

Alexey Balashov

**PÄÄTYLEVYLIITOKSEN SUUNNITTELU
STANDARDIN SFS-EN 1993-1-8 MUKAAN**

PÄÄTYLEVYLIITOKSEN SUUNNITTELU
STANDARDIN SFS-EN 1993-1-8 MUKAAN

Alexey Balashov
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Rakennesuunnittelu

Tekijä: Alexey Balashov

Opinnäytetyön nimi: Päätylevyliitoksen suunnittelu standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaan

Opinnäytetyön nimi: Design of End-plate joints of steel structures according to the standard SFS-EN 1993-1-8

Työn ohjaaja: Kai Kuula

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 50

Teräsrakenteiden suunnittelussa liitoksilla on tärkeä asema. Niiden osuus sekä suunnittelu- että valmistustyöstä on huomattava. Liitostapa ja liitoksen muotoilu vaikuttavat rakenteen toimintatapaan ja samalla myös kustannuksiin merkittävästi. Liitoslaskennan prosessi on monivaiheinen ja työläs, lisäksi käsin tehtynä laskenta on virhealtista. Tämän vuoksi laskennan automatisointi suunnittelutoimistoissa on ehdottomasti tarpeellinen.

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Opinnäytetyössä perehdyttiin teräsrakenteiden pulttiliitosten mitoittamiseen Eurokoodin mukaan. Työssä tehtiin tilaajayrityksen käyttöön mitoitusohjelma, jonka avulla lasketaan I- ja H-teräsprofiilien palkki-pilari päätylevyliitokset noudattamalla Eurokoodin standardeja.

Mitoitusohjelman avulla pyrittiin helpottamaan ja tehostamaan suunnittelijan laskentaprosesseja eri projekteissa. Tavoitteena oli myös perehtyä teräsrakenteiden liitossuunnittelun periaatteisiin. Opinnäytetyö tehtiin WSP Finland Oy:lle.

Liitoksen mitoittamiseen perehdyttiin käyttäen Eurokoodeja sekä muuta teräsrakennesuunnitteluun perustuvaa kirjallisuutta ja WSP Oy:n suunnittelutoimistossa työskentelevien rakennesuunnittelijoiden ohjeistusta. Sen jälkeen teoriaa ja kerättyjä tietoja soveltaen kyseisen liitoksen laskennasta laadittiin Excel-pohjainen Eurokoodin mukainen mitoitusohjelma. Mitoitusohjelma laadittiin yrityksen sisäiseen käyttöön.

Rakennesuunnittelijat testasivat mitoitusohjelmaa ennen kuin se otettiin käyttöön suunnittelutoimistossa. Testauksen tuloksena mitoitusohjelman todettiin toimivan.

Asiasanat: teräsrakenteet, liitokset, Eurokoodi, mitoitusohjelma

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil engineering, Structural engineering

Author: Alexey Balashov

Title of thesis: Design of End-plate joints of steel structures according to the standard SFS-EN 1993-1-8

Supervisor: Kai Kuula

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 50

In the design of steel structures, joints play an important role. Their share in both design and manufacturing work is considerable. The type of a joint and the design of a joint affect significantly to the way the structure works, as well as to the cost. Joint calculation is a complex and multi-stage process, whereas manual calculation is error-prone. That is why the automatization of calculation is absolutely necessary in engineering design offices.

Eurocodes are European design standards related to load-bearing structures. In the thesis the calculation of bolted joints of steel structures was exposed according to the Eurocode. In this work, a calculation program was made for the company-customer to calculate the bolted end plate beam to column joints of the I- and H-steel profiles according to the Eurocode standards.

The calculation program will facilitate and enhance the calculation processes in different projects for the company's employees. The aim of the thesis is to become familiar with the principles of joining steel structures. The thesis was made for WSP Finland Ltd.

The calculation of the joint was familiarized with by using Eurocodes as well as other literature based on steel structure design and structural engineer's work instructions from WSP Ltd design office. After applying the theory and the gathered information, the calculation program was created using Excel and according to the Eurocode. The calculation program was made for internal use.

Structural engineers tested the calculation program before it was installed at the work place. As a result of the testing, the calculation program was found workable.

Keywords: Steel construction, joints, Eurocode, calculation program

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 LIITOSTEN SUUNNITTELUPERUSTEET	8
2.1 Suunnittelutehtävää ohjaavat standardit	8
2.2 Liitokset teräsrakenteissa	9
3 PÄÄTYLEVYLIITOKSEN MITOITUS EUROKOODIN MUKAAN	11
3.1 Lähtötiedot mitoitusta varten	11
3.1.1 Profiilien ja materiaalien valinta	11
3.1.2 Ruuvikiinnitykset ja ruuvikiinnitysluokat	12
3.1.3 Rasitusten jakautuminen ruuveille	14
3.1.4 Liitoksen geometriset parametrit	15
3.1.5 Vedetty ekvivalentti T-osa	17
3.2 Liitoksen momenttikestävyys	21
3.3 Liitosten kiertymiskyky ja kiertymisjäykkyyden menetelmä	22
3.4 Peruskomponenttien laskenta	26
3.4.1 Pilarin laipan poikittainen taivutus	26
3.4.2 Päätylevyn taivutus	28
3.4.3 Pilarin uuman leikkaus	29
3.4.4 Pilarin uuman poikittainen puristus	31
3.4.5 Pilarin uuman poikittainen veto	33
3.4.6 Palkin laipan ja uuman puristus	34
3.4.7 Palkin uuman veto	34
3.4.8 Ruuvikiinnitysten kestävyys	35
3.4.9 Hitsien mitoitus	37
3.5 Konsolilevyn ja päätylevyn mitoitus	41
4 ENDPLATE CALCULATOR	43
4.1 Mitoitusohjelman ulkoasu	43
4.2 Mitoitusohjelman käyttö	45
4.3 Kehitysehdotuksia	48

5 YHTEENVETO	49
LÄHTEET	50

1 JOHDANTO

Mitoitusohjelmien käyttö on rakennesuunnittelijalle osa arkipäivää. Ohjelmat merkittävästi parantavat ja tehostavat suunnittelijan toimintaa, sillä teknisen laskennan rutiinitehtävien automatisointi nopeuttaa laskentaprosesseja huomattavasti sekä vähentää käsin tehdyssä laskennassa tapahtuvien virheiden riskiä. Rakennesuunnittelussa useimmat mitoitusohjelmat tehdään käyttäen Excel- tai Mathcad-ohjelmistoja. Suunnittelutoimistossa sekä ne että kehittyneemmät laskentaohjelmat ovat aina kysyttyjä. Kyseisten mitoitusohjelmien käytöstä on yrityksille merkittävä etu.

Opinnäytetyönä tehdään WSP Finland Oy:n käyttöön mitoitusohjelma, jonka avulla voidaan laskea I- ja H-teräsprofiilien pulttiliitoksia. Työn tarkoituksena on kehittää yrityksen mitoitustyökalu, jonka käytöstä liitossuunnittelussa merkittävästi tehostetaan rakennesuunnittelijan tuottavuutta. Lisäksi rakennesuunnittelijalle parannetaan mukavuutta käyttämällä mitoitusohjelmaa kyseisissä työtehtävissä eri projekteissa. Opinnäytetyössä käsitellään yrityksen useammin käytettyjä tyyppiliitoksia. Mitoitusohjelma tehdään palkki-pilariliitoksista, jolloin palkki kiinnitetään pilariin päätylevyliitoksen avulla ruuveilla.

Laskentapohja pyritään toteuttamaan helppokäyttöisenä ja selkeänä, jotta kyseinen ohjelma ei vaikeuta käyttäjän työtä. Mitoitusohjelman tehtävänä on mitoittaa tiettyjen leikkaus- ja vetorasitettujen pulttiliitosten kestävyyydet. Mitoitusohjelmassa käsitellään pulttien ja hitsien sekä päätylevyn mitoitusta, lisäksi tarkastellaan teräsprofiilien kestävyyttä liitoksen osalta. Muuten teräsprofiilin kestävyyksistä ei ole tarkoitusta tehdä laskentaa.

Opinnäytetyössä perehdytään Eurokoodin mukaisten teräsrakenteiden liitossuunnittelun periaatteisiin. Mitoituksessa käytetään eurokoodeja sekä muuta tutkittavan alueeseen liittyvää kirjallisuutta. Lisäksi tässä raportissa esitetään yleisiä asioita mitoitusohjelmasta sekä vaiheittain voimasuureiden laskenta- ja liitoksen mitoitusperusteet. Raportissa myös käydään läpi perusasioita laskentaohjelman käytöstä. Lopputuloksena tilaajalle luodaan standardin SFS-EN 1993-1-8 ja sen kansallisen liitteen mukainen Excel-pohjainen mitoitusohjelma.

2 LIITOSTEN SUUNNITTELUPERUSTEET

2.1 Suunnittelutehtävää ohjaavat standardit

Kantavien rakenteiden suunnittelu perustuu eurooppalaisten rakennesuunnittelustandardien eli eurokoodien käyttöön yhdessä ympäristöministeriön vahvistamien kansallisten liitteiden kanssa. Eurocode-järjestelmä on kehitetty eurooppalaisen rakennusteollisuuden kilpailukyvyn ja kansainvälisen yhteistyön parantamiseksi sekä Euroopan Unionin alueella että muualla maailmassa. Teräsrakenteiden kannalta Eurokoodeista keskeisimpiä ovat Eurocode 1 ja Eurocode 3 sekä rakenteiden toteutusta ohjaava standardi EN 1090. (1, s. 9.)

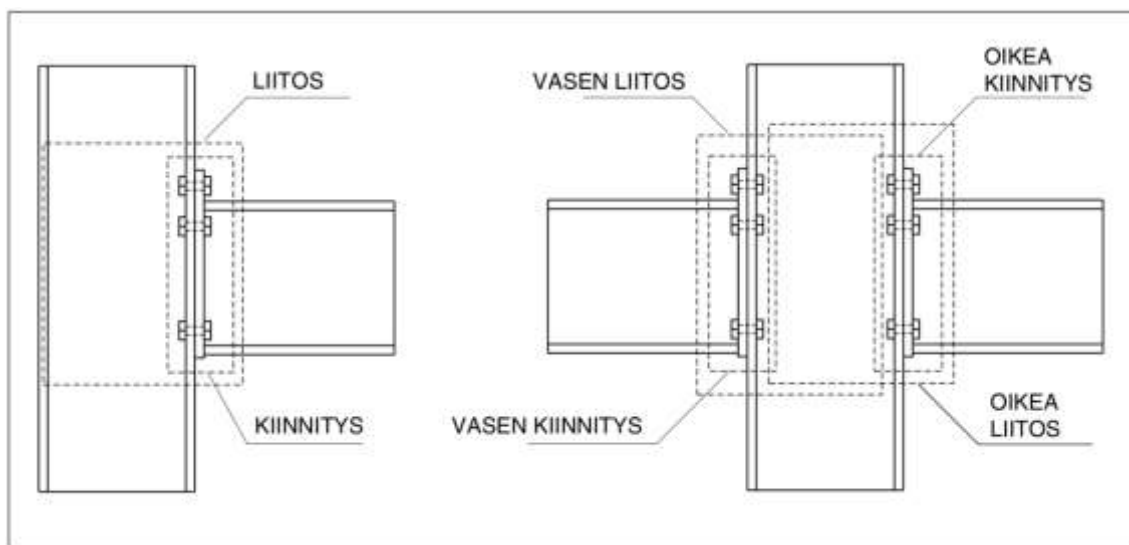
Eurokoodeissa esitetään rakenteiden suunnittelua koskevia ohjeita ja ohjeistuksia sekä varmuuden määrittämisperiaatteet ja erilaiset rakenteiden kuormat. Myös rakennusmateriaaleille esitetään omat yksityiskohtaiset suunnitteluohjeensa. Standardien soveltaminen eri maissa, niiden erilaisista olosuhteista johtuen, kuitenkin vaatii kansallisten liitteiden (NA) laatimista. Suomessa näiden kansallisten liitteiden laatimisesta vastaa Ympäristöministeriö talonrakentamisen sekä Liikennevirasto siltojen ja liikennealueiden osalta. (2, s. 603-604.)

Uudet ympäristöministeriön asetukset rakenteiden suunnitteluperusteita, rakenteiden kuormia ja geoteknistä suunnittelua koskevista Eurokoodien kansallisista valinnoista tulivat voimaan 1. tammikuuta 2017 (3, linkit Etusivu ->Hae sivustolta -> Eurokoodi -> Ajankohtaista -> Rakennustenkantavien rakenteiden suunnittelun muutoksia 1. tammikuuta 2017).

Rakennuksen kantavia ja jäykistäviä rakenteita koskevat olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät, kun rakenteet suunnitellaan ja toteutetaan eurokoodien sekä niitä koskevien kansallisten valintojen mukaan. Lisäksi rakenteet suunnitellaan ja toteutetaan siten, että ne säilyttävät tarvittavat luotettavuustasonsa suunnitellun käyttöiän ajan ja taloudellisesti kestävät kaikki todennäköisesti esiintyvät kuormat ja vaikutukset. Myös niiden on oltava riittävän kestäviä, käyttökelpoisia ja säilyviä. (3, linkit Etusivu -> Hae sivustolta -> Eurokoodi -> Ajankohtaista -> Rakennustenkantavien rakenteiden suunnittelun muutoksia 1. tammikuuta 2017; 4, s. 25.)

2.2 Liitokset teräsrakenteissa

Teräsrunko muodostetaan terässauvoista ja liitoksista niiden välillä. Liitoksella tarkoitetaan peruskomponenttien yhdistelmää, kuten ruuvi, hitsi, päätylevy, pilarin tai palkin uuma ja laippa. Liitoksen tehtävänä on sauvojen liittäminen yhteen siten, että voimasuureet pääsevät siirtymään sauvojen välillä. Kiinnityksellä sen sijaan tarkoitetaan aluetta, jossa kaksi sauvaa liitetään toisiinsa kiinnikkeiden avulla. Kiinnitys käsittää puolestaan kiinnittymistavan, yleisemmin ruuvi- tai hitsauskiinnityksen. Kuvassa 1 esitetään liitoksen ja kiinnityksen ero. (2, s. 301.)

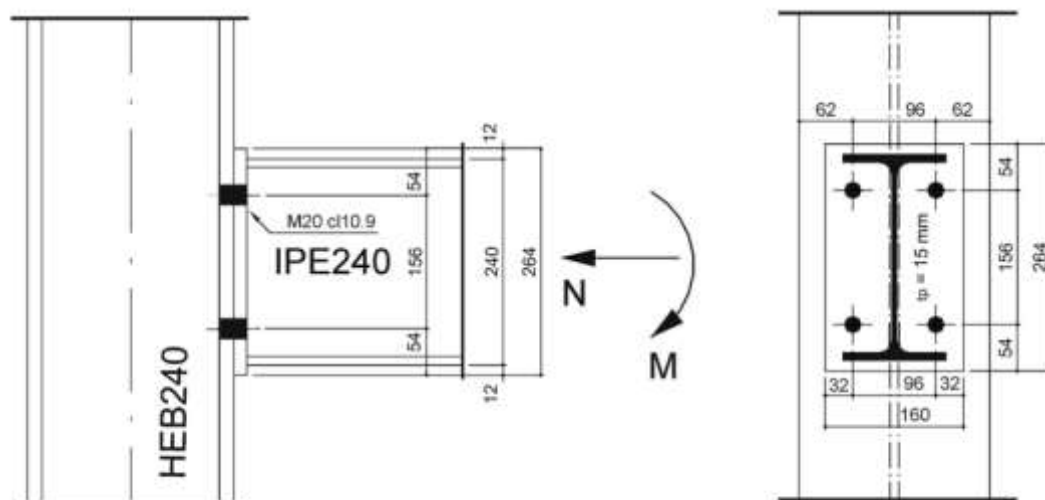


KUVA 1. Kiinnityksen ja liitoksen välinen ero (2, s. 301)

Liitokset voidaan luokitella joko jäykkyyden tai lujuuden perusteella. Jäykkyyden perusteella ne luokitellaan nimellisesti nivelelliseksi, jäykäksi tai osittain jäykäksi. Sen sijaan lujuuden perusteella luokitellaan nimellisesti nivelelliseksi, täysin lujaksi tai osittain lujaksi vertaamalla liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvoa $M_{j,Rd}$ liitokseen liittyvien sauvojen taivutuskestävyyden mitoitusarvoihin, jolloin sauvan kestävyys mitoitetaan valitaan liitoksen vieressä olevan kestävyysarvo. Jäykät liitokset voidaan toteuttaa joko hitsausliitoksina tai ruuviliitoksina, kun taas nivelelliset liitokset ovat ruuviliitoksia. Jotta liitos toimii teknisesti oikein, liitoksia suunnitellaan ottaen huomioon liitoksen kiertymiskyky ja juostavuus. (2, s. 302-303.)

Liitosten geometriaa suunniteltaessa huomioidaan elinkaaren aikaiset vaatimukset sekä eri toimintoja säätelevät reunaehdot. Ensisijaisesti otetaan huomioon saatavilla olevat liittämistekniikat sekä konepajavalmistuksessa että työmaalla. Lisäksi kiinnitetään huomio voimasuureiden jakautumiseen sekä asennustapaan ja asennusolosuhteisiin. Pääsääntö teräsrakentamisessa on, että hitsausliitoksia käytetään konepajalla ja ruuviliitoksia työmaalla. Lisäksi rakenteet kannattaa suunnitella siten, että rakenneosia ja osarakenteita valmistetaan konepajalla niin suurina lohkoina kuin teknisesti kuljetus ja asennus mahdollistavat ja työmaalla ne liitetään toisiinsa ruuviliitoksien. Muitakin liittämistekniikoita voidaan käyttää harvittain. Käytettävän tekniikan on kuitenkin aina selvitettävä soveltuvuus, saatavuus, kustannukset ja laatuvaatimukset. (1, s. 83; 2, s. 301.)

Liitostavat teräsrunkojen liitosten suunnittelussa riippuvat paljon rakennuksen rakenteellisista ominaisuuksista. Suomessa teräsrakenteissa yleisemmin käytössä olevista liitoksista on päätylevyliitos. Kuvassa 2 on esitetty palkki-pilariliitos, jolloin palkki kiinnitetään pilariin ruuvikiinnityksellä. Palkin päähän yleensä hitsataan päätylevy, joka ruuveilla kiinnitetään pilarin laippaan tai uumaan. Kyseistä liitosta kutsutaan päätylevyliitokseksi, joka on liittämistekniikkana ja toiminnallisuudeltaan monipuolinen ratkaisu. Päätylevyliitoksilla voidaan saada toteutettua sekä nivelellisiä että suuria momentteja siirtäviä liitoksia. Päätylevyliitosten toimintaa on myös tutkittu paljon, joten päätylevyliitosten mitoitus varten on olemassa Eurokoodin mukaisia mitoitusmenetelmiä. (1, s. 83-85; 2, s. 386; 5, s. 64-65.)



KUVA 2. Tyypillinen palkki-pilari päätylevyliitos ja liitoksen geometria

3 PÄÄTYLEVYLIITOKSEN MITOITUS EUROKOODIN MUKAAN

Luvuissa 3.1-3.5 esitetään opinnäytetyössä tarkasteltavien liitosten Eurokoodin mukaista mitoitus varten tarvittavat tiedot ja kaavat sekä selvitetään liitosten mitoitusperiaatteet ja voimien jakautuminen liitoksessa. Raportissa myös selostetaan voimasuureiden ja liitoksen peruskomponenttien laskentaperusteet, minkä jälkeen ohjelmoidaan taulukkolaskentaohjelmaa kaavoilla ja vaiheittain suoritetaan liitoksen mitoitus. Lisäksi tehdään laskentatarkistusta käsin.

3.1 Lähtötiedot mitoitus varten

Tässä opinnäytetyössä käytetään standardin SFS EN 1993-1-8 mukaista komponenttimenetelmää, jonka avulla liitokselle saadaan määritettyä kestävyysden mitoitusarvot ja kiertymisjäykkyys. Liitoksen jäykkyyteen ja kestävyysden voidaan vaikuttaa levypaksuuksien lisäksi jäykisteillä, taustalevyillä ja sopivalla ruuvien sijoittelulla. Komponenttimenetelmällä saadaan myös tietoa liitoksen murtumismuodosta, jotta liitos pystytään mitoittamaan sitkeäksi. (2, s. 386; 5, s. 66.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään seuraavia päätylevyliitosten tyyppejä:

- nivelellinen päätylevyliitos, joko asennuslevyn kanssa tai ilman
- nivelellinen päätylevyliitos, jossa lisäksi käytetään teräskonsolia
- jäykkä päätylevyliitos.

3.1.1 Profiilien ja materiaalien valinta

Tässä työssä liitoksia mitoittaessa käytetään kuumavalssattuja rakenneteräksiä ja niiden lujuusominaisuuksia. Mitoitusohjelmassa valitaan teräsprofiilia valintaikkunan avulla tai syöttämällä profiilin tiedot kenttään, jolloin ohjelma antaa kyseisen rakenneteräksen poikkileikkausparametrinsa. Profiilimuodoltaan tässä mitoituksessa rakenneteräksiä voidaan käyttää I- ja H-teräsprofiileina.

Taulukoon 1 on koottu lujuusluokkien S235-S460 Eurokoodin mukaisia teräksiä. SFS-EN1991-1-1:n mukaan valitaan taulukosta standardi sekä määritetty standar-

din mukaan laskennassa käytettävät teräslajit. Lisäksi valitaan teräksen nimellispaksuuden mukaan kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan f_y ja vetomurtolujuuden f_u nimellisarvot. (1, s. 26.)

TAULUKKO 1. Kuumavalssattujen rakenneterästen myötölujuuden ja vetomurtolujuuden nimellisarvot (1, s. 26)

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	490	335	470
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	490	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Eurokoodin mukaisten materiaalien kaikki tarvittavat tiedot syötetään sovelluksen tietokantaan. Mitoitusohjelmassa levyn nimellispaksuus ja teräslaji valitaan valintaluettelosta tai syöttämällä tiedot kyseisiin kohtiin käsin. Mitoitettaessa kyseisiä rakenneosia edellä mainitut valinnat tehdään jokaiselle osalle erikseen. Rakenneosien lujuusominaisuudet mitoitusohjelma määrittää automaattisesti.

3.1.2 Ruuvikiinnitykset ja ruuvikiinnitysluokat

Liitosten suunniteltaessa otetaan huomioon koneellisen kiristyksen vaatimukset. Lisäksi rakenneosien väliset asennusliitokset pyritään toteuttamaan pääsääntöisesti ruuvikiinnityksinä. Liitoksissa ruuveja, muttereita ja aluslaattoja käytetään standardissa SFS EN 1993-1-8 esitettyjen viitestandardien mukaisia. (2, s. 307.)

Taulukossa 2 esitetään standardin SFS EN 1993-1-8 mukaisten ruuvien myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot. Suomen kansallisen liitteen suosituksen mukaisesti Suomessa yleensä käytetään ainoastaan lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 ruuveja. Peruslujuutena voidaan pitää lujuusluokan 8.8 ruuveja. (2, s. 313.)

TAULUKKO 2. Ruuvien myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot (2, s. 313)

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

Teräsrakenteissa standardin EN 1090-2 mukaan käytetään ruuvikokoja M12 – M36. Kokoja M22 ja M27 on kyseenalaista, joten niiden saatavuus tulee tarkistaa erikseen. Jokaiselle ruuvikoolle on määritetty varren bruttopinta-ala sekä poikkipinta-ala varren kierteellisellä alueella. Laskentaa varten pinta-alaksi valitaan jännityspinta-ala, mikäli kierteet ovat liitoksessa leikkautuvassa tasossa. Sen sijaan valitaan kierteettömän varren pinta-ala, mikäli kierteet eivät ole leikkaustasossa. Mitoitusohjelmassa käytettävät ruuvikoot sekä ruuvien pinta-alat esitetään taulukossa 3. (2, s. 313-314.)

TAULUKKO 3. Käytettävien ruuvien koot ja poikkipinta-alat (2, s. 314)

Ruuvi ^{a)}	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36
Varren bruttopinta-ala A (mm ²)	113	201	314	380	452	573	707	1018
Jännityspinta-ala A_s (mm ²) ^{b)}	84,3	157	245	303	353	459	561	817

Ruuvien välyksellä tarkoitetaan reiän nimellishalkaisijan ja ruuvien nimellishalkaisijan eroa. Teräsrakenteissa käytettävien ruuvien välykset esitetään taulukossa 4. (2, s. 314.)

TAULUKKO 4. Nimellistävälykset taulukon 2 ruuvien rei'ille, mm (2, s. 314)

Ruuvien koko	M12	M16	M20	M22	M24	M27 ja suuremmat
Normaalit pyöreät reijät ^{a)}	1 ^{b) c)}	2				3
Ylisuuret pyöreät reijät	3	4			6	8
Lyhyet pidennetyt reijät (pituudelle) ^{d)}	4	6			8	10
Pitkät pidennetyt reijät (pituudelle) ^{d)}	1,5d					

Ruuvikiinnitykset jaetaan kahteen pääryhmään sen mukaan, kohdistuuko ruuveihin leikkausta vai vetoa. Leikkausvoiman rasittamat kiinnitykset suunnitellaan jonkin alla mainitun luokan mukaan:

- Kiinnitysluokka A, johon kuuluu reunapuristustyyppinen kiinnitys. Kiinnitysluokassa käytetään kaikkia lujuusluokkia eikä ruuveja tarvitse esijännittää sekä liitettävien osien liitospinnoille ei aseteta erikoisvaatimuksia.
- Kiinnitysluokka B, joka käsittää käyttörajatilassa liukumisen estävä kiinnitys. Tässä kiinnitysluokassa käytetään esijännitettäviä lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 ruuveja. Liukumista käyttörajatilassa ei saa tapahtua.
- Kiinnitysluokka C, joka käsittää murtorajatilassa liukumisen estävä kiinnitys. Kiinnitysluokassa käytetään esijännitettäviä luokkien 8.8 ja 10.9 ruuveja. Liukumista ei murtorajatilassa sallita. Vedetyssä kiinnityksessä tarkistetaan nettopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen vetokestävyys reikien kohdalla. (2, s. 319.)

Vetovoiman rasittamat kiinnitykset suunnitellaan jonkin seuraavan luokan mukaan:

- Kiinnitysluokan D kiinnitykset, joissa käytetään esijännittämättömiä ruuveja. Tässä luokassa käytetään lujuusluokkien 4.6... 10.9 ruuveja, joita ei tarvitse esijännittää. Tätä luokkaa ei saa käyttää, jos kiinnitykseen kohdistuu vaihteleva vetovoima. Kuitenkin luokkaa voidaan käyttää tapauksissa, joissa kiinnityksiin kohdistuu tavallisia tuulikuormia.
- Kiinnitysluokan E kiinnitykset, joissa käytetään esijännitettyjä ruuveja. Tässä luokassa käytetään esijännitettäviä lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 ruuveja, joiden tarkoituksena on parantaa väsymiskestävyyttä. (2, s. 320.)

3.1.3 Rasiusten jakautuminen ruuveille

Ruuveihin vaikuttavat voimat lasketaan ottaen huomioon liitoksen toiminta, liitettävien komponenttien jäykkyys ja tasapainoehdot. Momentin vaikuttaessa liitokseen sisäiset voimat voidaan jakaa ruuveille kimmoteorian (lineaarisesti) tai plastisuusteorian mukaisesti. Palkki-pilariliitos, jolloin palkki kiinnitetään pilariin päätylevyliitoksen avulla ruuveilla, pidetään yleensä vetorasitettuna liitoksena.

Näissä liitoksissa pilarin ja palkin välillä vetovoimat siirtyvät ruuvien varren suuntaisesti ruuvien välityksellä. Kun liitokseen kohdistuu vetoa, kiinnittimet suunnitellaan kestävänsä sivulla 20 olevassa kuvassa 5 esitetyt vipuvaikutuksesta syntyvät lisävoimat, mikäli niitä esiintyy. Tässä tapauksessa käytetään esijännittämättömiä lujusluokkien 8.8 ja 10.9 ruuveja, jotka kuuluvat ruuvikiinnitysluokkaan D ja ruuvien kapasiteetti mitoitetaan ekvivalentin T-osan avulla. (2, s. 322-323.)

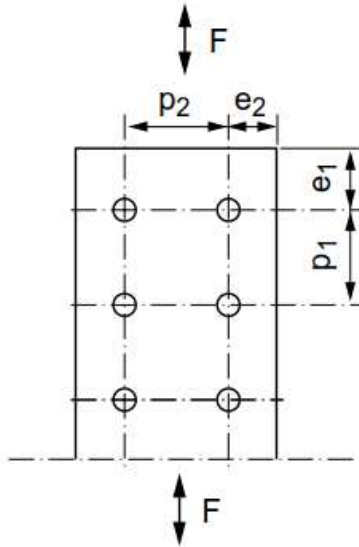
Kun liitokselle kohdistuu suuri keskeinen leikkausvoima, liitoksen leikkauskestävyyttä hoidetaan joko ruuvien leikkauksella tai leikkauksen kantamiseen suunnitellaan leikkauspalalla. Viimeisessä tapauksessa palkin pää lepää konsolilevyn päällä, joka kantaa yksinään palkilta tulevan leikkausvoiman. Ruuvikiinnitys toimii nivelliitoksena ja ruuveihin ei kohdistu kuormitusta, vaan niiden tehtävänä on ainostaan varmistaa, että palkin pää ei pääse putoamaan konsolin päältä asennusvaiheessa. (2, s. 387.)

Tapauksessa, jossa päätylevyliitos toteutetaan ilman konsolilevyä ja ruuviin kohdistuu sekä leikkausvoima että vetovoima, käytetään esijännitettäviä lujusluokkien 8.8 ja 10.9 ruuveja, jotka kuuluvat ruuvikiinnitysluokkaan E. Ruuvien mitoitus tällöin perustuu yhdistettyyn leikkaus- ja vetokestävyyteen. Lisäksi vetokestävyys tarkistetaan T-osaan perustuen. (2, s. 338.)

3.1.4 Liitoksen geometriset parametrit

Jotta reunapuristukselle saavutetaan liitoksen riittävä kestävyys, liitoksessa olevien reikien sijoittelun on oltava määrätyissä rajoissa, lisäksi ruuvien tulee täyttää toteutusstandardin vaatimukset koskien kestävyysmitoitusarvojen rajoituksia. Ruuvien reikien oikealla sijoittelulla liitoksessa vältetään myös korroosion syntymistä sekä levyosan paikallista lommahdusta ruuvien välissä ja globaalista nurjahdusta, lisäksi helpotetaan ruuvien asentamista. (1, s. 90.)

Liitoksia suunniteltaessa ruuvien keskiöväliille sekä pääty- ja reunaetäisyyksille annetaan pienemmät ja suurimmat sallitut raja-arvot. Reikien etäisyyksille käytetyt merkinnät esitetään kuvassa 3. Normaalien pyörien ja pidennettyjen reikien koon tulee olla sivulla 13 taulukossa 4 esitettyjen arvojen mukaiset. (2, s. 316-318.)



KUVA 3. Kiinnittimen etäisyyksien merkinnät (2, s. 317)

Etäisyydellä e_1 tarkoitetaan etäisyyttä ruuvin keskiöstä levyn reunaan ja keskiöväälillä p_1 ruuvien keskiöiden välistä etäisyyttä voimaan suunnassa. Etäisyyksillä e_2 ja p_2 tarkoitetaan vastaavasti etäisyyksiä, jotka ovat kohtisuorassa tasossa voimaa vastaan. d_0 :lla tarkoitetaan ruuvin reiän halkaisijaa. Niiden sallitut raja-arvot esitetään taulukossa 5. (2, s. 316-318.)

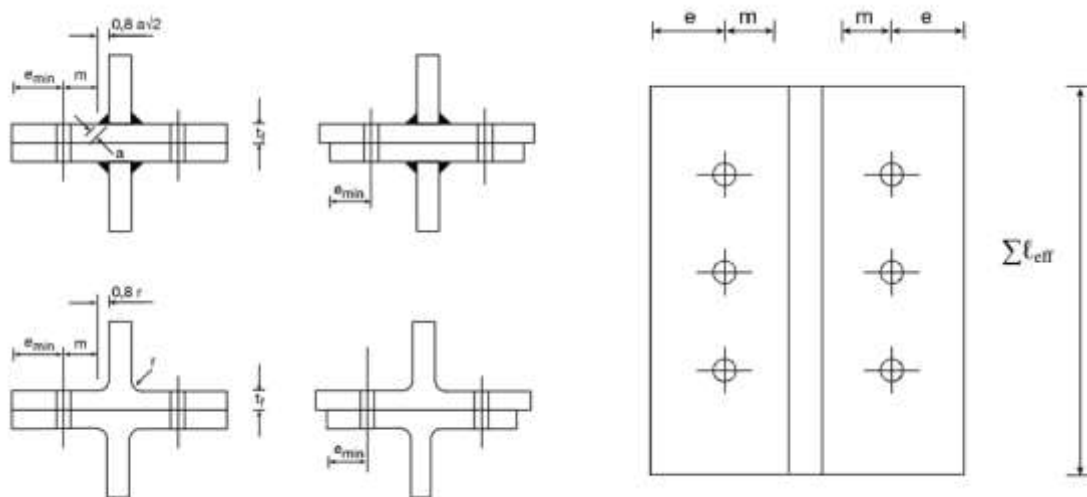
TAULUKKO 5. Ruuvien pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet (2, s. 318)

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, (ks. kuva 3.9)	Minimiarvo	Maksimiarvo ^{a) b) c)}		
		EN 10025 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet (paitsi EN 10025-5 mukaiset säänkestävät teräkset)		EN 10025-5 mukaisista säänkestävistä teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys e_1	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		$\max[8t ; 125 \text{ mm}]$
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		$\max[8t ; 125 \text{ mm}]$
Etäisyys e_3 pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0^{d)}$			
Etäisyys e_4 pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0^{d)}$			
Keskiöväli p_1	$2,2d_0$	$\min[14t ; 200 \text{ mm}]$	$\min[14t ; 200 \text{ mm}]$	$\min[14t_{\min} ; 175 \text{ mm}]$
Keskiöväli $p_{1,0}$		$\min[14t ; 200 \text{ mm}]$		
Keskiöväli $p_{1,1}$		$\min[28t ; 400 \text{ mm}]$		
Keskiöväli $p_2^{e)}$	$2,4d_0$	$\min[14t ; 200 \text{ mm}]$	$\min[14t ; 200 \text{ mm}]$	$\min[14t_{\min} ; 175 \text{ mm}]$

Mitoitusohjelma suunnitellaan siten, että mikäli edellä mainittuja parametreja syötettäessä taulukon 5 vaatimukset eivät täyty, sovellus pyytää arvojen korjausta oikeaksi ja lisäksi opastaa suunnittelijaa tapauskohtaisesti kommentteilla.

3.1.5 Vedetty ekvivalentti T-osa

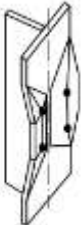
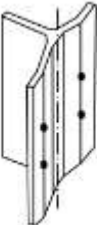
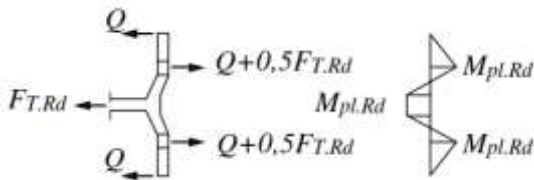

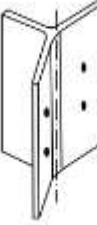
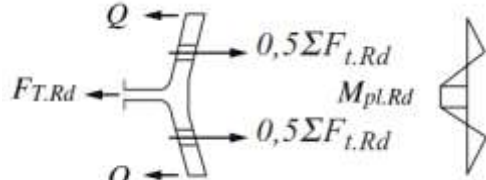


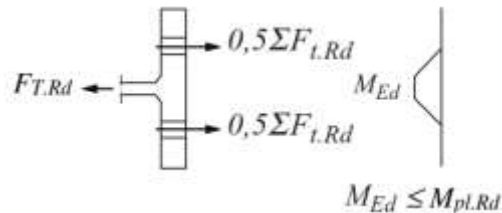
Vedetyllä ekvivalentilla T-osalla tarkoitetaan laskentamalli, jota voidaan käyttää päätylevyliitosten mitoituksessa kestävyysmitoitussarvojen mallintamiseksi tapauksissa, jossa pilarin laippa ja päätylevy ovat taivutuksessa. Valitsemalla ekvivalentin T-osan tehollinen kokonaispituus Σl_{eff} varmistetaan, että sen laipan kestävyysmitoitussarvo vastaa liitoksen peruskomponentin kestävyyttä. Tehollinen pituus Σl_{eff} on vain käsiteellinen pituus, joka ei välttämättä vastaa liitoksen osan fyysikaalista pituutta. T-osan mitat valitaan kuvan 4 mukaan. (5, s. 72-73.)



KUVA 4. Ekvivalentin T-osan laipan mitat (5, s. 73)

T-osan kestävyysmitoitussarvo lasketaan jokaiselle erilliselle ruuviriville. Mikäli liitoksessa syntyy vipuvoimia, ekvivalentille T-osalle tarkistetaan kolme eri murtumismuotoa. T-osan murtumismuodot kuvailevat joko täyden mekanismin syntymisen pilarin laipoissa tai ruuvien murtumisen laippojen myötäessä tai ruuvien murtumisen. Murtumismuotojen laskentakaavat esitetään taulukoissa 6 ja 7. (5, s. 72-75; 2, s.324-325, 382.)

TAULUKKO 6. T-osan murtumismuodot (2, s. 382)

<p>Todellinen rakenne</p> 	<p>Ekvivalentti T-osa</p> 	<p>Voimakuvio ja Momenttikuvio</p> 
<p>Murtumismuoto 1: Täyden mekanismin syntyminen laipoissa</p>		
		
<p>Murtumismuoto 2: Ruuvien murtuminen, kun laippa samalla myötää</p>		
		
<p>Murtumismuoto 3: Ruuvien murtuminen</p>		

Q vipuvoima, joka esitetään myös sivun 20 kuvassa 5

$F_{T,Rd}$ laipan T-osan vetokestävyyden mitoitusarvo, joka lasketaan sivulla 20 esitetyn taulukon 7 kaavojen mukaan

T-osan laipan plastinen momentti lasketaan käyttäen kaavaa 1 (2, s. 324).

$$M_{pl,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

KAAVA 1

Σl_{eff} T-osan tehollinen pituus kaavan 5 mukaan

t_f käsiteltävän osan paksuus

f_y nimellinen myötölujuus

γ_{M0} kansallisen liitteen mukainen osavarmuusluku 1,00

Kestävyydet määritetään jokaiselle ruuviriville T-osien efektiivisten leveyksien mukaan. Kestävyydeksi valitaan määräävin kolmesta mahdollisista murtumis-
muodoista kaavan 2 mukaan. (5, s. 72.)

$$F_{T,Rd} = \min (F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad \text{KAAVA 2}$$

$F_{T,1,Rd}$, $F_{T,2,Rd}$ ja $F_{T,3,Rd}$ vastaavat T-osan murtumismallien 1-3 kestävyyskä.

Tapauksissa, jossa vipuvoimia ei voi syntyä, T-osan laipan vetokestävyydeksi valitaan määräävin kahdesta arvosta kaavan 3 mukaan (6, s. 72).

$$F_{T,Rd} = \min (F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad \text{KAAVA 3}$$

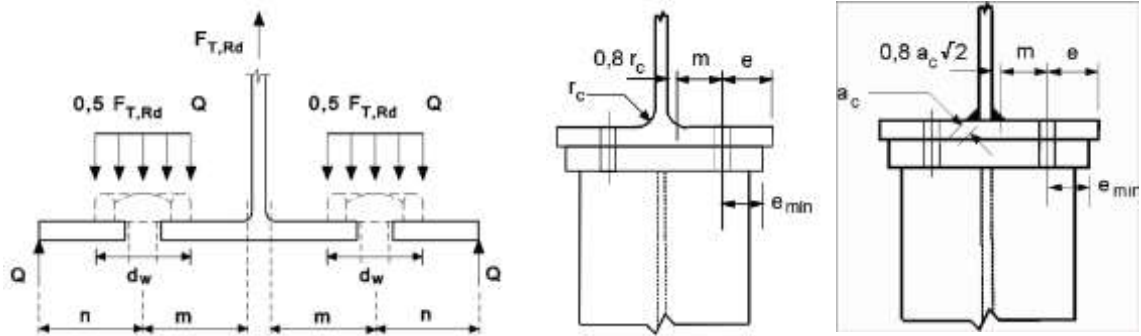
$F_{T,1-2,Rd}$ ja $F_{T,3,Rd}$ vastaavat T-osan kestävyttä, jossa vipuvoimia ei synny ja murtumismallin 3 kestävyttä

Kun suunnitellaan liitokset käyttäen laskelmissa Erokoodin SFS-EN 1993-1-8 mukaista ekvivalenttia T-osaa, vipuvoimien vaikutusta ei käytännössä oteta huomioon erikseen. Silti mitoituksessa kuitenkin voidaan tarkistaa, esiintyykö vipuvoimia vai ei. Vipuvoimia saattaa syntyä, jos kuvassa 5 vasemmalla olevan mukaisen T-osan laippa on kaavan 4 mukaan arvoa laskettua ohuempi. (2, s. 324.)

$$t_f \leq \sqrt{\frac{8,8 \text{ m}^3 A_s n_b}{L_b \sum l_{eff}}} \quad \text{kun } n \leq 1,25m \quad \text{KAAVA 4}$$

$$\sum l_{eff} = \min (2(e + 2m + 0,625n); l) \quad \text{kun } n \leq 1,25m \quad \text{KAAVA 5}$$

A_s	sivulla 13 esitetyn taulukon 3 mukainen ruuvin jännityspinta-ala
n_b	ruuvirivien lukumäärä, kun yhdessä ruuvirivissä on 2 ruuvia
L_b	ruuvin venymäpituus, jonka arvoksi valitaan ruuvin puristeväli
l	T-osan pituus
m ja n	ruuvin etäisyydet, jotka esitetään kuvassa 5 sekä käytetään taulukon 7 mukaisissa kaavoissa
e_{min}	vapaaseen reunaan pienin reunaetäisyys joko pilarin laipassa tai päätylevyssä, joka esitetään sivun 17 kuvassa 4. (2, s. 324.)



KUVA 5. Vipuvoimat vedetyissä kiinnityksissä sekä merkintöjen määritelmät (5, s. 74, 84)

TAULUKKO 7. Laipan T-osan kestävyysmitoitussarvo $F_{T,Rd}$ (5, s. 74)

	Vipuvoimia voi syntyä, jos $L_b \leq L_b^*$		Vipuvoimia ei synny
Murtumismalli 1	Menetelmä 1	Menetelmä 2 (vaihtoehtoinen menetelmä)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Taustalevyjä ei käytetä	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
Käytetään taustalevyjä	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
Murtumismalli 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$		
Murtumismalli 3	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$		

L_b ruuvin venymän pituus, jonka arvona voidaan käyttää liitospaksuuden sekä ruuvin kannan ja mutterin summan puolikkaan yhteenlaskettua paksuutta tai vaihtoehtoisesti standardin SFS-EN 1993-1-8 taulukossa 6.2 esitetyllä kaavalla saatavaa arvoa (5, s. 74).

$$L_b^* = 8,8m^3 A_s / \Sigma l_{eff} t_f^3$$

KAAVA 6

$$n = e_{min}, \text{ mutta } n \leq 1,25m$$

$$e_w = d_w / 4$$

d_w aluslaatan halkaisija tai ruuvin kannan tai mutterin avainväli tarkasteltavasta tapauksesta riippuen. (5, s. 74.)

3.2 Liitoksen momenttikestävyys

Päätylevyliitoksen mitoituksessa standardin SFS EN 1993-1-8 mukaan taivutusmomenttikestävyys sekä kiertymisjäykkyys pohjautuvat liitoksen sisäisten voimien jakautumiseen sekä peruskomponenttien kestävyysmitoitustarvoihin. Liitoksen taivutuskestävyyden mitoituksessa otetaan huomioon vedettyjen ruuvirivien ja ruuviryhmien sekä puristuspuolen kestävydet. Puristuspuolen kestävydet sekä ruuviryhmien vaikutukset ja ruuvien murtumismuoto määritetään mitoituksessa käyttäen vedettyjä ekvivalenttia T-osaa. (5, s. 71-75.)

Tapauksissa, jossa liitettävien sauvojen aksiaalinen voima N_{Ed} on enintään 5 % vastaavan sauvan poikkileikkauksen aksiaalisen kestävyden mitoitusarvosta $N_{pl,Rd}$, vaikuttavan momentin mitoitusarvon $M_{j,Ed}$ tulee täyttää kaavan 7 mukainen ehto (5, s. 92).

$$M_{j,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad \text{KAAVA 7}$$

Tällöin palkki-pilariliitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ voidaan ratkaista kaavan 8 mukaan (5, s. 95).

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd} \quad \text{KAAVA 8}$$

$F_{tr,Rd}$ ruuvirivin r tehollisen vetokestävyden mitoitusarvo

h_r ruuvirivin r ja puristuskeskiön välinen etäisyys

r ruuvirivin numero

Mikäli liitettävien sauvojen aksiaalinen voima N_{Ed} ylittää annetun 5 %:n raja-arvon, voidaan käyttää seuraavaa, kaavan 9 mukaan laskettua varmallalla puolella olevaa ehtoa:

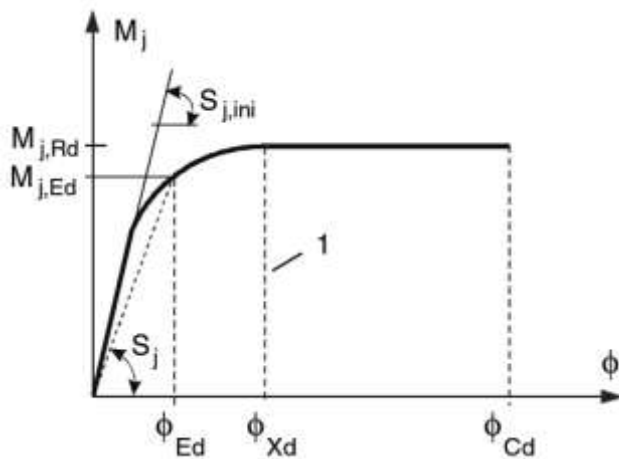
$$M_{j,Ed} / M_{j,Rd} + N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad \text{KAAVA 9}$$

$M_{j,Rd}$ liitoksen taivutuksenkestävyyden mitoitusarvo, kun normaali-voimaa ei huomioida

$N_{j,Rd}$ liitoksen normaalivoiman kestävyden mitoitusarvo, kun taivutus-ta ei huomioida. (5, s. 92.)

3.3 Liitosten kiertymiskyky ja kiertymisjäykkyyden menetelmä

Kun käytetään plastisuusteorian mukaista kokonaistarkastelua, liitokset mitoitettaessa luokitellaan lujuuden perusteella sekä varmistetaan liitosten sitkeää murtumismuotoa. Oletuksena on, että liitoksella on riittävä kiertymiskyky, mikäli liitoksen murtumismuoto on sitkeä. Sen sijaan hauraalla murtumismuodolla liitokset saattavat menettää kapasiteettinsa ennen kuin plastinen nivel pääsee syntymään liittyviin rakenneosiin. Kuvassa 6 esitetään momentti-kiertymäyhteyden mitoitusarvokuvaaja, joka saadaan käyttäen standardin mukaista komponenttimenetelmää liitoksen peruskomponenttien mitoituksessa. (2, s.306; 5, s. 65-66.)



KUVA 6. Momentti-kiertymäyhteyden mitoitusarvo (5, s. 66)

Kuvaajassa 1:llä merkitään raja-arvoa alueella, jolloin kiertymisjäykkyyden S_j määritelmää sovelletaan momentti-kiertymäyhteyden mitoitusarvossa siihen kiertymään ϕ_{Xd} asti, jolloin $M_{j,Ed}$ saavuttaa arvon $M_{j,Rd}$. Kun taivutusmomentti ylittää raja-arvon ϕ_{Xd} , teräs menettää sitkeyden kykynsä ja muuttuu hauraaksi. Haurailla liitoksilla ei ole juurikaan muodonmuutoskykyä liitoksen kestävyuden saavuttamisen jälkeen. Siinä tapauksessa liitoksen hauraiksi luokitellut osat pyritään mitoittamaan jonkin verran ylilujiksi niin, että liitoksen taivutuskestävyys $M_{j,Rd}$ määräytyy liitoksen sitkeiksi luokiteltujen osien perusteella. (5, s. 65; 2, s. 306.)

Liitoksen kiertymiskyky määräytyy sen peruskomponenteista eli niistä peruskomponenteista, jotka voidaan luokitella muodonmuutoskykynsä perusteella sitkeisiin tai hauraisiin liitososiin. Päätylevyliitoksia mitoitettaessa käsitellään seuraavassa esitetyt sitkeät peruskomponentit ja jäykkyystekijät (5, s. 65, 102):

- kun pilarin uumaa kuormitetaan leikkauksella, k_1
- kun pilarin uumaa kuormitetaan poikittaisella puristuksella, k_2
- kun pilarin uumaa kuormitetaan poikittaisella vedolla, k_3
- kun pilarin laippaa kuormitetaan poikittaisella taivutuksella, k_4
- kun palkin päätylevyä kuormitetaan taivutuksella, k_5
- kun palkin laippaa ja uumaa kuormitetaan puristuksella, k_7
- kun palkin uumaa kuormitetaan vedolla (5, s. 102-105), k_8 .

Hauraat peruskomponentit ja jäykkyystekijät ovat:

- kun ruuveja kuormitetaan vedolla, k_{10}
- hitsit, k_{19} (5, s. 102-105).

Tässä liitosten tarkastelussa normaalivoiman vaikutus jätetään kokonaan huomiotta. Sen sijaan tarkastellaan pääsääntöisesti leikkausvoiman ja momentin kuormittavia liitoksia. Koska standardissa SFS EN 1993-1-8 esitetyn komponenttimenetelmän käytettäessä päätylevyliitosten mitoituksen osalta edellytetään, että luvun 3.2 ehdon (kaava 7) on oltava voimassa ja vain siinä tapauksessa liitoksen kiertymisjäykkyys S_j voidaan laskea kaavan 10 mukaan. (5, s.100.)

$$S_j = \frac{E z^2}{\mu \sum \frac{1}{k_i}} \quad \text{KAAVA 10}$$

k_i liitoksen peruskomponentin i jäykkyystekijä

z momenttivarso

μ jäykkyyssuhde $S_{j,ini} / S_j$

Jäykkyyssuhde μ lasketaan kaavoista 11 ja 12 (5, s.100).

$$\mu = 1 \quad \text{kun} \quad M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd} \quad \text{KAAVA 11}$$

$$\mu = (1,5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\psi \quad \text{kun} \quad 2/3 M_{j,Rd} \leq M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd} \quad \text{KAAVA 12}$$

$\psi = 2,7$ liitoksissa, jossa päätylevy kiinnitetään ruuveilla

Käytettäessä jäykkä-plastiseen materiaalmalliin perustuvaa plastisuusteorian mukaista kokonaistarkastelua plastisessa nivelessä sijaitsevalla liitoksella tulee olla riittävä kiertymiskyky. Kiertymiskyvyn saa jättää tarkastamatta vain, jos

kaavan 13 mukaisesti liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ on vähintään 1,2 kertaa liitettävän sauvan poikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisen taivutuskestävyyden mitoitusarvon $M_{pl,Rd}$ suuruinen. Plastinen nivel syntyy tällöin liittyvään sauvaan liitoksen viereen. (5, s.108.)

$$M_{j,Rd} \geq 1,2 M_{pl,Rd} \quad \text{KAAVA 13}$$

Ruuviliitoksena toteutetulla palkki-pilariliitosella, jossa pilarin uuman leikkauskestävyyden mitoitusarvo määrää liitoksen taivutuskestävyyden $M_{j,Rd}$ mitoitusarvon, voidaan olettaa olevan riittävä kiertymiskyky. Siinä tapauksessa plastisuusteorian mukaista kokonaistarkastelua käytettäessä edellytetään, että kaavan 14 mukainen ehto toteutetaan. (5, s.109).

$$b_{wc} / t_{wc} \leq 69\varepsilon \quad \text{KAAVA 14}$$

b_{wc} pilarin kaulahitsien väliin jäävä uuman korkeus

t_{wc} pilarin uuman paksuus (5, s.109).

Ruuviliitoksena toteutetulla palkki-pilariliitosella voidaan olettaa olevan riittävä kiertymiskyky plastisuusteorian mukaista kokonaistarkastelua käytettäessä edellyttäen, että molemmat seuraavista ehdoista ovat voimassa:

Ensimmäiseksi liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ määrää joko pilarin laipan tai palkin päätylevyn taivutuksen kaavan 15 mukaisesti. (5, s.109.)

$$M_{j,Rd} \geq M_{pl,fc,Rd} \text{ tai } M_{j,Rd} \geq M_{pl,p,Rd} \quad \text{KAAVA 15}$$

Toiseksi joko pilarin laipan tai palkin päätylevyn paksuus t täyttää kaavan 16 ehdon (5, s.109).

$$t \leq 0,36d \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad \text{KAAVA 16}$$

d ruuvin varren halkaisija

f_{ub} ruuvin murtolujuus

f_y kyseeseen tulevan peruskomponentin myötöraja. (5, s.109.)

Ruuviliitoksella, jossa liitoksen ruuvien leikkaus määrää liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvon $M_{i,Rd}$, ei oleteta olevan riittävää kiertymiskykyä plastisuusteorian mukaista kokonaistarkastelua käytettäessä. Tässä mitoituksessa ei muuten tarkemmin liitosten kiertymiskykyä käsitellä. (5, s.109.)

Päätylevyliitoksille, joilla on vähintään kaksi vedettyä ruuviriviä, käytetään seuraavaa ja yleistä menetelmää liitoksen jäykkyyden määrittämiseksi. Kaikki näihin ruuviriveihin liittyvät peruskomponentit kuvataan yhdellä ekvivalentilla jäykkyystekijällä k_{eq} , joka lasketaan kaavasta 17. (5, s.101, s.105-106.)

$$1) \quad k_{eq} = \sum k_{eff,r} h_r / z_{eq} \quad \text{KAAVA 17}$$

h_r ruuvirivin r ja puristuskeskiön välinen etäisyys

z_{eq} ekvivalentti momenttivarsi kohdassa (3) kaavan 19 mukainen

$k_{eff,r}$ ruuvirivin r tehollinen jäykkyystekijä ottaen huomioon kohdassa (4) esitetyt kyseeseen tulevat peruskomponenttien jäykkyystekijät k_i

2) Ruuvirivin r tehollinen jäykkyystekijä $k_{eff,r}$ lasketaan kaavasta 18 (5, s.106).

$$k_{eff,r} = 1 / \sum_i \frac{1}{k_{i,r}} \quad \text{KAAVA 18}$$

$k_{i,r}$ komponenttia i suhteessa ruuviriviin r kuvaava jäykkyystekijä

$$3) \quad z_{eq} = \left(\sum_i \frac{1}{k_{i,r}} h_r^2 \right) / \left(\sum_i \frac{1}{k_{i,r}} h_r \right) \quad \text{KAAVA 19}$$

4) Päätylevykiinnitystä käytettäessä palkki-pilariliitoksessa määritetään k_{eq} :lla laskettuna yhteen jäykkyystekijöiden k_i kaavojen 20 – 23 mukaisissa tapauksissa:

➤ vedetty pilarin uuma $k_3 = 0,7 b_{eff,t,wc} t_{wc} / d_c$ KAAVA 20

➤ pilarin laipan taivutus $k_4 = 0,9 I_{eff} t_{fc}^3 / m^3$ KAAVA 21

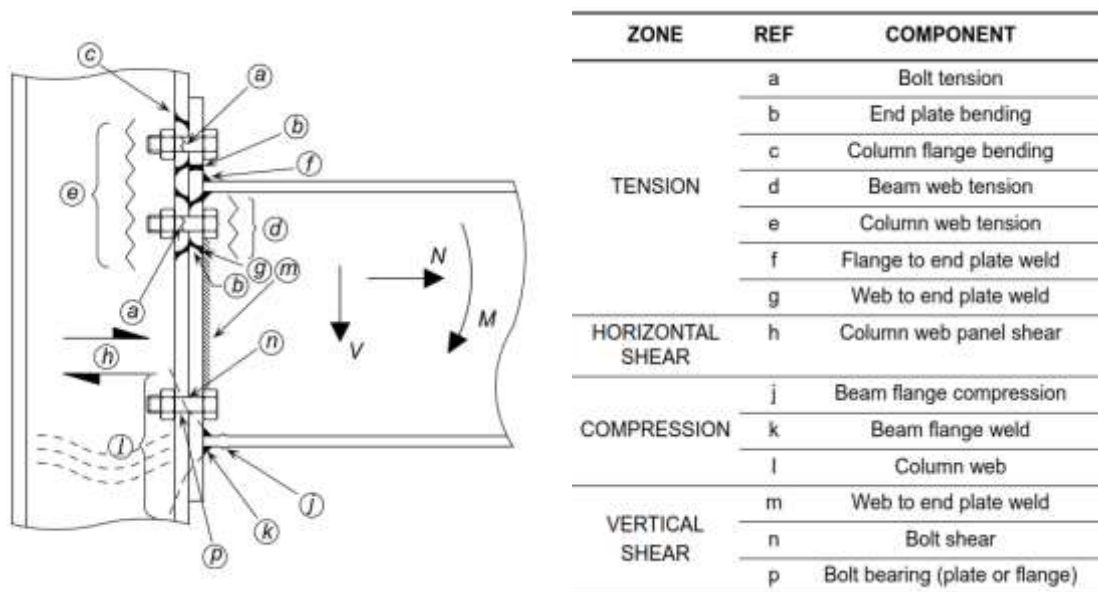
➤ päätylevyn taivutus $k_5 = 0,9 I_{eff} t_p^3 / m^3$ KAAVA 22

➤ vedetyt ruuvit $k_{10} = 1,6 A_s / L_b$ KAAVA 23

(5, s.102-105).

3.4 Peruskomponenttien laskenta

Ruuveilla kiinnitetyn päätylevyllisen palkki-pilariliitoksen momentti-kiertymäyhteyden mitoitusarvo riippuu liitoksen peruskomponenteista sekä niiden rakenteellisista ja materiaalien ominaisuuksista. Tiettyjä liitoskomponentteja voidaan vahvistaa erilaisten rakenteellisin keinoin. Luvuissa 3.4.1–3.4.10 tarkastellaan kyseisten komponenttien kestävyysmitoitusta sekä liitoskomponenttien mitoituksen yhteydessä esitetään osa niiden vahvistusmenetelmistä. Kuvassa 7 esitetään esimerkki palkki-pilari päätylevyliitoksesta sekä päätylevyliitoksen laskennassa käytetyt peruskomponentit. (5, s. 66-67; 8, s. 6.)



KUVA 7. Palkki-pilariliitos päätylevyllinen ja liitoksen peruskomponentit (8, s. 6)

3.4.1 Pilarin laipan poikittainen taivutus

Kestävyysmitoitussarvo ja murtumismuoto jäykistämättömän pilarin laipan poikittaisessa taivutuksessa sekä vedetyt ruuvit valitaan yhtä suureksi kuin ekvivalentin T-osan laipan kestävyysmitoitussarvo ja murtumismuoto. Pilarin laipan taivutustarkastelu suoritetaan tarkastellen jokainen vetoa siirtävä sekä yksittäinen ruuvirivi että ruuvirivien ryhmä. Ekvivalentin T-osan laipan mitat valitaan sivulla 20 esitetyn kuvan 5 mukaan. Kestävyysmitoitussarvo $F_{T,Rd}$ lasketaan sivulla 20 esite-

tyn taulukon 7 mukaan, huomioon ottaen liitoksen kolmea mahdollista murtumismuotoa. Tehollinen pituus määritetään taulukosta 8 ruuvirivien arvojen mukaan. (5, s. 83-84; s. 74.)

TAULUKKO 8. Jäykistämättömien pilarin laippojen teholliset leveydet (5, s. 84)

Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$
Sisempi ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Reunimmainen ruuvirivi	Pienempi arvoista: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Pienempi arvoista: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Pienempi arvoista: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Pienempi arvoista: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Murtumismalli 1:	$\ell_{\text{eff,1}} = \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\ell_{\text{eff,1}} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff,1}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\sum \ell_{\text{eff,1}} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Murtumismalli 2:	$\ell_{\text{eff,2}} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff,2}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	

Pilarin laipan kestävyysmitoitussarvoa poikittaisessa taivutuksessa voidaan kasvata käyttämällä poikittaisia jäykisteitä tai tarkoituksenmukaisia diagonaalijäykisteitä. Kestävyysmitoitussarvo, murtumismuoto ja vedetyt ruuvit jäykistetyssä pilarin laipan lasketaan samalla periaatteella kuin jäykistämättömän pilarin laipan käyttäen taulukon 9 arvoja. (5, s. 85.)

TAULUKKO 9. Pilarin jäykistettyjen laippojen teholliset leveydet (5, s. 86)

Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$
Jäykisteen viereinen ruuvirivi	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Muu sisempi ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Muu reunan ruuvirivi	Pienempi arvoista: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Pienempi arvoista: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Pienempi arvoista: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Pienempi arvoista: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Jäykisteen viereinen reunimmainen ruuvirivi	Pienempi arvoista: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	Ei relevantti	Ei relevantti
Murtumismalli 1:	$\ell_{\text{eff,1}} = \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\ell_{\text{eff,1}} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff,1}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\sum \ell_{\text{eff,1}} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Murtumismalli 2:	$\ell_{\text{eff,2}} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff,2}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	

α määritetään kuvasta 8, joka esitetään sivulla 29

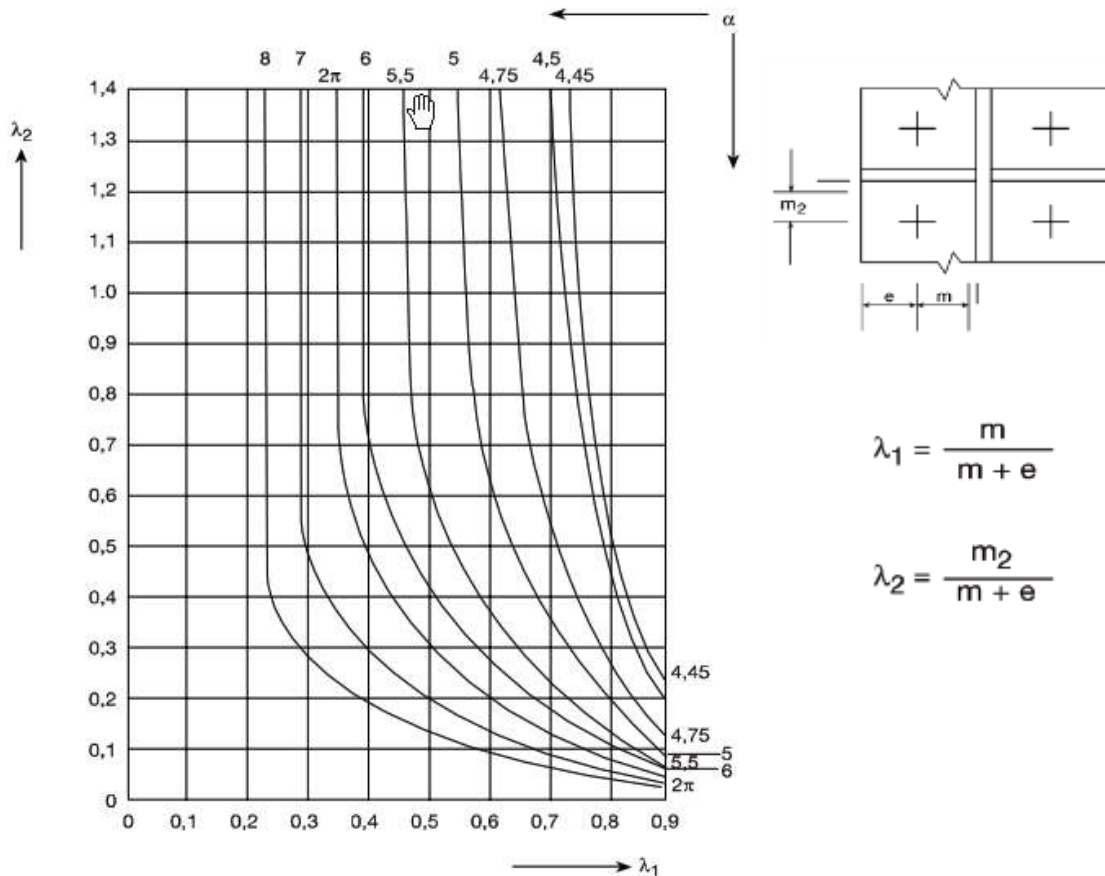
3.4.2 Päätylevyn taivutus

Päätylevyn tarkastelua suoritetaan samalla periaatteella kuin luvussa 3.4.1 pilarin laipan tarkastelu poikittaisessa taivutuksessa ekvivalentin T-osien avulla. Käytettävän levyn kestävyysmitoitusarvo ja murtumismuoto taivutuksessa sekä vedetyt ruuvit valitaan yhtä suureksi kuin T-osan laipan kestävyysmitoitusarvo ja murtumismuoto. Päätylevylle taivutustarkastelua suoritetaan tarkastellen jokainen vetoa siirtävä sekä yksittäinen ruuvirivi että ruuvirivien ryhmä. Jäykisteen eri puolilla olevat ruuvirivien ryhmät, joilla päätylevy kiinnitetään, sekä päätylevyn ulokkeellinen osa ja palkin laippojen välinen osa käsitellään erillisinä ekvivalentteina T-osina. (5, s. 86.)

Ekvivalentin T-osan mitat valitaan sivulla 20 esitetyn kuvan 5 mukaan. Kestävyysmitoitusarvo $F_{T,Rd}$ lasketaan sivulla 20 esitetyn taulukon 7 mukaan huomioon ottaen liitoksen kolmea mahdollista murtumismuotoa määräävimmän tapauksen löytämiseksi. Levyn teholliset leveydet lasketaan käyttäen jokaiselle ruuviriville taulukon 10 mukaisia arvoja. Lisäksi taulukon 10 α :n arvot saadaan kuvasta 8. (6, s. 86-88.)

TAULUKKO 10. Päätylevyn teholliset leveydet (5, s. 87)

Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,nc}$	Pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,nc}$
Palkin vedetyn laipan ulkopuolella oleva ruuvirivi	Pienin arvoista: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Pienin arvoista: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
Palkin vedetyn laipan alapuolella oleva ensimmäinen ruuvirivi	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Muu sisempi ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Muu reunan ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Murtumismalli 1:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ mutta $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ mutta $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
Murtumismalli 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	



KUVA 8. α :n arvot pilarien jäykistetyille laipoille ja päätylevyille (5, s. 88)

3.4.3 Pilarin uuman leikkaus

Pilarin uumaan kohdistuva resultoiva leikkausvoima $V_{wp,Ed}$ saadaan laskettua kaavan 24 mukaan (5, s. 61).

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed})/Z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed})/2 \quad \text{KAAVA 24}$$

Pilarin uuman leikkauskestävyyden tarkastelun yhteydessä tarkistetaan, että pilarin uuman hoikkuus täyttää kaavan 25 ehdon (5, s. 77).

$$d / t_w \leq 69 \varepsilon \quad \text{KAAVA 25}$$

Jäykistämättömän pilarin uuman plastisuusteorian mukainen leikkauskestävyyden mitoitusarvo $V_{wp,Rd}$ saadaan laskettua kaavan 26 mukaan (5, s. 77).

$$V_{wp,Rd} = (0,9 f_{y,wc} A_{vc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) \quad \text{KAAVA 26}$$

$f_{y,wc}$ pilarin uuman myötöraja

A_{vc} pilarin uuman leikkauspinta-ala

γ_{MO} kansallisen liitteen mukainen osavarmuusluku 1,00

Pilarin uuman poikkileikkauksen pinta-ala lasketaan kaavasta 27 (7, s. 54).

$$A_{vc} = A - 2bt_f + (t_w + 2r) t_f \quad \text{KAAVA 27}$$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvoa voidaan kasvattaa käyttämällä jäykisteitä tai lisälevyjä uumassa. Tällöin leikkauskestävyyden mitoitusarvo saadaan laskettua kaavan 28 mukaan (5, s. 77-78).

$$V_{wp,add,Rd} = 4 M_{pl,fc,Rd} / d_s \quad \text{KAAVA 28}$$

Liitosten mitoituksessa leikkauskestävyyden mitoitusarvoa ei saa ylittää kaavan 29 mukaista ehtoa (5, s. 77-78).

$$V_{wp,add,Rd} \leq (2 M_{pl,fc,Rd} + 2 M_{pl,st,Rd}) / d_s \quad \text{KAAVA 29}$$

d_s jäykisteiden keskilinjojen välinen etäisyys

$M_{pl,fc,Rd}$ pilarin laipan taivutuskestävyyden mitoitusarvo

$M_{pl,st,Rd}$ jäykisteen taivutuskestävyyden mitoitusarvo (5, s. 78).

Uuman lisälevyä voidaan käyttää liitoksen kiertymisjäykkyyden kasvattamiseen lisäämällä pilarin uuman jäykkyyttä leikkauksen, puristuksen tai vedon suhteen. Leikkauksen jäykkyys saadaan määritettyä kaavan 30 mukaan (5, s. 78, s. 103).

$$k_1 = 0,38 A_{vc} / \beta z \quad \text{KAAVA 30}$$

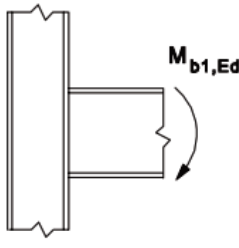
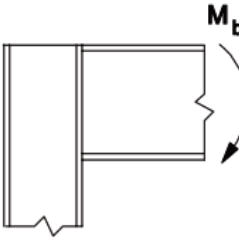
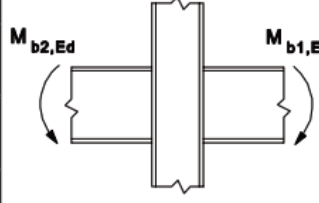
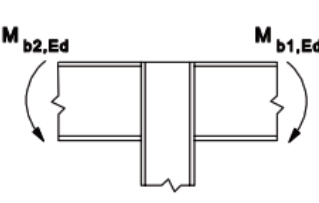
k_1 standardin SFS-EN 1993-1-8 mukainen jäykkyystekijä

A_{vc} pilarin poikkileikkauksen pinta-ala

β muunnosparametri taulukon 11 mukaan

z liitoksen sisäinen momenttivarsi

TAULUKKO 11. Muunnosparametrin β likimääräiset arvot (5, s. 64)

Liitostyyppi	Vaikutus	β :n arvo
 	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
 	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ *)
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$
*) Tässä tapauksessa β :n arvo on lähempänä tarkkaa arvoa kuin likiarvo.		

3.4.4 Pilarin uuman poikittainen puristus

Tapauksessa, jossa pilari on jäykistämätön, pilarin uuman kestävyysmitoitusarvo poikittaiselle puristukselle saadaan laskettua kaavan 31 mukaan (5, s. 79).

$$F_{C,wc,Rd} = \min \left(\frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}; \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \right) \quad \text{KAAVA 31}$$

ω pienennystekijä, joka ottaa huomioon pilariin uumaan kohdistuvan leikkauksen mahdolliset yhteisvaikutukset taulukon 12 mukaan

k_{wc} aksiaalisesta voimasta ja taivutusmomentista aiheutuva pilarin uumassa jännityksen huomioon ottava pienennystekijä

$$k_{wc} = 1 \quad \text{kun } \sigma_{com,Ed} \leq 0,7 f_{y,wc}$$

$$k_{wc} = 1,7 - \sigma_{com,Ed} / f_{y,wc} \quad \text{kun } \sigma_{com,Ed} > 0,7 f_{y,wc}$$

$\sigma_{com,Ed}$ pilarin pituussuuntainen uuman suurin aksiaalinen jännitys

$b_{eff,c,wc}$ pilarin puristetun uuman tehollinen leveys, joka lasketaan kaavan 32 tai kaavan 33 mukaan (5, s. 80.)

TAULUKKO 12. Pienennystekijä ω leikkauksen vaikutuksen huomioon ottamiseksi (5, s. 87)

Muunnosparametri β	Pienennystekijä ω
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{eff,c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{eff,c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$
A_{vc} on pilarin leikkauspinta-ala, ks. 6.2.61; β on muunnosparametri, ks. 5.3(7).	

Kun palkki-pilari päätylevyliitos on kiinnitetty ruuveilla, tehollinen leveys $b_{eff,c,wc}$ lasketaan kaavan 32 mukaan (5, s. 79).

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p \quad \text{KAAVA 32}$$

Kun liitos on hitsattu, $b_{eff,c,wc}$ lasketaan kaavan 33 mukaan (5, s. 79).

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s) \quad \text{KAAVA 33}$$

a_c, r_c, a_p parametrit, jotka esitetään kuvassa 9

t_{wc} pilarin uuman paksuus

$f_{y,wc}$ pilarin uuman myötöraja

ρ levyn lommahduksen huomioonottava pienennystekijä

$$\rho = 1,0 \quad \text{kun } \lambda_p^- \leq 0,72$$

$$\rho = (\lambda_p^- - 0,2) / \lambda_p^{-2} \quad \text{kun } \lambda_p^- > 0,72$$

λ_p^- levyn hoikkuus, joka lasketaan kaavan 34 mukaan

$$\lambda_p^- = 0,932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}} \quad \text{KAAVA 34}$$

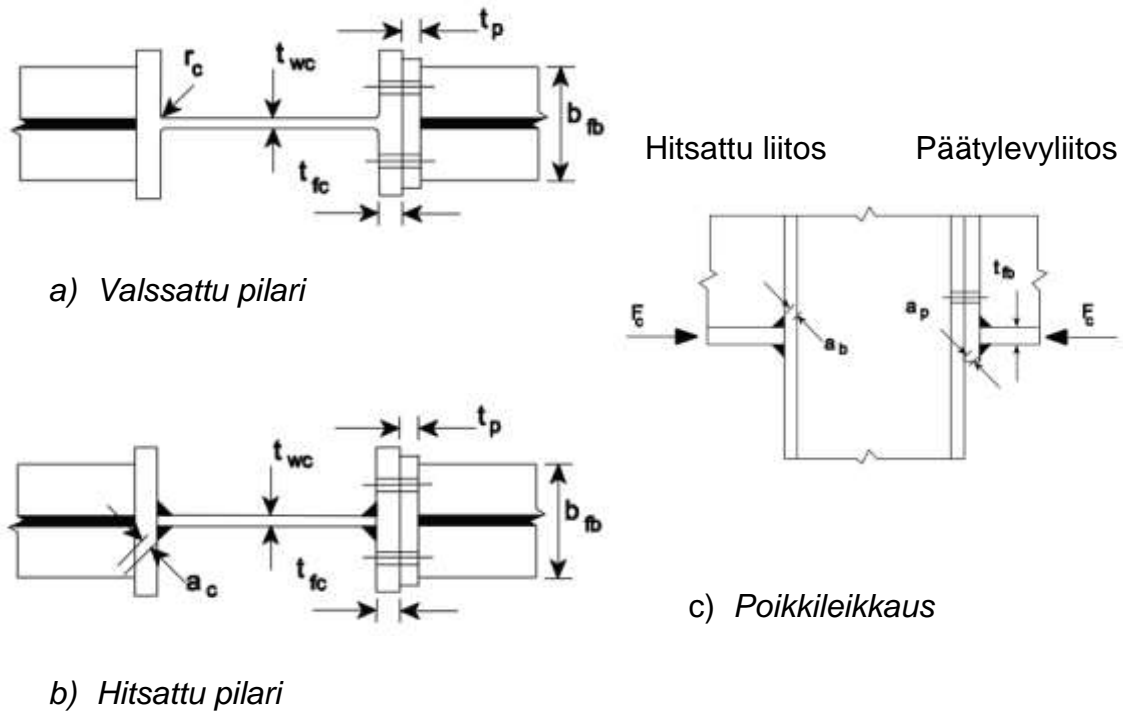
Puristuksen jäykkyys jäykistämätömän pilarin saadaan määritettyä kaavan 35 mukaan (5, s.81).

$$k_2 = 0,7 b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / d_c$$

KAAVA 35

k_2 standardin SFS-EN 1993-1-8 mukainen jäykkyystekijä

d_c pilarin uuman suoran osan korkeus (5, s. 103.)



KUVA 9. Jäykistämättömän pilarin poikittainen uuman suuntainen puristus sekä poikkileikkauksen ja liitettävien osien merkinnät (5, s. 81)

3.4.5 Pilarin uuman poikittainen veto

Kun pilarin uumaan kohdistuu poikittainen veto, jäykistämättömän uuman kestävyysmitoitussarvo lasketaan kaavan 36 mukaan (5, s. 82).

$$F_{t,wcRd} = (\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}) / \gamma_{M0}$$

KAAVA 36

ω pienennystekijä, joka ottaa huomioon pilariin uumaan kohdistuvan leikkauksen mahdolliset yhteisvaikutukset taulukon 12 mukaan

t_{wc} pilarin uuman paksuus

$f_{y,wc}$ pilarin uuman myötöraja

$b_{eff,t,wc}$ pilarin vedetyn uuman tehollinen leveys, joka valitaan ekvivalentin T-osan tehollista pituutta vastaavaksi käyttäen sivulla 27 olevassa taulukossa 8 esitettyjä parametreja (5, s. 82.)

3.4.6 Palkin laipan ja uuman puristus

Palkin laipan ja puristetun uuman osan yhdistetty puristuskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 37 mukaan (5, s. 89).

$$F_{c, f_{b,Rd}} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb}) \quad \text{KAAVA 37}$$

$M_{c,Rd}$ palkin poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, jota pienennetään tarvittaessa leikkauksen huomioon ottamiseksi

h liittyvän palkin korkeus

t_{fb} palkin laipan paksuus

3.4.7 Palkin uuman veto

Palkin uuman vetokestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 38 mukaan (5, s. 90).

$$F_{t, wb,Rd} = (b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb}) / \gamma_{MO} \quad \text{KAAVA 38}$$

$b_{eff,t,wb}$ palkin vedetyn uuman tehollinen leveys, joka valitaan ekvivalentin T-osan tehollista pituutta vastaavaksi, määritetään päätylevyn taivutuksen perusteella käyttäen sivulla 27 olevassa taulukossa 8 esitettyjä parametreja

t_{wb} palkin uuman paksuus

$f_{y,wb}$ palkin uuman myötöraja (5, s. 90.)

Jäykistämätömän pilarin vedon jäykkyys saadaan määritettyä kaavan 39 mukaan (5, s. 102-103).

$$k_3 = 0,7 b_{eff,t,wc} t_{wc} / d_c \quad \text{KAAVA 39}$$

k_3 standardin SFS-EN 1993-1-8 mukainen jäykkyystekijä

t_{wc}	pilarin uuman paksuus
d_c	pilarin uuman suoran osan korkeus

3.4.8 Ruuvikiinnitysten kestävyys

Ruuvien kapasiteetit määritetään standardin EN 1993-1-8 taulukon 3.4 mukaan veto-, leikkaus- ja reunapuristuskestävyydelle sekä ruuvien ja mutterien lävistämiskestävyydelle että yhdistetylle leikkaus- ja vetovoiman kestäväydelle (5, s. 28).

Leikkausvoiman kuormittamisissa kiinnityksissä ruuvit mitoitetaan siten, että kaavan 40 mukainen mitoitusehto tulee olla voimassa (5, s. 23).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} \quad \text{KAAVA 40}$$

Kiinnitysryhmän kestävyys määritetään kertomalla ruuvien lukumäärä kiinnitysryhmän pienimmällä yksittäisen ruuvien kestävyysmitoitustasolla kaavan 41 mukaan (2, s. 326).

$$F_{v,Rd} = \min (F_{v,Rd} ; F_{b,Rd}) \quad \text{KAAVA 41}$$

$F_{v,Rd}$ ruuvien leikkauskestävyys leikeitä kohti

$F_{b,Rd}$ ruuvien reunapuristuskestävyys

Ruuvien leikkauskestävyys leikettä kohti saadaan kaavan 42 mukaan (2, s. 326).

$$F_{v,Rd} = \alpha_v f_{ub} A / \gamma_{M2} \quad \text{KAAVA 42}$$

$\alpha_v = 0,6$ arvo, joka käytetään lujuusluokan 4.6, 5.6, ja 8.8 ruuveille

$\alpha_v = 0,5$ arvo, joka käytetään lujuusluokan 4.8, 5.8, 6.8 ja 10.9 ruuveille

f_{ub} ruuvien murtolujuus, jonka arvo käytetään sivun 13 taulukosta 2

A ruuvien kierteettömän osan pinta-ala. Jos ruuviin kierteet ovat leikkausosassa, käytetään jännityspinta-alan A_s arvoa

γ_{M2} kansallisen liitteen mukainen osavarmuusluku 1,25

Ruuvien reunapuristuskestävyys lasketaan kaavan 43 mukaan (2, s. 329).

$$F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} \quad \text{KAAVA 43}$$

- f_u tarkasteltavan osan nimellinen murtolujuus
- d ruuvien nimellishalkaisija
- t tarkasteltavan osan paksuus
- α_b tekijä siirrettävän voiman suunnassa, joka on
- $\min (1,0 ; f_{ub} / f_u ; e_1 / 3d_0)$ levyn pään ruuveille tai
 - $\min (1,0 ; f_{ub} / f_u ; (p_1 / 3d_0) - 0,25)$ sisemmille ruuveille (2, s. 329).
- k_1 tekijä kohtisuorassa suunnassa voiman vastaan, joka on
- $\min (2,5 ; (2,8 e_2 / d_0 - 1,7) ; (1,4 p_2 / d_0 - 1,7))$ reunarivin ruuveille
 - $\min (2,5 ; (1,4 p_2 / d_0 - 1,7))$ sisemmille ruuveille (2, s. 329).

Kun ruuvikiinnitykseen kohdistuu ruuvien varren suuntainen vetovoima, kestävyys tulee täyttää kaavojen 44 ja 45 mitoitus ehdot (5, s. 23).

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} \quad \text{KAAVA 44}$$

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd} \quad \text{KAAVA 45}$$

Vetokestävyys mitoitusarvo lasketaan kaavan 46 mukaan (2, s. 335).

$$F_{t,Rd} = k_2 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad \text{KAAVA 46}$$

$k_2 = 0,63$ arvo, jota käytetään uppokantaisille ruuveille

$k_2 = 0,90$ arvo, jota käytetään muille ruuveille

f_{ub} ruuvien vetomurtolujuus

A_s ruuvien jännityspinta-ala

Ruuvien ja mutterien lävistymiskestävyys saadaan kaavasta 47 (2, s. 335).

$$B_{p,Rd} = 0,6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2} \quad \text{KAAVA 47}$$

d_m lävistymishalkaisija

t_p ruuvien kannan tai mutterin alla olevan levyn paksuus

f_u levyateriaalin nimellinen murtolujuus

Vedon ja leikkauksen yhteisvaikutus tarkastellaan kaavan 48 mukaan (2, s. 338).

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1,4 F_{t,Rd} \leq 1,0$$

KAAVA 48

$F_{v,Ed}$ ruuviin kohdistuva leikkausvoima leikettä kohti murtorajatilassa

$F_{v,Rd}$ ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo leikettä kohti

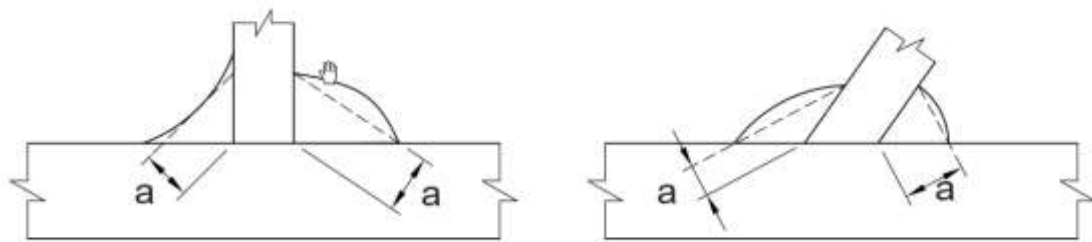
$F_{t,Ed}$ ruuviin kohdistuvan ruuvien varren suuntainen voima murtorajatilassa

$F_{t,Rd}$ ruuvien vetokestävyyden mitoitusarvo

3.4.9 Hitsien mitoitus

Leikkausvoiman kuormittamissa ruuveilla kiinnitetyissä päätylevyliitoksissa palkin uuman hitsit mitoitetaan liitokseen vaikuttavalle leikkausvoimalle ottamatta huomioon palkin laipan hitsejä. Taivutusmomentin kuormittamissa päätylevyliitoksissa hitsit mitoitetaan siten, että liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ määräytyy aina muiden liitoksen peruskomponenttien kuin hitsien perusteella. Lisäksi palkki-pilariliitoksissa, joihin syntyy kiertyvä plastinen nivel, mitoitetaan vähintään plastisuusteorian mukaisen taivutuskestävyyden mitoitusarvon $M_{pl,Rd}$ perusteella. Muissa tapauksissa, joissa vaaditaan mahdollisen venymisen takia muodonmuutoskykyä, hitseiltä vaaditaan riittävää lujuutta, jotta ne eivät murru ennen viereisen perusaineen yleistä myötäämistä. (2, s. 343.)

Liitospintojen muodostaman kulman ollessa 60-120° voidaan osien kiinnitykseen käyttää pienahitsejä. Myös pienemmät kulmat kuin 60° sallitaan. Tällöin hitsiä tarkastellaan osittain läpihitsattuna päittäishitsinä. Pienahitsin efektiivinen a-mitta on hitsin poikkileikkauksen suurimman kolmion korkeus, joka voi olla joko tasakylkinen tai erikylkinen kuvan 10 esitetyllä tavalla. Yleensä pyritään käyttämään tasakylkisiä pienahitsejä. Voimia siirtävän pienahitsin a-mitaksi valitaan vähintään 3mm, lisäksi pienahitsin tehollisen pituuden l_{eff} tulee olla vähintään 30 mm tai vähintään 6 kertaa a-mitta. Pienahitsin kestävyys lasketaan käyttäen joko komponenttimenetelmää tai yksinkertaistettu menetelmää (2, s. 343-345.)



KUVA 10. Pienahitsin efektiivinen a -mitta (2, s. 344)

Komponenttimenetelmässä hitsin voimat jaetaan eri osatekijöihin. Hitsin yksikkö-pituuden välittämät voimat jaetaan hitsin laskentapinnan kanssa yhdensuuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuorassa oleviin osatekijöihin sekä hitsin pituussuuntaisen akselin kanssa yhdensuuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuorassa oleviin osatekijöihin. Kaavalla 49 voidaan laskea hitsin pinta-alan mitoitusarvo, jonka voidaan olettaa sijaitsevan hitsin juuressa. (5, s. 45-46).

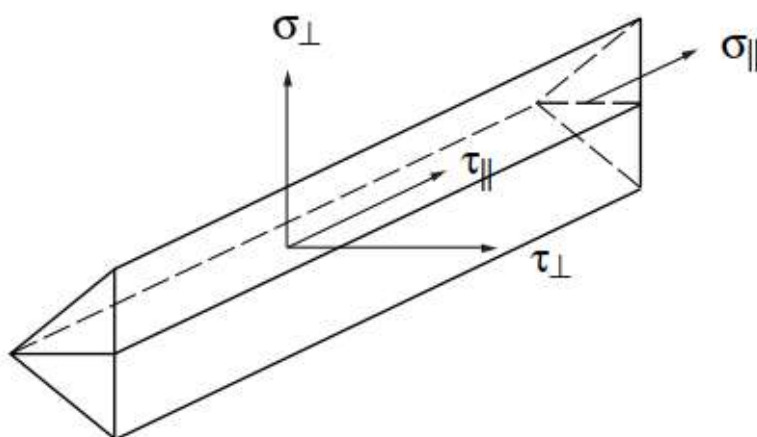
$$A_w = \sum a \cdot l_{eff}$$

KAAVA 49

a pienahitsin efektiivinen a -mitta

l_{eff} pienahitsin tehollinen pituus

Jännitysten oletetaan jakaantuvien hitsin laskentapinnalla tasaisesti, minkä seurauksena normaalijännityksiä ja leikkausjännityksiä saadaan kuvan 11 mukaisesti (5, s. 46).



KUVA 11. Pienahitsin laskentapinnan jännitykset (5, s. 46)

σ_{\perp}	laskentapinnan suhteen kohtisuora normaalijännitys
σ_{\parallel}	hitsin akselin kanssa yhdensuuntainen normaalijännitys
τ_{\perp}	leikkausjännitys, joka on laskentapinnan tasossa olevan hitsin akselia vastaan kohtisuorassa
τ_{\parallel}	hitsin akselin kanssa yhdensuuntainen leikkausjännitys

Pienahitsin kestävyys on riittävä, mikäli molemmat kaavojen 50 ja 51 mukaisista ehdoista täyttyvät (5, s. 46).

$$(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{KAAVA 50}$$

$$\sigma_{\parallel} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad \text{KAAVA 51}$$

f_u heikomman liitettävän vetomurtolujuuden nimellisarvo

β_w korrelaatiokerroin, jonka arvoa valitaan taulukosta 13

TAULUKKO 13. Pienahitsien korrelaatiokerroin (5, s. 47)

Heikomman hitsattavan kappaleen teräslaji	Korrelaatiokerroin β_w
S235	0,8
S275	0,85
S355	0,9
S420	1,0
S460	1,0

Hitsattaessa keskenään eri lujuusluokkien teräksiä hitsien mitoituksessa käytetään aina alemman lujuusluokan teräksen arvoja. Mikäli levyt liitetään toisiinsa T-liitoksena ja liitettävään levyyn kohdistuu ainoastaan suoraa vetoa tai puristusta, perustuen kaavaan 50 kaksipuolisen symmetrisen pienahitsin kestävyys $F_{2w,Rd}$ voidaan laskea kaavan 52 mukaisesti (5, s. 46; 2, s. 350.)

$$F_{2w,Rd} = (\sqrt{2} / \beta_w) \cdot (f_u / \gamma_{M2}) \cdot ab \quad \text{KAAVA 52}$$

β_w	taulukon 13 mukainen kyseeseen tuleva korrelaatiokerroin
f_u	heikomman liitettävän vetomurtolujuuden nimellisarvo
γ_{M2}	kansallisen liitteen mukainen osavarmuusluku 1,25
a	pienahitsin a-mitta
b	hitsatun levyn leveys, joka on yhtä suuri kuin puolet hitsien yhteenliitetusta pituudesta. (2, s. 350.)

Komponenttimenetelmää käytettäessä perustuen kaavaan 52 tarvittava a-mitta voidaan määrittää olettaen, että liitettävään levyyn pituusyksikköä kohti kohdistuu vetävä voima, joka on plastisen vetokestävyyden suuruinen, eli $t \cdot f_y / \gamma_{M0}$. Näin voidaan laskea kaksipuoleisen symmetrisen tasalujan pienahitsin vaadittava a-mitta kaavan 53 mukaan. (2, s. 350.)

$$a \geq (\beta_w / \sqrt{2}) \cdot (\gamma_{M2} / \gamma_{M0}) \cdot (f_y / f_u) \cdot t \quad \text{KAAVA 53}$$

Pienahitsin kestävyys voidaan laskea käyttäen yksinkertaistettua menetelmää, jossa ottamatta huomioon voimaresultantin suunta oletetaan, että hitsin laskentapoikkipintaan kohdistuu vain leikkausta. Kyseisen menetelmän mukaan riittää, että tunnetaan hitsiin kohdistuvan voimaresultantin suuruus. Tällöin pienahitsin kestävyys oletetaan riittäväksi, jos hitsin jokaisessa pisteessä sen pituudella kyseinen resultanttivoima yksikköpituutta kohti täyttää kaavan 54 ehdot (2, s. 353.)

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad \text{KAAVA 54}$$

$F_{w,Ed}$ hitsin pituusyksikköä kohti vaikuttavan voiman arvo

$F_{w,Rd}$ hitsin pituusyksikköä kohti kestävyysmitoitussarvo (2, s. 353.)

Vastaavasti hitsin kestävyysmitoitussarvo lasketaan kaavasta 55 (2, s. 353).

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad \text{KAAVA 55}$$

$f_{vw,d}$ hitsin leikkauslujuuden mitoitussarvo (2, s. 353).

Hitsin leikkauslujuuden mitoitussarvo $f_{vw,d}$ voidaan laskea kaavasta 56 (2, s. 353).

$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{KAAVA 56}$$

Leikkausvoiman rasittamassa liitoksessa kantavaksi päätylevyn kiinnityshitsiksi oletetaan päätylevyn ja uuman välinen kaksipuoleinen pienahitsi. Hitsin a-mitalle arvo saadaan laskettua kaavan 57 mukaisesta ehdosta (2, s. 388).

$$a_w \geq V_{Ed} / (2 h_w f_{vw,d}) = (V_{Ed} / 2 h_w) \cdot (\beta_w \gamma_{M2}) / (f_u / \sqrt{3}) \quad \text{KAAVA 57}$$

3.5 Konsolilevyn ja päätylevyn mitoitus

Konsolilevyn paksuus on normaalisti 30-50 mm. Konsolilevyn leveydeksi valitaan yleensä sama kuin palkin päätylevyn leveys. Pystysuuntaiset hitsit valitaan kantaviksi, jotka perusteella määritetään konsolilevyn korkeus. Jotta palkin päätylevy pystyy tukeutumaan siihen esteettömästi, konsolilevyn yläpintaa toteutetaan taiseisena. Tästä johtuen valitaan hitseiksi tasapintaista puoli-V hitsiä, jonka a-mitta on vähintään 4 mm. Hitsiä ei tarvitse hitsata tasapintaiseksi, mikäli konsolin viiste on vähintään 2 mm suurempi kuin a-mitta. (2, s. 389.)

Konsolin korkeudelle saadaan kaavan 58 mukainen ehto (2, s. 389).

$$h_k \geq V_{Ed} / (2 a f_{vw,d}) = (V_{Ed} / 2 a) \cdot (\beta_w \gamma_{M2}) / (f_u / \sqrt{3}) \quad \text{KAAVA 58}$$

Koska a-mitta on pieni suhteessa konsolin paksuuteen, hitsauksessa saatetaan joutua käyttämään esilämmitystä. Konsolin tarvittava korkeus saadaan laskettua pystysuuntaisten hitsien perusteella. Käytännössä vaakasuuntaiset hitsit osallistuvat kuorman kantamiseen, mikä tuo lisävarmuutta liitokselle. (2, s. 389.)

Mikäli liitoksen leikkauskestävyyttä hoidetaan leikkauksen kantamiseen suunnitella leikkauspalalla, päätylevyn minimipaksuus valitaan tarkastaen päätylevyn lommahduskestävyys. Jotta palkin päätylevyn ja pilarikonsolin välisen tukireaktion kosketuspaine ei muodostu liian suureksi, tulee materiaalin myötäämiseen perustuvan kaavan 59 mukaisen ehdon toteuttaa (2, s. 387.)

$$t_p \geq V_{Ed} / (b_p f_y / \gamma_{M0}) \quad \text{KAAVA 59}$$

t_p ruuvien tai mutterien alla olevan levyn paksuus

b_p levyn leveys (2, s. 387.)

Valitaan päätylevyn paksuus siten, ettei lommahduskestävyys tule määrääväksi. Muunnettu hoikkuus lasketaan kaavan 60 mukaan. (6, s. 16.)

$$\lambda_p = (b / t_p) / (28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}) \quad \text{kun } \lambda_p \leq 0,748 \quad \text{KAAVA 60}$$

Tästä seuraa kaavan 61 mukainen mitoitusehto (6, s. 16).

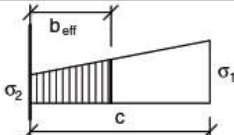
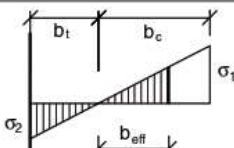
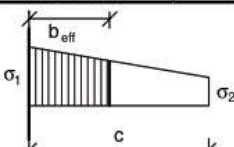
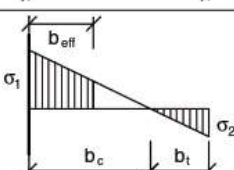
$$t_p \geq b / (21,24 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}) \quad \text{KAAVA 61}$$

ε venymä ja f_y :stä riipuva tekijä

b tarkoituksenmukainen levykentän leveys

k_σ lommahduskerroin, jonka arvoa valitaan taulukosta 14

TAULUKKO 14. Yhdeltä reunalta tuetut taso-osat (6, s. 18)

Jännitysjakautuma (puristus on positiivinen)		Tehollinen ^p leveys b_{eff}			
		$1 > \psi \geq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho c$			
		$\psi \leq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$	
Lommahduskerroin k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho c$			
		$\psi \leq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Lommahduskerroin k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

Kun jätetään profiilin uuman paksuus huomioon ottamatta, päätylevyn paksuudelle saadaan kaavan 62 mukainen yksinkertaistettu mitoitusehto (2, s. 387).

$$t_p \geq b_p / (42,48 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}) \quad \text{KAAVA 62}$$

4 ENDPLATE CALCULATOR

Laskentarutiineja sekä optimointeja tehtäessä liitosmitoituksessa laskelmat siirrettiin taulukkolaskentaohjelmistolle. Liitosmitoitusohjelma koodattiin käyttäen Microsoft Excel -ohjelmistoa, jonka toiminta perustuu soluihin. Käytettäväksi valittiin Microsoft Excel -ohjelmisto, koska sen käyttö laskelmointeja tehtäessä on koko ajan lisääntymässä. Lisäksi Excelin yksi vahvuuksista on, että yhteen soluun mahtuu paljon tietoa, joten ohjelma mahdollistaa koko laskentarutiinista optimoidun käyttöliittymän tekemisen.

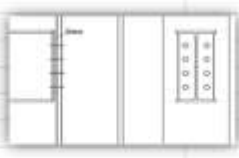
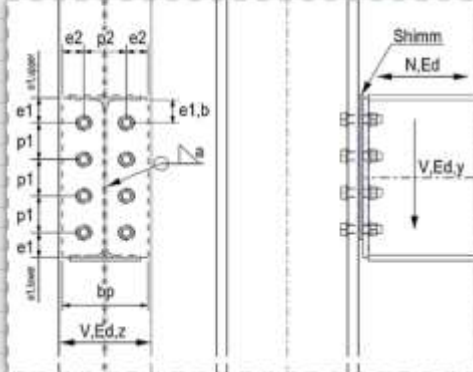
4.1 Mitoitusohjelman ulkoasu

Mitoitusohjelman käyttöliittymää suunniteltaessa mietittiin hyvin tarkkaan sen käytettävyyttä. Työssä otettiin huomioon muun muassa kognitiivinen ergonomia sekä valmiille tuotteelle asetetut tavoitteet ja käyttötarkoitus. Koska nykypäivän suunnittelutoimistoissa pääosa töistä suoritetaan tietoteknisten välineiden avustamana, työkalujen valinnassa tulee ottaa huomioon työntekijöiden tietotekniset taidot. Tämä tarkoittaa sitä, että hankittavien työkalujen ja välineiden tulee olla sopusoinnussa työntekijöiden osaamisen kanssa. Tällöin työtehtävät saadaan suoritettua tehokkaasti ja virheettömästi, ilman ylimääräistä kuormitusta. (10, linkit Etusivu ->Työkykyinen työntekijä -> Aivotyö -> Kognitiivinen ergonomia.)

Mitoitusohjelman käytettävyyteen vaikuttaa merkittävästi muun muassa tiedon visuaalinen esitystapa, koska se parantaa käyttäjän työskentelyn nopeutta. Tarkoituksenmukaisesti sijoitetut valintaikkunat sekä muut käyttöliittymässä esitetyt tiedot ohjaavat käyttäjän oikean tiedon äärelle. Mitoitusohjelman selkeä ja helppokäyttöinen käyttöliittymä parantavat järjestelmän käytettävyyttä. Yksi tapa parantaa käytettävyyttä on käyttää erilaisia värejä ja niiden voimakkuuksia eri elementtien välillä, jolloin käyttäjä pystyy nopeammin kohdistamaan huomionsa oikeaan kohtaan. Mikäli värejä käytetään, on tärkeää varmistaa, että kirjainten ja taustan välillä on kontrastiero. (10, linkit Etusivu ->Työkykyinen työntekijä -> Aivotyö -> Kognitiivinen ergonomia.)

Mitoitusohjelman käyttöliittymä pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman yksinkertaisena, selkeänä, loogisena ja helppokäyttöisenä. Laskentapohjan rakenne ja

muotoilu suunniteltiin optimoituna siten, että käyttäjän koko työpaneeli sekä mitoituksen kaikki olennaiset kohteet sijoitettiin yhteen paikkaan, mikä helpottaa käyttäjän ohjelman käyttämistä. Liitoksen parametrien syötön helpottamiseksi mitoitusohjelma varustettiin liitoksen tapauskohtaisella kuvalla, johon kyseiset parametrit merkittiin (kuva 12). Näin suunnittelijalle selvennetään täydennettävien arvojen viereisiä mittoja, mikä mahdollistaa nopeuttamaan käyttäjän työtä.

JOINT: End-plate to column, pinned Based on Eurocode 1993-1-1 and Eurocode 1993-1-8 Or you can choose one of the following variants according to the stiffening method		End-plate to column, pinned End-plate to column, rigid End-plate to column, shear plate		Partial factors $\gamma_{M2} = 1.00$ $\gamma_{M1} = 1.00$ $\gamma_{M0} = 1.25$
Beam Rolled or welded profile: IPE400		Column Rolled or welded profile: WI400-10-16*300		
End plate Plate thickness $t_p = 10$ mm Fillet weld $a = 5$ mm Steel grade $\text{grade}_{p,c} = S355$ Yield strength $f_{yk} = 355$ MPa Ultimate tensile strength $f_{tk} = 510$ MPa		Bolts Bolt size Bolt size = M20 Bolt class Bolt class = M12 Thread in shear plane (YES or NO) Thread = YES Number of bolt rows (horizontal) $n1 = 2$ Number of bolt column (vertical) $n2 = 3$		
Shim plate Shim height $h_{shim} = 220$ mm Shim height under the top flange $h_{shim,fl} = 220$ mm				
Spacing, end and edge distance of bolt Edge distance in horizontal direction $e_1 = 50$ mm Spacing in horizontal direction $p_2 = 120$ mm Edge distance in vertical direction, upper $e_{1,upper} = 60$ mm Spacing in vertical direction $p_1 = 120$ mm Edge distance in vertical direction, bottom $e_{1,bottom} = 200$ mm Edge distance between plate and beam $e_{1,b} = 70$ mm				
Loadings Shear force $V_{Ed} = 120$ kN Horizontal shear force $V_{Ed,z} = 120$ kN Compression and tension force $N_{Ed} = 175$ kN Modulus of elasticity $E = 210000$ MPa				
Calculation and results: OK Warning Error				

KUVA 12. Laskentapohjan päänäkö ja liitoksen parametrien syöttö

Tapauksissa, jossa suunnittelija syöttää väärän parametrin, solu muuttuu punaiseksi, mikä tarkoittaa sitä, että syötetty arvo ei sovellu kyseiseen parametriin. Näin ollen virheet huomataan erittäin helposti parametreja syötettäessä. Lisäksi mitoitusohjelma opastaa suunnittelijaa kommentteilla (kuva 13). Kyseinen keino selkeyttää käyttäjän syötettäessä parametreja. Tämän jälkeen mitoitusohjelma laskee liitoksen peruskomponenttien käyttöasteet sekä antaa tulokset ja päivittää ne välittömästi. Myös suunnittelija voi halutessaan tarkastella komponenttien mitoituksen välivaiheita vaivattomasti ja saada tulostettua tuloksista yhteenvedon.

Shimm plate		
Shimm height	$h_{shimm} =$	220 mm
Shimm height under the top flange	$h_{shimm, \text{eff}} =$	220 mm
Spacing, end and edge distance of bolt		
Edge distance in horizontal direction	$e_2 =$	50 mm
Spacing in horizontal direction	$p_2 =$	50 mm
Edge distance in vertical direction, upper	$e_{1, \text{upper}} =$	60 mm
Spacing in vertical direction	$p_1 =$	120 mm
Edge distance in vertical direction, bottom	$e_{1, \text{lower}} =$	200 mm
Edge distance between plate and beam	$e_{1, \text{eff}} =$	70 mm
Loadings		
Shear force	$V_{Ed, y} =$	120 kN
Horizontal shear force	$V_{Ed, z} =$	120 kN
Compression and tension force	$N_{Ed} =$	175 kN
Modulus of elasticity	$E =$	210000 MPa
Calculation and results: 100% 100% 100%		

KUVA 13. Liitoksen parametrien syöttö ja virheilmoitus

4.2 Mitoitusohjelman käyttö

Sovelluksen käyttöliittymän toteutettiin niin, ettei suunnittelijan tarvitse käyttää mitään muuta kuin laskentavälilehden päänäkymää. Liitoksen mitoitusta varten käyttäjältä vaaditaan ensin valitsemaan liitostyyppin oikea jäykistystapa, minkä jälkeen siirryttäessä oikeaan laskentataulukkoon mitoitusohjelmaan syötetään liitoksen laskentaparametrit. Avattavista luetteloista löydetään standardin mukaisen teräsprofiilien sekä muiden teräskomponenttien ja ruuvien tiedot, jotka mitoitusohjelma käyttää omasta tietokannastaan. Kun suunnittelija on päässyt siirtymään oikeaan laskentataulukkoon, aloitetaan tapauksen laskenta. Avattavista luetteloista valitaan mitoittavan pilarin ja liittyvän palkin profiilitiedot (taulukko 15).

TAULUKKO 15. Laskentapohjan välilehdet sekä piilotetut taskussa mitoittavien profiilien poikkileikkausarvojen ja lujuusominaisuuksien tiedot

Beam			Column		
Rolled or welded profile:			Rolled or welded profile:		
IPE400			WH400-10-16*300		
Beam height	$h_b =$	400 mm	Column height	$h_c =$	400 mm
Web thickness	$t_{w,b} =$	8.6 mm	Web thickness	$t_{w,c} =$	10 mm
Flange thickness	$t_{f,b} =$	13.5 mm	Flange thickness	$t_{f,c} =$	16 mm
Beam width	$b_b =$	180 mm	Column width	$b_c =$	300 mm
Flange thickness	$t_{f,b,2} =$	13.5 mm	Flange thickness	$t_{f,c,2} =$	16 mm
Beam width	$b_{b,2} =$	180 mm	Column width	$b_{c,2} =$	300 mm
Beam area	$A_b =$	8446 mm ²	Column area	$A_c =$	13280 mm ²
Beam steel grade	$grade_b =$	S355	Column steel grade	$grade_c =$	S355
Beam yield strenght	$f_{y,b} =$	355 MPa	Column yield strenght	$f_{y,c} =$	355 MPa
Beam ultimate tensile strenght	$f_{t,b} =$	510 MPa	Column ultimate tensile strenght	$f_{t,c} =$	510 MPa
			Web height	$h_w =$	368 mm
			Notch	$c =$	0 mm
			Throat weld (or radius if profile is rolled)	$a =$	4 mm

Profiles Tables End-plate to column, pinned

End-plate to column, rigid

End-plate to column, shear plate

App

Mitoitusohjelma antaa automaattisesti kyseisen poikkileikkauksen standardin mukaiset poikkileikkausarvot ja lujuusominaisuudet. Suunnittelija voi tarvittaessa tarkastella näitä tietoja kentän alapuolella taskuissa piilotetuista taulukoista tai mitoitusohjelman välilehdistä nimeltään Profiilit ja Taulukot (taulukko 15).

Seuraavaksi valintaluettelon avulla valitaan päätylevyn, ruuvien ja ruuvirivien tiedot. Ruuvien koon ja lujuusluokan valittaessa mitoitusohjelma määrittää niiden parametrien mukaan ruuvien lujuusominaisuudet ja reiän halkaisijan. Lisäksi valintaluettelosta määritetään, ovatko ruuvien kierteet liitoksessa leikkautuvassa tasossa vai ei, minkä perusteella mitoitusohjelma määrittää mitoituksessa käytetävän pinta-alan.

Laskentataulukossa ruuvien keskiöväli-, pääty- ja reunaetäisyydet sekä liitosta rasittavat kuormitukset ja tapaukset, jossa mitoituksessa käytetään WI-profiilia (hitsattua profiilia), tiedot kenttiin syötetään käsin. Kaikki liitoksen mitoitusta tarvittavat tiedot suunnittelija syöttää niiden parametrien mukaan omiin varattuihin kenttiin tai soluihin, jotka on laskentataulukossa korostettu vaaleankeltaisena.

Kun saadaan syötettyä liitoksen kaikki tarvittavat tiedot, mitoitusohjelma laskee välittömästi jokaisen komponentin kapasiteetit ja ilmoittaa, kestäkö liitoksen tietty peruskomponentti ko. rasituksen. Koko laskentaprosessi tapahtuu samassa mitoitus-välilehdessä osa-alueella nimeltään laskenta ja tulokset. Jotta mitoitukselta voisi mahdollisimman helposti tarkastaa liitoksen kestävyys kokonaistarkastelussa, piilotettiin kaikki laskentarutiinit myös taskuissa sijoittamalla jokaisen komponentin laskenta omaan taskuunsa (taulukko 16).

TAULUKKO 16. Laskentatulosten esitystapa

94	Calculation and results:	F = 35% F = 30% F = 100%				
95						
+ 123	- Design		$\varphi_0 = 100.00\%$	Check 0		
+ 132	- Bolt group in shear		$\varphi_1 = 99.74\%$	Check 1		
+ 151	- Bearing resistance of an end-plate		$\varphi_2 = 97.45\%$	Check 2		
+ 190	- Transverse bending and tension resistance of an end-plate and bolts		$\varphi_3 = 83.47\%$	Check 3		
+ 194	- Bolt group in combined shear and tension		$\varphi_4 = 98.53\%$	Check 4		
+ 201	- Shear resistance of beam		$\varphi_5 = 111.3\%$	Check 5		
+ 213	- Tension resistance of beam web with shear force influence		$\varphi_6 = 11.33\%$	Check 6		
+ 223	- Compression resistance of beam web with shear force influence		$\varphi_7 = 22.11\%$	Check 7		
+ 231	- Weld resistance of beam web		$\varphi_8 = 56.11\%$	Check 8		
+ 238	- Welds for beam flange		$\varphi_9 = 10.63\%$	Check 9		
+ 256	- Bearing resistance of a column flange		$\varphi_{10} = 19.21\%$	Check 10		
+ 266	- Shear resistance of column web		$\varphi_{11} = 7.78\%$	Check 11		
+ 307	- Transverse bending and tension resistance of column flange		$\varphi_{12} = 10.10\%$	Check 12		
+ 325	- Transverse compression resistance of column web		$\varphi_{13} = 3.58\%$	Check 13		
+ 336	- Transverse tension resistance of column web		$\varphi_{14} = 46.47\%$	Check 14		

Suunnittelija voi halutessaan tarkastella komponenttien mitoituksen välivaiheita avaamalla tai sulkemalla takaisin kunkin niistä klikkaamalla sivupalkista plus- tai miinuspainiketta. Mitoitusohjelman taskussa olevasta laskentarutiinista esitetään esimerkki taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Osa laskennan välivaiheista mitoitusohjelman laskenta-alueella

94	Calculation and results:	φ<80%	φ=80%-100%	φ>100%		
95						
123	- Design				$\varphi_D = 67,76 \%$	Check 0
132	- Bolt group in shear				$\varphi_1 = 99,74 \%$	Check 1
133						
134	Check 2: - Bearing resistance of an end-plate					
135	Bearing resistance of a single bolt on an end-plate, (vertical force)					SFS EN 1993-1-8, 3.6, T3.4
136	$\alpha_{b,p} = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_{up}; 1,0) =$	0,96				
137	$\alpha_{b,p} = \min(e_1/3d_0; f_{ub}/f_{up}; 1,0) =$	1,00				
138	$k_{1,p} = \min(2,8 \cdot e_1/d_0 - 1,7; 1,4 \cdot p_1/d_0 - 1,7; 2,5) =$	2,50				
139	$F_{b,p,Rd} = k_{1,p} \alpha_{b,p} f_{ub} d t_p / \gamma_{M2} =$	196,0	kN			
140	$V_{b,p,Rd} = n \cdot F_{b,p,Rd} =$	784,0	kN			
141	Bearing resistance of a single bolt on an end-plate, (horizontal force)					
142	$\alpha_{b,hp} = \min(e_2/3d_0; p_2/3d_0 - 0,25; f_{ub}/f_{up}; 1,0) =$	0,76				
143	$k_{1,hp} = \min(2,8 \cdot e_1/d_0 - 1,7; 1,4 \cdot p_1/d_0 - 1,7; 2,5) =$	2,50				
144	$k_{1,hp} = \min(2,8 \cdot e_1/d_0 - 1,7; 2,5) =$	2,50				
145	$F_{b,hp,Rd} = k_{1,p} \alpha_{b,p} f_{ub} d t_p / \gamma_{M2} =$	148,5	kN			
146	$V_{b,hp,Rd} = n \cdot F_{b,hp,Rd} =$	593,9	kN			
147	End-plate in bearing					
148	$V_{Ed,y} / V_{b,p,Rd} =$	47,4	%			
149	$V_{Ed,z} / V_{b,hp,Rd} =$	8,4	%			
150	$\varphi_{11} = \max(V_{Ed,y}/n \cdot N_{b,p,Rd}; V_{Ed,z}/n \cdot N_{b,hp,Rd}) =$	47,4	%			
151	- Bearing resistance of an end-plate				$\varphi_2 = 47,45 \%$	Check 2

Näin ollen mitoitusohjelmassa tapahtuu päätylevyliitosten peruskomponenttien laskenta suunnittelijan johdolla. Ohjelma suorittaa välittömästi mitoituksen ja tarkastelee liitoksessa olevat profiilit sekä antaa tulokseksi ruuvien, hitsien ja levyn materiaalin kapasiteetit. Mitoituksen jälkeen kerätään liitoksen peruskomponenttien käyttöasteet kootusti laskennan yhteenvedoksi. Suunnittelija voi seurata laskentaprosessia sekä tulostaa laskentapohjasta yhteenvedon. Näin mitoitusohjelma tulee rakennesuunnittelijan käyttöön tehostamaan liitossuunnittelua. Mitoitusohjelmaa käytettäessä rakennesuunnittelijan tulee kuitenkin tietää, miten ohjelma toimii, ja osata arvioida tulosten oikeellisuutta.

4.3 Kehitysehdotuksia

Mitoitusohjelmassa olisi hyvä luoda vielä mitoitus-välilehti, jossa pystytään mitoittamaan tietyssä kuormitustapauksessa rasittama liitos, tarkistaen kaikki tietokannassa olevat teräsprofiilit samaan aikaan ja määrittäen edullinen liitostapa sekä jäykistystapa. Kyseinen toimenpide ei tuo olennaisia vaikeuksia, kun tehdään mitoitusohjelmassa kyseinen lisätyökalu olemassa olevien laskentataulukoiden ja ohjelmoitujen kaavoilla solujen avulla. Tätä pyritään toteuttaa muokkaamalla valmiin laskentataulukon ulkoasua. Kyseinen työkalu nostaa mitoitusohjelman toiminnallisuutta.

Jos tulevaisuudessa mitoitusohjelman profiilitietokantaan joudutaan tuomaan lisää profiilivaihtoehtoja, kannattaa miettiä etukäteen, miten siihen varaudutaan kaavoja luotaessa. Myöhemmin sen toteuttaminen voi olla hankalaa, koska se voi aiheuttaa kaavojen muokkausta. Toisaalta mitoitusohjelma varustetiin kentällä, johon käyttäjä voi halutessaan myös syöttää omia arvojaan, jonka perusteella ohjelma mitoittaa tarvittavat profiilien poikkileikkausarvot. Tällöin käyttäjän tulee muistaa käyttää liitoksen suunnittelussa vain saatavilla olevia levypaksuuksia.

5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin Eurokoodin mukaisten teräsrakenteiden suunnitteluperiaatteisiin sekä teräsrakenteiden välisten pulttiliitosten mitoitusperiaatteisiin. Tietojen pohjalta laadittiin standardin mukainen mitoitusohjelma.

Mitoitusohjelmaa laadittaessa haasteena koettiin parametrien runsaus, sillä liitosten laskennassa vaiheita sekä tarkastettavia komponentteja on aika useita. Myös laskentakaavojen syöttämisessä soluihin ongelmaksi havaittiin se, että mitoitusehtojen laadittaessa tietyille peruskomponenttien mitoituksille jouduttiin asettamaan taas runsaasti parametreja, jonka Excel-ohjelmistolla toteuttaminen saatiin aika työlästä ja jopa hankalampi verrattuna muiden ohjelmistoihin. Yksi solu siis voi sisältää jopa useita mitoitusehtojen rivejä, mitä kuitenkin korvattiin kokonaisuudessaan optimoidulla ja mukavalla käytössä laskentapohjan käyttöliittymällä. Lisäksi käsin laskennassa koko prosessi on hidasta ja altistaa virheille.

Laskentapohjaa tehtäessä huomattiin, että kaavojen syöttämisessä Excel-taulukoon piti olla ehdottomasti tarkkana. Laskentapohjaa tarkasteltiin vielä käsin laskennalla erilaisilla kuormitusyhdistelmillä ennen kuin suunnittelutoimistossa pätevät suunnittelijat testasivat ohjelmistoa käytännössä. Mitoitusohjelmistoa ei vielä ehditty ottaa käyttöön WSP:n suunnittelijoilla tämän opinnäytetyön valmistuessa, sillä sovelluksessa on vielä hieman hiottavaa. Suunnittelijoilla voi tuki jatkossa syntyä uusia ideoita ja toiveita siitä, miten esimerkiksi kyseistä ohjelmaa voidaan mahdollisesti vielä kehittää tai mitoitusohjelman ulkoasua muokata.

Mitoitusohjelma toteutettiin WSP:n suunnittelijoiden käyttöön mahdollisimman selkeänä ja helppokäyttöisenä. Ohjelmaa käyttäessään kokenut suunnittelija, esimerkiksi aiempien tapausten perusteella, pystyy arvioimaan, mikä on liitoksen heikoin kohta. Näin suunnittelija saa laajemman ja kokonaisvaltaisemman käsityksen liitosten toiminnasta, sillä laskentapohja mahdollistaa mitoituksen yksityiskohtaisen tarkastelun.

Mitoitusohjelma ei ole liitetiedostona tässä opinnäytetyössä, koska se tulee WSP:n sisäiseen käyttöön.

LÄHTEET

1. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 3 - oppikirja. 2010. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
2. Hitsatut profiilit. 2010. Keuruu: Rautaruukki Oyj.
3. Rakennusten kantavien rakenteiden suunnitteluun muutoksia 1. tammikuuta 2017. 2016. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Rakennusten_kantavien_rakenteiden_suunni\(40877\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Rakennusten_kantavien_rakenteiden_suunni(40877)). Hakupäivä 18.11.2018.
4. RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
5. SFS-EN 1993-1-8. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
6. SFS-EN 1993-1-5. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Levyrakenteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
7. SFS-EN 1993-1-1. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
8. Joints in Steel Construction, Moment-Resisting Joints to Eurocode 3. 2013. London: The Steel Construction Institute and The British Constructional Steelwork Association.
9. Kuula, Kai 2018. T512804 Teräsrakenteet 2, 4 op. Opintojakson luennot syksyllä 2018. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
10. Kognitiivinen ergonomia. 2019. Työterveyslaitos. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/tyontekija/aivot-tyossa/aivojen-hyvinvointi/>. Hakupäivä 13.1.2019.