc}} = (1.777 \cdot 10^7) \text{ Pa}$$

reunajännitykset

$$\sigma_{o.Ed} := -\sigma_{xN.Ed} - \sigma_{xM.Ed} = -1.769 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{u.Ed} := -\sigma_{xN.Ed} + \sigma_{xM.Ed} = -1.414 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

poikkileikkaus kokonaan puristettu

$$\Psi := \frac{\sigma_{u.Ed}}{\sigma_{o.Ed}} = 0.799 \quad c_{wc} := d_{wc} = 196 \text{ mm}$$

PL3:n rajajoikkuus, ks. SFS-EN 1993-1-1 taul. 5.2

$$\frac{c_{wc}}{t_{wc}} = 24.5 \quad \frac{42 \cdot \varepsilon_c}{0.67 + 0.33 \cdot \Psi} = 36.598 \quad \rightarrow \quad 24.5 \leq 36.598$$

Pilarin poikkileikkauksen kestävyys

$$\tau_{Ed} := \frac{V_{c1.Ed}}{(h_c - 2 \cdot t_{fc}) \cdot t_{wc}} = 17.93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\left(\frac{\sigma_{o.Ed}}{f_{y.c}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{\gamma_{M0} f_{y.c}} \right)^2 = 0.256$$

Esimerkki perustuu osittain lähteen 10 esimerkkiin

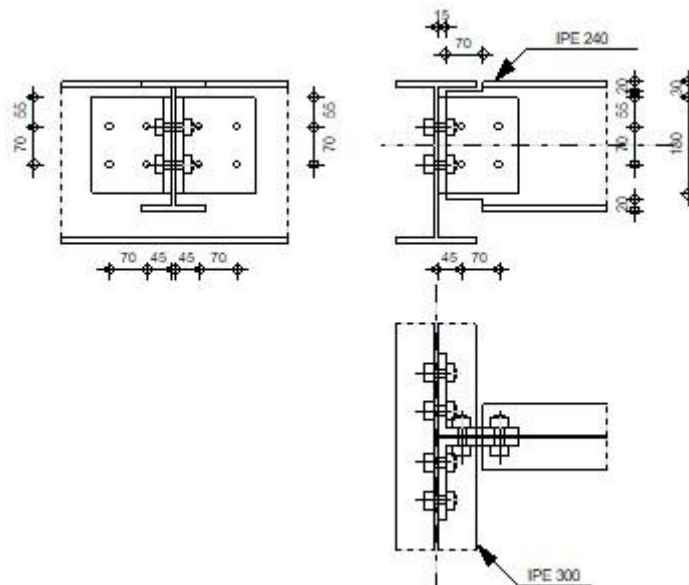


Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019

Calculation of the beam-to-beam (web) connection

EN 1993-1-8:2005/AC:2009

OK

Ratio
0,87

GENERAL

Connection no.: 1
 Connection name: Beam-beam (web)

GEOMETRY

PRINCIPAL BEAM

Section: IPE 300

$\alpha = -90,000$ [Deg] Inclination angle
 $h_g = 300$ [mm] Height of the principal beam section
 $b_{fg} = 150$ [mm] Width of the flange of the principal beam section
 $t_{wg} = 7$ [mm] Thickness of the web of the principal beam section
 $t_{fg} = 11$ [mm] Thickness of the flange of the principal beam section
 $r_g = 15$ [mm] Fillet radius of the web of the principal beam section
 $A_p = 5381,20$ [mm²] Cross-sectional area of a principal beam
 $I_{yp} = 83561100,00$ [mm⁴] Moment of inertia of the principal beam section

Material: S355

$f_{yg} = 355,00$ [MPa] Design resistance
 $f_{ug} = 490,00$ [MPa] Tensile resistance

BEAM

Section: IPE 240

$\alpha = 0,000$ [Deg] Inclination angle
 $h_b = 240$ [mm] Height of beam section
 $b_b = 120$ [mm] Width of beam section
 $t_{wb} = 6$ [mm] Thickness of the web of beam section
 $t_{fb} = 10$ [mm] Thickness of the flange of beam section
 $r_b = 15$ [mm] Radius of beam section fillet

$\alpha =$	0,000	[Deg]	Inclination angle
$A_b =$	3911,62	[mm ²]	Cross-sectional area of a beam
$I_{yb} =$	38916300,00	[mm ⁴]	Moment of inertia of the beam section
Material: S355			
$f_{yb} =$	355,00	[MPa]	Design resistance
$f_{ub} =$	490,00	[MPa]	Tensile resistance

BEAM CUT

$h_1 =$	20	[mm]	Top cut-out
$h_2 =$	20	[mm]	Bottom cut-out
$l =$	70	[mm]	Cut-out length

ANGLE

Section: L 150x15			
$h_k =$	150	[mm]	Height of angle section
$b_k =$	150	[mm]	Width of angle section
$t_{fk} =$	15	[mm]	Thickness of the flange of angle section
$r_k =$	16	[mm]	Fillet radius of the web of angle section
$l_k =$	180	[mm]	Angle length
Material: S355			
$f_{yk} =$	355,00	[MPa]	Design resistance
$f_{uk} =$	490,00	[MPa]	Tensile resistance

BOLTS

BOLTS CONNECTING ANGLE WITH PRINCIPAL BEAM

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class =	8.8		Bolt class
$d =$	16	[mm]	Bolt diameter
$d_0 =$	18	[mm]	Bolt opening diameter
$A_s =$	157,00	[mm ²]	Effective section area of a bolt
$A_v =$	201,06	[mm ²]	Area of bolt section
$f_{ub} =$	800,00	[MPa]	Tensile resistance
$k =$	2		Number of bolt columns
$w =$	2		Number of bolt rows
$e_1 =$	55	[mm]	Level of first bolt
$p_2 =$	70	[mm]	Horizontal spacing
$p_1 =$	70	[mm]	Vertical spacing

BOLTS CONNECTING ANGLE WITH BEAM

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class =	8.8		Bolt class
$d =$	16	[mm]	Bolt diameter
$d_0 =$	18	[mm]	Bolt opening diameter
$A_s =$	157,00	[mm ²]	Effective section area of a bolt
$A_v =$	201,06	[mm ²]	Area of bolt section
$f_{ub} =$	800,00	[MPa]	Tensile resistance
$k =$	2		Number of bolt columns
$w =$	2		Number of bolt rows
$e_1 =$	55	[mm]	Level of first bolt
$p_2 =$	70	[mm]	Horizontal spacing
$p_1 =$	70	[mm]	Vertical spacing

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} =$	1,00	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Partial safety factor	[2.2]

LOADS

Case: Manual calculations.

$N_{b,Ed} =$	0,00	[kN]	Axial force
$V_{b,Ed} =$	150,00	[kN]	Shear force
$M_{b,Ed} =$	0,00	[kN*m]	Bending moment

RESULTS

BOLTS CONNECTING ANGLE WITH PRINCIPAL BEAM

BOLT CAPACITIES

$F_{v,Rd} =$	77,21	[kN]	Shear bolt resistance in the unthreaded portion of a bolt	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$
$F_{t,Rd} =$	90,43	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_u \cdot A_s / \gamma_{M2}$

Bolt bearing on the principal beam web

Direction x

$k_{1x} =$	2,50	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------

$k_{1x} > 0.0$	2,50 > 0,00	verified
----------------	-------------	----------

$\alpha_{bx} =$	1,00	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
-----------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

$\alpha_{bx} > 0.0$	1,00 > 0,00	verified
---------------------	-------------	----------

$F_{b,Rd1x} =$	111,33	[kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$
----------------	--------	------	-------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Direction z

$k_{1z} =$	2,50	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------

$k_{1z} > 0.0$	2,50 > 0,00	verified
----------------	-------------	----------

$\alpha_{bz} =$	1,00	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
-----------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

$\alpha_{bz} > 0.0$	1,00 > 0,00	verified
---------------------	-------------	----------

$F_{b,Rd1z} =$	111,33	[kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$
----------------	--------	------	-------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Bolt bearing on the angle

Direction x

$k_{1x} =$	2,50	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------

$k_{1x} > 0.0$	2,50 > 0,00	verified
----------------	-------------	----------

$\alpha_{bx} =$	0,65	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
-----------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

$\alpha_{bx} > 0.0$	0,65 > 0,00	verified
---------------------	-------------	----------

$F_{b,Rd2x} =$	152,44	[kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$
----------------	--------	------	-------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Direction z

$k_{1z} =$	2,50	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------

$k_{1z} > 0.0$	2,50 > 0,00	verified
----------------	-------------	----------

$\alpha_{bz} =$	1,00	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
-----------------	------	-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

$\alpha_{bz} > 0.0$	1,00 > 0,00	verified
---------------------	-------------	----------

$F_{b,Rd2z} =$	235,20	[kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$
----------------	--------	------	-------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

FORCES ACTING ON BOLTS IN THE PRINCIPAL BEAM - ANGLE CONNECTION

Bolt shear

$e =$ 83 [mm] Distance between centroid of a bolt group of an angle and center of the beam web

$M_0 =$ 6,23 [kN*m] Real bending moment

$F_{Vz} =$ 18,75 [kN] Component force in a bolt due to influence of the shear force

$F_{Mx} =$ 22,26 [kN] Component force in a bolt due to influence of the moment

$F_{x,Ed} =$ 22,26 [kN] Design total force in a bolt on the direction x

$F_{z,Ed} =$ 41,01 [kN] Design total force in a bolt on the direction z

$F_{Ed} =$ 46,66 [kN] Resultant shear force in a bolt

$F_{Rdx} =$ 111,33 [kN] Effective design capacity of a bolt on the direction x

$$M_0 = 0.5 \cdot V_{b,Ed} \cdot e$$

$$F_{Vz} = 0.5 \cdot |V_{b,Ed}| / n$$

$$F_{Mx} = |M_0| \cdot z_i / \sum z_i^2$$

$$F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$$

$$F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed})^2 + (F_{z,Ed})^2}$$

$$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$$

$e = 83$ [mm]	Distance between centroid of a bolt group of an angle and center of the beam web		
$F_{Rdz} = 111,33$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction z		$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$ 22,26 < 77,21$	verified	(0, 20)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$ 41,01 < 77,21$	verified	(0, 37)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$46,66 < 77,21$	verified	(0, 60)

Bolt tension

$e = 84$ [mm]	Distance between centroid of a bolt group and center of the principal beam web		
$M_{0t} = 6,27$ [kN*m]	Real bending moment		$M_{0t} = 0.5 \cdot V_{b,Ed} \cdot e$
$F_{t,Ed} = 22,38$ [kN]	Tensile force in the outermost bolt		$F_{t,Ed} = M_{0t} \cdot z_{max} / \sum z_i^2 + 0.5 \cdot N_{b2,Ed} / n$
$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	$22,38 < 90,43$	verified	(0, 25)

Simultaneous action of a tensile force and a shear force in a bolt

$F_{v,Ed} = 46,66$ [kN]	Resultant shear force in a bolt		$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1.4 \cdot F_{t,Rd}) \leq 1.0$	$0,78 < 1,00$	verified	(0, 78)

BOLTS CONNECTING ANGLE WITH BEAM

BOLT CAPACITIES

$F_{v,Rd} = 154,42$ [kN]	Shear bolt resistance in the unthreaded portion of a bolt		$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$
--------------------------	-----------------------------------------------------------	--	---------------------------------------------------------------

Bolt bearing on the beam

Direction x

$k_{1x} = 2,50$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	verified
$\alpha_{bx} = 0,56$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,56 > 0,00$	verified
$F_{b,Rd1x} = 54,01$ [kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

$k_{1z} = 2,50$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	verified
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	verified
$F_{b,Rd1z} = 97,22$ [kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Bolt bearing on the angle

Direction x

$k_{1x} = 2,50$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	verified
$\alpha_{bx} = 0,65$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,65 > 0,00$	verified
$F_{b,Rd2x} = 304,89$ [kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

$k_{1z} = 2,50$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	verified
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	verified
$F_{b,Rd2z} = 470,40$ [kN]	Bearing resistance of a single bolt	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

FORCES ACTING ON BOLTS IN THE ANGLE - BEAM CONNECTION

Bolt shear

$e = 84$ [mm]	Distance between centroid of a bolt group and center of the principal beam web		
$M_0 = 12,53$ [kN*m]	Real bending moment		$M_0 = M_{b,Ed} + V_{b,Ed} \cdot e$
$F_{Vz} = 37,50$ [kN]	Component force in a bolt due to influence of the shear force		$F_{Vz} = V_{b,Ed} / n$
$F_{Mx} = 44,76$ [kN]	Component force in a bolt due to influence of the moment		$F_{Mx} = M_0 \cdot z_i / \sum z_i^2$
$F_{x,Ed} = 44,76$ [kN]	Design total force in a bolt on the direction x		$F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$
$F_{z,Ed} = 82,26$ [kN]	Design total force in a bolt on the direction z		$F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$
$F_{Ed} = 93,65$ [kN]	Resultant shear force in a bolt		$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 54,01$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction x		$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$

$e = 84$ [mm]	Distance between centroid of a bolt group and center of the principal beam web		
$F_{Rdz} = 97,22$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$	
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$ 44,76 < 54,01$	verified	(0,83)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$ 82,26 < 97,22$	verified	(0,85)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$93,65 < 154,42$	verified	(0,61)

VERIFICATION OF THE SECTION DUE TO BLOCK TEARING (SHEAR FORCE)

ANGLE

$A_{nt} = 1170,00$ [mm ²]	Net area of the section in tension		
$A_{nv} = 1470,00$ [mm ²]	Area of the section in shear		
$V_{effRd} = 530,61$ [kN]	Design capacity of a section weakened by openings	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$	
$ 0.5 \cdot V_{b,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 75,00 < 530,61$	verified	(0,14)

BEAM

$A_{nt} = 452,60$ [mm ²]	Net area of the section in tension		
$A_{nv} = 669,60$ [mm ²]	Area of the section in shear		
$V_{effRd} = 225,95$ [kN]	Design capacity of a section weakened by openings	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$	
$ V_{b,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 150,00 < 225,95$	verified	(0,66)

VERIFICATION OF ANGLE SECTION WEAKENED BY OPENINGS

$A_t = 1350,00$ [mm ²]	Area of tension zone of the gross section		
$A_{t,net} = 1080,00$ [mm ²]	Net area of the section in tension		
$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$	$0,72 < 0,91$		
$W_{net} = 80305,66$ [mm ³]	Elastic section modulus		
$M_{c,Rdnet} = 28,51$ [kN*m]	Design resistance of the section for bending	$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$	
$ M_0 \leq M_{c,Rdnet}$	$ 6,27 < 28,51$	verified	(0,22)
$A_v = 2700,00$ [mm ²]	Effective section area for shear	$A_v = I_a \cdot t_{fa}$	
$A_{v,net} = 2160,00$ [mm ²]	Net area of a section effective for shear	$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0$	
$V_{pl,Rd} = 553,39$ [kN]	Design plastic resistance for shear	$V_{pl,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$	
$ 0.5 \cdot V_{b,Ed} \leq V_{pl,Rd}$	$ 75,00 < 553,39$	verified	(0,14)

VERIFICATION OF A BEAM SECTION WEAKENED BY OPENINGS

$A_t = 620,00$ [mm ²]	Area of tension zone of the gross section		
$A_{t,net} = 508,40$ [mm ²]	Net area of the section in tension		
$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$	$0,74 < 0,91$		
$W_{net} = 40627,96$ [mm ³]	Elastic section modulus		
$M_{c,Rdnet} = 14,42$ [kN*m]	Design resistance of the section for bending	$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$	
$ M_0 \leq M_{c,Rdnet}$	$ 12,53 < 14,42$	verified	(0,87)
$A_v = 1240,00$ [mm ²]	Effective section area for shear		
$A_{v,net} = 1016,80$ [mm ²]	Net area of a section effective for shear	$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0$	
$V_{pl,Rd} = 254,15$ [kN]	Design plastic resistance for shear	$V_{pl,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$	
$V_{b,Ed} \leq V_{pl,Rd}$	$ 150,00 < 254,15$	verified	(0,59)

Connection conforms to the code	Ratio	0,87
----------------------------------------	-------	------