

TERÄSRAKENNELIITOSTEN LASKENTAPOHJIEN
LAATIMINEN EC3:N MUKAAN

Hooli Anniina

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Konetekniikka
Insinööri AMK

2016

Tekniikka ja liikenne
Konetekniikka
Insinööri AMK

Tekijä	Anniina Hooli	Vuosi	2016
Ohjaaja(t)	Ins. (YAMK) Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Pohjois-Suomen Rakennetekniikka Oy		
Työn nimi	Teräsrakenneliitosten laskentapohjien laatiminen EC:n mukaan		
Sivu- ja liitesivumäärä	50		

Tässä opinnäytetyössä laadittiin Pohjois-Suomen Rakennetekniikalle teräsrakenneliitosten laskentapohjat Eurokoodi 3 mukaan. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Eurokoodi 3:n koskee teräsrakenteita. Laskentapohjien tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa yrityksen työntekijöiden eri projektien laskentaprosesseja. Laskentapohjat laadittiin yrityksen sisäiseen käyttöön.

Teräsrakenteissa liitokset ovat suuressa roolissa. Niiden suunnittelu on työlästä, sekä ne ovat kalliita valmistaa. Liitosten mitoitus on monivaiheinen prosessi ja käsin laskemalla virheen mahdollisuus kasvaa. Laskentapohjilla prosessia nopeutetaan ja virheiden mahdollisuuksia minimoidaan.

Laskentaohjeet ja mitoituskaavat koskevat yrityksen tyyppiliitoksia. Liitoksiksi valittiin pilarin perustus-, päätylevy- ja uumaliitokset, sekä vinositeen liittyminen pilariin. Pohjalevy- sekä päätylevyliitos käsiteltiin nivelellisenä sekä jäykkänä. Laskentapohjat kyseisistä liitoksista laadittiin Excel-pohjille. Laskentapohjissa suunnittelija syöttää liitoksen geometriset suureet sekä valitsee teräslujuudet. Näillä perusteilla laskentapohja laskee liitoksen kestävyden.

Opinnäytetyön tietoperustana käytettiin Eurokoodeja, muita teräsrakentamiseen perustuvia kirjoja, sekä Pohjois-Suomen Rakennetekniikassa työskentelevien rakennesuunnittelijoiden ohjeistusta.

Technology, Communication and
Transport
Mechanical and Production Engi-
neering
Bachelor of Engineering

Author	Anniina Hooli	Year	2016
Supervisor	Ari Pikkarainen, MEng		
Commissioned by	Pohjois-Suomen Rakennetekniikka		
Subject of thesis	Drawing up worksheets of steel structure joints based on Eurocode3		
Number of pages	50		

In this thesis a worksheet of steel structure joints was drawn up according to Eurocode 3 for Pohjois-Suomen Rakennetekniikka. Eurocodes are European's standards of the ballast construction. Eurocode 3 is applied to the steel structure. The functions of the worksheet are to facilitate and step up the various project processes of the company's employees. The worksheets were drawn up for the company's internal use.

The steel structure joints are the main part. Their planning is difficult and they are expensive to manufacture. The calculation of joint is a multiphase process and when calculating by hand the error probability arises. With the worksheet the process will be sped up and the error probability will be minimized.

The calculation instructions and plans affect the company's nitrogen joints. The basic, endplate and waist joints were selected for the joints as well as the bias ligament joint of the column. The base plate and the end plate were dealt both at joint and stiff. The worksheets of these joints were casted on Excel. On the worksheet the designer chooses the geometry and the strength of the worksheet calculates the strength of the joints.

The basis of the thesis the Eurocodes were used, other books based on steel structure and the instruction of the structure designer who work at Pohjois-Suomen Rakennetekniikka.

Key words

steel structure, joint, worksheet, Eurocode 3

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	POHJOIS-SUOMEN RAKENNETEKNIikka OY	9
2.1	Toimialat	9
2.2	Rakennesuunnittelu	9
3	EUROKOODIT	11
3.1	Eurokoodi 3.....	12
3.2	Ruuvikiinnitykset	13
4	NIVELELLINEN PILARIN PERUSTUSLIITOS.....	15
4.1	Pohjalevy	15
4.2	Peruspultit.....	19
4.3	Leikkauspala.....	20
4.4	Hitsien mitoitus	21
5	JÄYKKÄ PILARIN PERUSTUSLIITOS	26
5.1	Pohjalevyn mitoitus.....	26
5.2	Pohjalevyliitoksen taivutuskestävyys	27
6	PÄÄTYLEVY NIVELELLINEN	30
6.1	Päätylevyn mitoitus.....	30
6.2	Ruuvit.....	31
6.3	Konsolilevy.....	32
6.4	Pilarin ja palkin leikkauskapasiteetti.....	32
7	PÄÄTYLEVY JÄYKKÄ	33
7.1	Päätylevyn mitoitus.....	33
7.2	Pilarin ja palkin tarkastelu	35
7.3	Jäykisteiden kestävyys	37
8	UUMALIITOS.....	38
8.1	Ruuvit.....	38
8.2	Reunapuristuskestävyys	40
8.3	Palamurtumiskestävyys	40
9	VINOSIDELIITOS PILARIIN	42

Tekniikka ja liikenne
Konetekniikka
Insinööri AMK

9.1	Perusaineen kestävyys	42
9.2	Hitsien mitoitus	43
10	LASKENTAPOHJAT	44
10.1	Käytettävyys	44
10.2	Ulkoasu.....	44
10.3	Käyttö	45
10.4	Kehitysehdotuksia	47
11	POHDINTA	49
	LÄHTEET.....	50

ALKUSANAT

Haluan kiittää Pohjois-Suomen Rakennetekniikan toimitusjohtajaa Mikko Kerästä haastavasta ja mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Lapin Ammattikorkeakoulun opinnäytetyön ohjaajaana toiminutta Ari Pikkaraista haluan kiittää ohjauksesta sekä kommentteista. Erityisesti kiitos kuuluu perheelleni, jolta olen saanut tukea ja kannustusta.

Torniossa 3.11.2016

Anniina Hooli

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Prt	Pohjois-Suomen Rakennetekniikka Oy
EC	Eurokoodi

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia teräsrakenneliitosten laskentapohjat Pohjois-Suomen Rakennetekniikalle. Laskentapohjat laaditaan Eurokoodi 3:sen mukaan.

Pohjois-Suomen Rakennetekniikka on lappilainen insinööritoimisto. Yrityksen toimipaikat sijaitsevat Kemissä ja Rovaniemellä. Rakennesuunnittelussa yritys on erikoistunut teräs- ja betonisuunnitteluun. Opinnäytetyössä käsitellään yrityksen tyyppiliitoksia. Laskentapohjat tulevat yrityksen työntekijöille käyttöön nopeuttamaan ja yhdenmukaistamaan liitossuunnittelua.

Liitokset rajataan kuuteen erilaiseen liitokseen. Käsiteltävät liitokset ovat perustus-, päätylevy-, uuma- ja vinosideliitos. Perustus- ja päätylevyliitos käsitellään nivellellisenä ja jäykkänä. Uumaliitoksessa sekundääripalkki liittyy primääripalkkiin kiinnityslevyn avulla.

Rakennesuunnittelijoille mitoitusohjelmien käyttö on joka päiväistä. Ohjelmat nopeuttavat laskentaprosesseja ja vähentävät virheiden mahdollisuuksia. Suunnittelijan tulee ymmärtää teoria laskentaprosessin takana ja näin myös pystyä arvioimaan tulosten oikeellisuutta. Opinnäytetyössä laaditut pohjat on pyritty pitämään helppokäyttöisinä ja selkeinä. Laskentapohjaan suunnittelija syöttää liitoksen geometriset suureet. Pohja antaa tulokseksi levyn materiaalin, ruuvien ja hitsien kestävyudet. Laskentapohjat tarkastelevat myös liitoksessa olevan palkin ja/tai pilarin. Suunnittelija voi halutessaan tarkastella tulosten takana olevaa laskentaprosessia, sekä pohjasta saadaan tulostettua yhteenveto laskennan tuloksista.

2 POHJOIS-SUOMEN RAKENNETEKNIikka OY

Pohjois-Suomen Rakennetekniikka (Prt) on rakennesuunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto. Yritys on perustettu vuonna 1983. Nykyiset omistajat ostivat yrityksen vuonna 2011. PRT:n toimipisteet sijaitsevat Rovaniemellä sekä Kemissä. Kemin toimipisteessä toimii myös Lapin Konesuunnittelu, joka on Prt:n tytäryhtiö. Prt:n palveluksessa työskentelee viisi rakennesuunnittelijaa.

2.1 Toimialat

Prt:n päätoimiala on talonrakennuskohteiden rakennussuunnittelu ja teräsrakennesuunnittelu. Suunnittelukohteiden laajuus vaihtelee omakotitaloista kerrostaloihin sekä teollisuuden erikoisrakenteisiin. Varsinaisen rakennesuunnittelun lisäksi yrityksen merkittäviksi suunnittelukohteiksi ovat muodostuneet teollisuuden erilaiset teräsrakenteiden suunnittelutehtävät muun muassa kuljettimien runko- ja kannatussuunnittelu eri kaivos Hankkeisiin ja teollisuuden tarpeisiin sekä Suomessa että ulkomailla. Asiakkaita ovat yritykset, kunnat, valtio, teollisuuslaitokset sekä yksityishenkilöt. (Prt Oy 2016)

Suunnittelussa Prt:llä on käytössä seuraavat ohjelmistot:

- Tekla Structures – 3D-mallinnusohjelma
- Autodesk Inventor – 3D-mallinnusohjelma
- Autodesk AutoCad suunnitteluohjelmistot
- Autodesk Robot Structural Analysis 3D-rakenteiden laskenta- ja analysointiohjelmisto FEM
- DOF Tech – laskentaohjelmistot
- SolidWorks – 3D-mallinnusohjelma

2.2 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelu on rakennussuunnittelun osa-alue, joka käsittää rakennuksen rakenneteknisen suunnittelun detaljeineen. Suunnittelun päätehtävänä on tuottaa rakennesuunnitelmat, joilla voidaan toteuttaa ja ylläpitää rakennus tai rakenne. Rakennesuunnittelun tehtävät ja vastuut

määritellään suunnittelun toimeksiannossa ja -sopimuksessa. Se voi käsittää koko rakenteellisen suunnittelun tai vain tietyn osatehtävän.

Rakennesuunnitteluun sisältyy uudis- ja korjauskohteiden rakennesuunnittelua, runkojärjestelmien ja -materiaalien valinta ja lujuustarkastelut, rakenteiden suunnittelu, valmisosien tuotantosuunnitelmien laatiminen, sekä erilaiset rakennusfysikaaliset ja käyttöikään liittyvät selvitykset. Joskus rakennesuunnittelu sisältää myös määrälaskentapalveluita.

Rakennustekniseen suunnitteluun kuuluvat perustus-, runko-, ja rakenneratkaisujen kehittäminen, rakenteiden mitoitus sekä rakennuksen toteutettavuudesta ja rakennusteknisestä toimivuudesta huolehtiminen. Rakennesuunnittelun pohjaksi selvitetään useimmiten erillisenä toimeksiantona perustamisolosuhteet. Rakennesuunnitelmat sisältävät lujuuslaskelmat, joissa osoitetaan kantavien rakenteiden kestävyys ja piirustukset, joissa esitetään rakenteiden mitat. Rakennesuunnitelmissa esitetään myös rakenteiden lämmön-, kosteuden- ja vedeneristykset. (Prt Oy 2016)

3 EUROKOODIT

Kantavien rakenteiden suunnittelustandardit eli eurokoodit (EC) on kehitetty eurooppalaisen rakennus sekä teollisuuden kilpailukyvyn parantamiseksi sekä Euroopan unionin alueella että muualla maailmassa. Eurokoodeissa on rakennusmateriaaleille materiaalikohtaiset ohjeet. Erilaisten kuormien kuten, hyöty-, lumi- ja tuuli-, lämpö-, onnettomuus- ja norturikuormien kattavat määrittämisperusteet löytyvät EC:stä. Eurokoodien soveltaminen eri maissa vaatii kansallisten liitteiden laatimista. Suomessa liitteiden laatimisesta vastaa ympäristöministeriö talonrakentamisen osalta ja liikennevirasto siltojen. Eurokoodisarja koostuu yhteensä 58 osasta ja 10 pääosasta, jotka ovat seuraavat:

- EN 1990 Eurokoodi 0: Suunnittelun perusteet
- EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormitukset
- EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu
- EN 1993 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
- EN 1994 Eurokoodi 4: Teräs-betoniliittorakenteiden suunnittelu
- EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu
- EN 1996 Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
- EN 1998 Eurokoodi 8: Rakenteiden suunnittelu kestävyys suhteen maanjäristyksessä
- EN 1999 Eurokoodi 9: Alumiinirakenteiden suunnittelu (Eurokoodi help desk 2016)

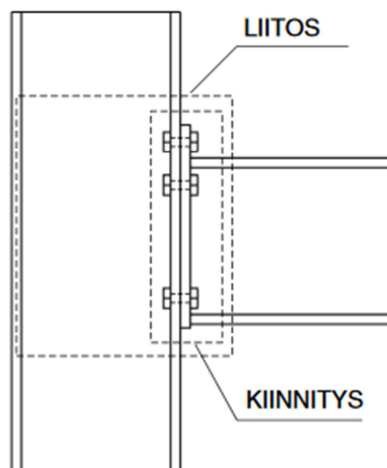
Suomessa Eurokoodien käyttö aloitettiin 1.11.2007, tämän jälkeen niiden käyttömahdollisuuksia on laajennettu antamalla uusia kansallisia liitteitä koskevia asetuksia. 1.9.2014 eurokoodien yhteensopivat säädökset tulivat voimaan, jolloin kantavien rakenteiden suunnittelua koskevat rakentamismääräyskokoelman B-osat kumottiin tällöin.

Kantavien rakenteiden olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät, kun ne suunnitellaan ja toteutetaan eurokoodien sekä niitä koskevien kansallisten valintojen mukaan. Myös muiden suunnittelu- ja toteutusjärjestelmien soveltaminen on mahdollista, kun suunnittelu ja toteutus johtaa rakenteiden lujuuden ja vakauden, käyttökelpoisuuden ja käyttöiän kannalta olennaisten teknisten vaatimusten täyttymiseen. (Ympäristöministeriö 2014)

3.1 Eurokoodi 3

Tämä opinnäytetyö tehdään perustuen EC 3:sen osaan 1-8: liitosten mitoitus. Liitos on peruskomponenttien yhdistelmä, joihin kuuluvat muun muassa ruuvit, levyt, hitsit ja pilarin uumat sekä laipat. Kuviossa 1 esitetty liitoksen ja kiinnityksen ero. Näiden komponenttien avulla kaksi terässauvaa voidaan liittää yhteen niin että voimasuureet pääsevät siirtymään sauvojen välissä.

Kyseisessä standardissa liitokset luokitellaan jäykkyyden tai lujuuden perusteella. Jäykkyyden perusteella liitokset jaetaan nimellisesti nivelellisiin liitoksiin, jäykkiin liitoksiin tai osittain jäykkiin liitoksiin. Standardin mitoitusmenetelmiä voidaan käyttää staattisesti kuormitettujen liitosten laskentaan kun teräslaji on S235, S275, S355, S420, S450 tai S460. (Hitsatut profiilit 2010, 301-303)



Kuvio 1. Liitoksen ja kiinnityksen erot (Hitsatut profiilit 2010, 301)

3.2 Ruuvikiinnitykset

Rakenneosien asennusliitokset pyritään suunnittelemaan ruuvikiinnityksinä. Ruuvien, muttereiden ja aluslaattojen tulee olla standardin EN 1993-1-8 viitestandardissa esitettyjen mukaisia. Ruuvien standardin mukaiset myötörajat on esitetty taulukossa 1, näistä lujuusluokista Suomessa käytetään yleisesti ainoastaan luokkia 8.8 ja 10.9. (Hitsatut profiilit 2010, 313)

Taulukko 1. Ruuvien lujuusluokat (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 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

Ruuvit jaetaan kiinnitysluokkiin riippuen siitä, kuormittaako liitosta leikkaus- vai vetovoima. Leikkausvoiman rasittama kiinnitys tulee suunnitella jonkin alla mainitun luokan mukaan:

- a) Kiinnitysluokka A. Reunapuristustyyppinen liitos.
- b) Kiinnitysluokka B. Käyttörajallassa liukumisen kestävä kiinnitys.
- c) Kiinnitysluokka C. Murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys.

Vetovoiman rasittamat kiinnitykset suunnitellaan jonkun alla olevan luokan mukaan:

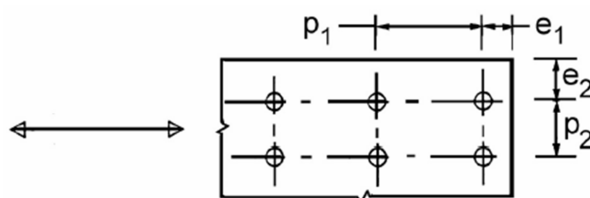
- d) Kiinnitysluokka D. Kiinnitykset, joissa käytetään esijännittämättömiä ruuveja.
- e) Kiinnitysluokka E. Kiinnitykset, joissa käytetään esijännitettäviä ruuveja.
(SFS-EN 1093-1-8, 2005, 22)

Teräsrakenteissa ruuveina käytetään kokoja M12, M16, M20, M24, M30 ja M36, myös kokoja M22 ja M27 löytyy, mutta niiden saatavuus on tarkistettava erikseen. Edellä mainittujen ruuvien reikien nimellisvälykset on esitetty taulukossa 2. (Hitsatut profiilit 2010, 314)

Taulukko 2. Nimellisivälykset ruuvien rei'ille

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

Ruuvien pienimmät ja suurimmat keskiövälit sekä reuna- ja päätyetäisyydet esitetään taulukossa 3 ja havainnollistetaan kuviossa 2. Etäisyyksien ollessa määrättyissä rajoissa saavutetaan riittävä mitoitusarvo reunapuristuskestävyydelle sekä helpotetaan asennusta. (Hitsatut profiilit 2010, 316)



Kuvio 2. Ruuvien reunaetäisyydet ja keskiövälit (Hitsatut profiilit 2010, 317)

Taulukko 3. Suositellut reunaetäisyydet ja keskiövälit (Hitsatut profiilit 2010, 319)

Ruuvi ^{a)}	Reikä ^{b)} <i>d</i> ₀ (mm)	<i>e</i> ₁ (mm)		<i>e</i> ₂ (mm)		<i>p</i> ₁ (mm)		<i>p</i> 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

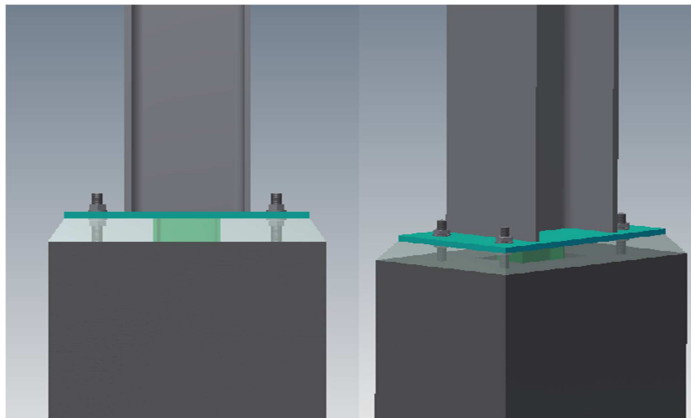
a) Sulkuihin merkittyjen kokojen saatavuus on syytä varmistaa.
b) Reikäkoot, ks. myös taulukko 3.7

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

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

4 NIVELELLINEN PILARIN PERUSTUSLIITOS

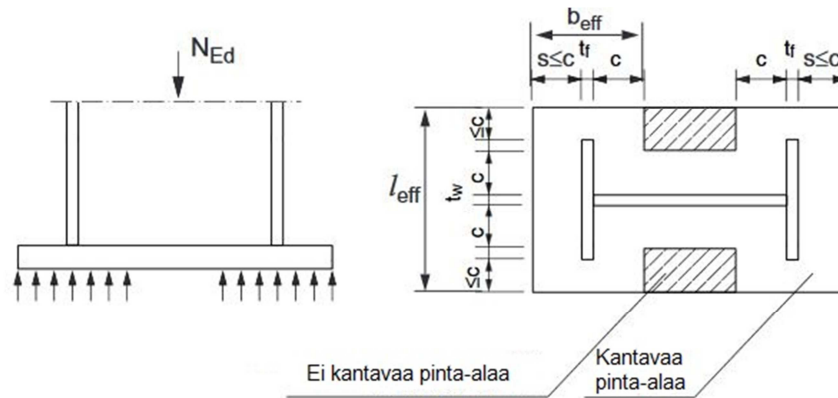
Tyypillinen perustusliitos toteutetaan hitsaamalla pohjalevy pilariin, joka kiinnitetään perustusruuveilla betoniperustukseen. Pohjalevyn ja perustuksen väliin tulee jälkivalu. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen perustusliitos. Liitos voidaan toteuttaa myös ilman jälkivalua, mutta se pitää ottaa laskennassa huomioon. Nivelellisessä liitoksessa vaikuttaa normaali- ja leikkausvoima, tällöin mitoituksessa otetaan huomioon perustuksen kestävyys normaalivoiman aiheuttamalle pintapaineelle. Pohjalevyn paksuudella voidaan helposti säädellä liitoksen kapasiteettia. Perustusruuvit valitaan vetokestävyyden, leikkauskestävyyden tai näiden yhdistetyn kestävyuden perusteella. (Hitsatut profiilit 2010, 401) Betoniperustus tulee mitoittaa EC osan 1992-1-1 mukaisesti, tässä opinnäytetyössä sitä ei käsitellä.



Kuva 1. Tyypillinen peruspulttiliitos

4.1 Pohjalevy

Normaalivoiman kuormittaessa pilaria täytyy perustuksen kestävyys tarkistaa normaalivoiman aiheuttamalle pintapaineelle. Pintapaineen oletetaan jakautuvan tasaisesti pohjalevyn alla, tämä on esitetty kuviossa 3. Pohjalevyn syntyy taivutusmomentti pintapaineesta. Taivutusmomentin suuruutta rajoitetaan liian suurien muodonmuutoksien välttämiseksi pohjalevyn kimmoteorian mukaiseen taivutuskestävyyteen, jolloin betonin pintapaineen mitoituslujuus f_{jd} määrää pohjalevyn koon seuraavanlaisesti. (Hitsatut profiilit 2010, 404)



Kuvio 3. Pohjalevyn alapuolella oleva puristettu pinta-ala (Hitsatut profiilit 2010, 406)

Perustuksen pintapaineen mitoituslujuus f_{jd} saadaan kaavoista (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 77 & SFS-EN 1092-1-1, 2015, 35, 110):

$$f_{jd} = \frac{\beta_j F_{Rdu}}{b_{eff} l_{eff}} \quad (1)$$

$$F_{Rdu} = f_{cd} A_{co} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}} \leq 3,0 f_{cd} A_{co} \quad (2)$$

$$f_{cd} = a_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (3)$$

$$A_{co} = b_{eff} l_{eff} \quad (4)$$

Kaavat 1-4 johtamalla saadaan betonin pintapaineen mitoituslujuuden f_{jd} kaava seuraavaan muotoon (Hitsatut profiilit 2010, 405):

$$f_{jd} = \beta_j k_j a_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (5)$$

$$k_j = \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}} \quad \text{mutta } k_j \leq 3,0$$

missä

β_j	on	on perustuksen liitosmateriaalia kuvaava kerroin
k_j	on	keskittymistekijä
a_{cc}	on	betonin lujuudelle käytettävä kerroin
f_{ck}	on	betonin lieriölujuuden ominaisarvo 28 vuorokauden ikäisenä
γ_c	on	betonin osavarmuusluku

Pohjalevyn alapuolella oleva puristettu pinta-ala määritetään kuvion 3 mukaisesti. Kuvassa c merkitsee kantavan pinnan ulottuman määräämittaa, joka lasketaan seuraavasti (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 76-77):

$$c = t \sqrt{\frac{f_{yp}/\gamma_{m0}}{3f_{jd}}} \quad (6)$$

Betonin pintapaineesta pohjalevyyn kohdistuva taivutus $M_{p,Ed}$:

$$M_{p,Ed} = \frac{l_{eff} s^2 f_{jd}}{2} \quad (7)$$

Pohjalevyn paksuuden määrittäminen (Hitsatut profiilit 2010, 404):

$$t \geq \sqrt{\frac{6M_{p,Ed}}{l_{eff} f_{yp} / \gamma_{m0}}} \quad (8)$$

missä

l_{eff}	on	pohjalevyn tehollinen pituus kuvion 5 mukaan
s	on	pohjalevyn ulottuma pilarin laipan ulkopuolelle, mitan c ylittävä alue jätetään huomioon ottamatta, eli $s \leq c$. Kuvion 3 mukaan.
f_{yp}	on	pohjalevyn nimellinen myötölujuus
γ_{m0}	on	kestävyyden osavarmuusluku

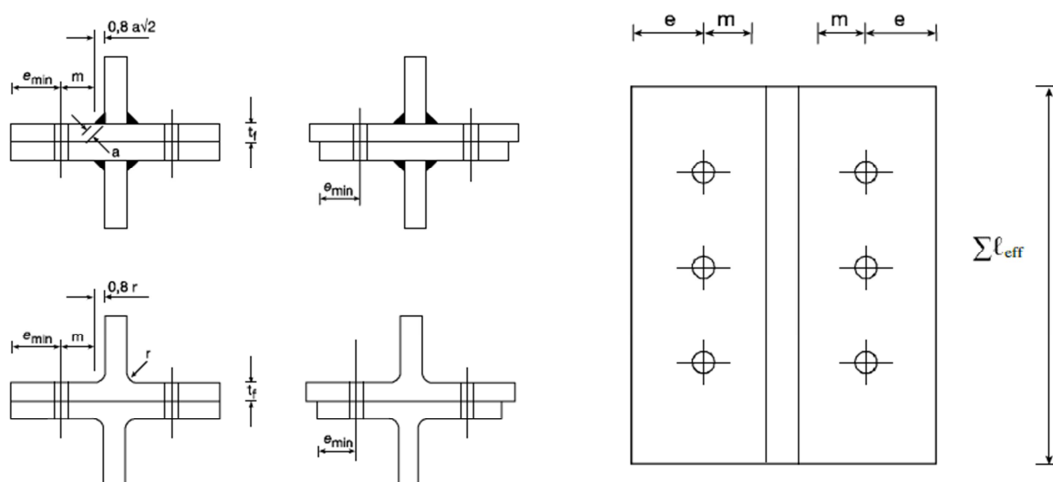
Jos peruspultteihin kohdistuu vetoa, tulee pohjalevyn ja pilarin muodostaman laippaliitoksen vetokestävyys tarkistaa ekvivalentti T-osaan perustuen. Pohjalevyä mitoittaessa mahdollisia vipuvoimia ei tarvitse ottaa huomioon. Ekvivalentti T-osan laipan mahdollisten murtumismallien voidaan olettaa olevan samanlaisia kuin niitä kuvaavien peruskomponenttien murtumismallit. T-osan murtumismallit on jaettu kolmeen malliin. Murtumismalli 1:ssä laipassa syntyy täysi mekanismi. Murtumismalli 2:ssa ruuvien murtuminen, kuin laippa samalla myötää ja murtumismalli 3:ssa ruuvien murtuminen. Vipuvoimia ei tarvitse pohjalevyssä ottaa huomioon, joten laskettaessa laipan T-osan vetokestävyuden mitoitusarvoa $F_{T,RD}$ murtumismalli 1 ja 2 lasketaan samalla kaavalla. (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 72-74)

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pL1,Rd}}{m} \quad (9)$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_f^2 f_y / Y_{M0} \quad (10)$$

missä

m	on	kuvion 4 mukainen suure
t_f	on	kuvion 4 mukainen suure
$\sum l_{eff,1}$	on	$\sum l_{eff}$:n arvo murtumismalli 1:ssä
$\sum l_{eff}$	on	Ekvivalentin T-osan tehollinen kokonaispituus valitaan siten, että sen laipan kestävyysmitoitussarvo on yhtä suuri kuin sitä kuvaavan liitoksen peruskomponentin kestävyysmitoitussarvo (Kuvio 4).
f_y	on	poikkileikkauksen myötöraja
Y_{M0}	on	poikkileikkauksen kestävyysmitoitussarvon osavarmuusluku



Kuvio 4. Ekvivalentti T-osan laipan mitat (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 73)

Murtumismalli 3 eli ruuvien murtuminen lasketaan kaavalla:

$$F_{T,3,Rd0} = \sum F_{t,Rd} \quad (11)$$

missä

$\sum F_{t,Rd}$	on	T-osan kaikkien pulttien vetokestävyyksien mitoitussarvojen $F_{t,Rd}$ summa
-----------------	----	--

T-osan vetokestävyys on pienempi edellä lasketuista arvoista. Perustusruuvien mitoitussarvo tulisi EC:n mukaan suorittaa niin että oletetaan vipuvoimia syntyvän. Vipuvoimien suuruutta voidaan arvioida, kun T-osassa vaikuttava voima voi olla enintään T-osan kestävyysmitoitussarvon $F_{T,Rd}$ suuruinen. Vetopuolella pultteja on

ainoastaan T-osan laipan toisella puolella, näin ollen näihin pultteihin kohdistuu T-osan koko voima $F_{T,Ed}$. Tästä johtuen vipuvoimien arvoksi tulee nolla, ja tästä päätellään, ettei vipuvoimia synnykään peruspulteissa. Tulos pätee yleisesti peruspulttien tapauksissa, kun pohjalevy on ensin mitoitettu olettamuksella, ettei siinä esiinny vipuvoimia. (Hitsatut profiilit 2010, 415)

Tarkistetaan vielä puristetun T-osan kestävyys $F_{C,Rd}$ (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 76):

$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{eff} l_{eff} \quad (12)$$

4.2 Peruspultit

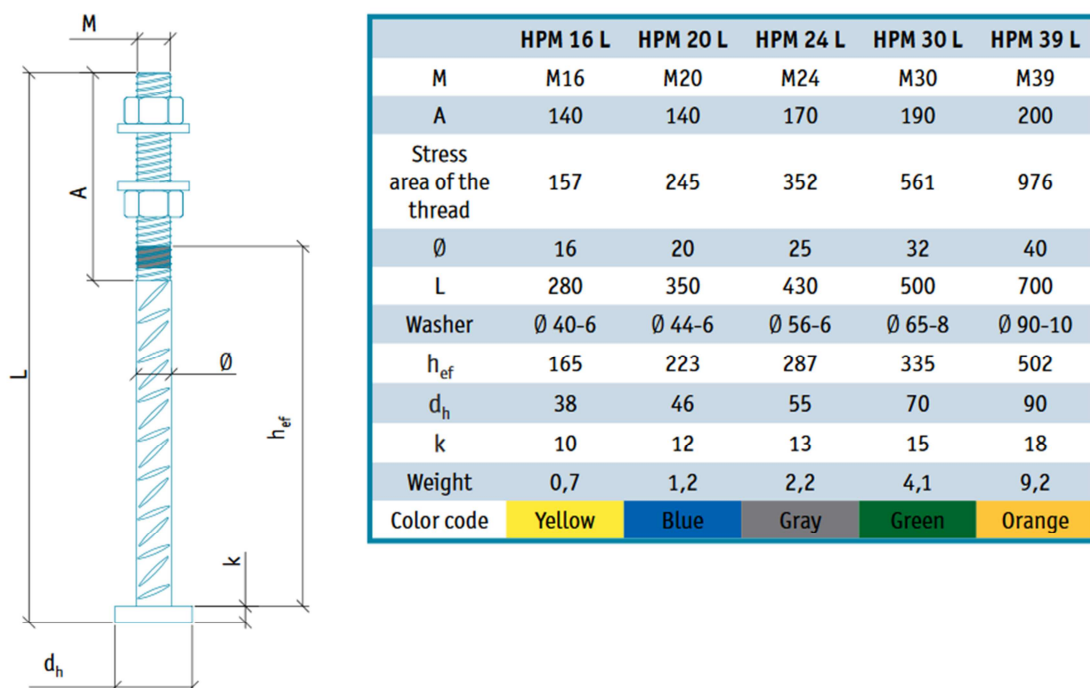
Peruspultit siirtävät veto-, puristus- ja leikkausrasituksen teräsbetoniperustukseen. Jos peruspultteihin tulee vetoa, täytyy myös pohjalevyn ja pilarin muodostaman laippaliitoksen vetokestävyys tarkistaa edellä mainittuun ekvivalentti T-osaan perustuen. Peruspulteissa vaikuttava vetovoima saadaan määritettyä tasapainoehdojen avulla. Peruspultteja on oltava vähintään neljä kappaletta, jos pilari aiotaan asentaa vapaasti seisovana. Laskentapohjia laatiessa käytän Peikon HPM L-pultteja. HPM L -pultteja löytyy koossa M16, M20, M24, M30 ja M39 (Kuvio 5). Laskentapohjat laaditaan perustusruuvien osalta alustavaksi. Perustusruuvien asennusaikainen mitoitus tulee suorittaa Peikon omalla ohjelmalla. HPM L -mallissa voimat siirretään sekä harjatangon tartunnan että tyssäankkurin kautta. Kun veto- ja leikkausvoima rasittavat pulttia yhtä aikaa, pitää voimien yhteisvaikutus tarkistaa kaavalla (HPM Rebar Anchor Bolt 2015):

$$n = \frac{V_d}{V_{Rd} \left(1 - \frac{N_d}{N_{Rd}}\right)} \quad (13)$$

missä

V_d	on	leikkausvoiman laskenta-arvo
V_{Rd}	on	leikkausvoiman laskentakapasiteetti
N_d	on	vetovoiman laskenta-arvo
N_{Rd}	on	leikkausvoiman laskentakapasiteetti

Yhteisvaikutusta ei yleensä tarvitse tarkistaa erikseen, betonivalun määräämästä leikkauskestävyydestä johtuen leikkausvoima jää hyvin alhaiseksi verrattuna ruuvin leikkauskestävyyteen. Peruspulttien keskiöetäisyyksien tulee toteuttaa valmistajan ilmoittamat minimietäisyysvaatimukset (HPM Rebar Anchor Bolt 2015).



Kuvio 5. HPM –pulttien mitat (HPM Rebar Anchor Bolt 2015)

4.3 Leikkauspala

Jos liitokselle tulee suuri leikkausvoima voidaan, leikkausvoimien siirtämisenä käyttää esimerkiksi pohjalevyn alapuolelle hitsattua profiilia, eli leikkauspala, joka on esitetty kuvassa 2. Leikkauspala voidaan mitoittaa kantamaan leikkausvoima, joko yhdessä suunnassa tai molemmissa suunnissa pääakselin suhteen. Jos leikkauspala käytetään, voidaan peruspultit mitoittaa vain vedolle ja asennusaikaiselle puristukselle. Tässä työssä päädyttiin leikkauspaloina käyttämään IPE –profiileja, myöhemmin laskentapohjaan voidaan tarpeen mukaan lisätä profiileja. Jos leikkausvoima on molempiin suuntiin merkittävä, käytetään leikkauspalana yleensä hitsattuja profiileja (Rakenneputket 2012, 248-249). Leikkausvoiman mitoitusarvon V_{Ed} tulee täyttää ehto (SFS-EN 1093-1-1. 2005, 54):

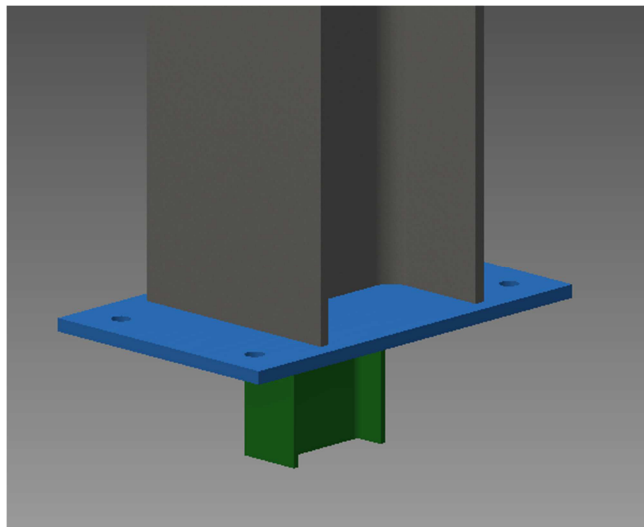
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (14)$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (15)$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \quad (16)$$

missä

$V_{pl,Rd}$	on	plastisuusteorian mukainen leikkauskestävyyden mitoitusarvo
A_v	on	leikkauspinta-ala valssatuille I- ja H- profiileille, joissa kuormitus uuman suuntainen. Oltava kuitenkin vähintään $nh_w t_w$
n	on	kansallisessa liitteessä määritelty kerroin, Suomessa käytetään 1,2
h_w	on	uuman korkeus

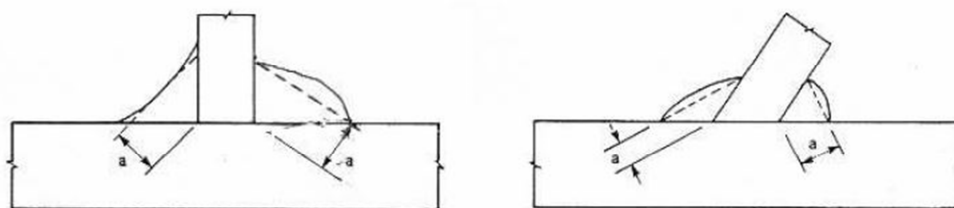


Kuva 2. Leikkauspala pohjalevyn alapuolella

4.4 Hitsien mitoitus

Liitospintojen muodostaman kulman ollessa 60-120° voidaan osien kiinnitykseen käyttää pienahitsejä. Alle 60°:n kulmat ovat myös sallittuja, mutta tällöin hitsiä tarkistellaan osittain läpihitsattuna päittäishitsinä. Pienahitsin efektiivinen a-mitta on suurimman kolmion korkeus, joka voi olla joko tasakylkinen

tai erikylkinen. Kolmio voidaan piirtää hitsin kylkien ja hitsin pinnan sisään mitattuna kohtisuorassa suunnassa kyseisen kolmion uloimpaan pintaan nähden. Kuviossa 6 on esitetty pienahitsin efektiivinen a-mitta. Tasakylkisiä pienahitsejä pyritään yleisesti käyttämään. Voimia siirtävän pienahitsin efektiiviseksi a-mitaksi valitaan aina vähintään 3 mm. Pienahitsin kestävyys laskentaan käytetään, joko yksinkertaistettua menetelmää tai komponenttimenetelmää (Hitsatut profiilit 2010, 343-344).



Kuvio 6. Efektiivinen a-mitta (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 45)

Komponenttimenetelmä

Komponenttimenetelmässä hitsin yksikköpituuden siirtämät voimat jaetaan hitsin pituussuuntaisen akselin suhteen yhdensuuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuoriin komponentteihin sekä hitsin laskentapinnan suuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuorassa oleviin komponentteihin. Hitsin pinta-alan mitoitusarvona käytetään (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 46):

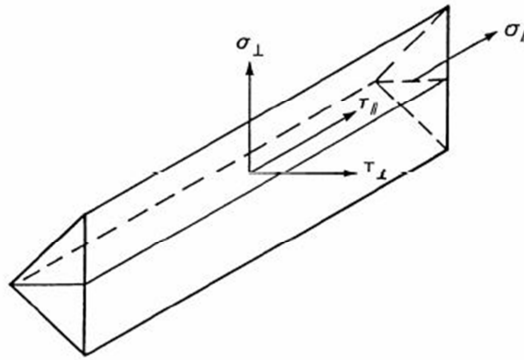
$$A_w = \sum a l_{eff} \quad (17)$$

missä

a on pienahitsin efektiivinen a-mitta

l_{eff} on pienahitsin tehollinen pituus

Hitsin pinta-alan mitoitusarvon oletetaan sijaitsevan hitsin juuressa. Hitsin laskentapinnalla jännitykset jaetaan komponentteihin ja kunkin komponentin oletetaan jakaantuvan hitsin laskentapinnalla tasaisesti. Jännityksen jaetaan seuraaviin komponentteihin, jotka on esitetty kuviossa 7:



Kuvio 7. Pienahitsien laskentapintojen jännitykset (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 46)

σ_{\perp}	on	laskentapintaa vastaan kohtisuora normaalijännitys, ei oteta huomioon laskettaessa hitsin kestävyyttä
σ_{\parallel}	on	hitsin akselin suuntainen normaalijännitys
τ_{\perp}	on	hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys, laskentapinnan tasossa
τ_{\parallel}	on	hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys, laskentapinnan tasossa

Jos molemmat seuraavista ehdoista täyttyvät, on pienahitsin kestävyys riittävä (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 46):

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{B_w Y_{M2}} \quad (18)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{Y_{M2}} \quad (19)$$

missä

f_u	on	heikomman liitettävän osan nimellislujuus
B_w	on	lujuuskerroin
Y_{M2}	on	kestävyyden osavarmuusluku

Kun hitsataan kahta eri lujuusluokan terästä, hitsien mitoituksessa käytetään alemman lujuusluokan teräksen arvoja. T-liitoksena toisiinsa liitettäviä levyjä ja jos liitettävään levyyn kohdistuu ainoastaan suoraa vetoa tai puristusta voidaan kaksipuolisen symmetrisen pienahitsin kestävyys $F_{2w,Rd}$ laskea kaavaan 18 perustuen:

$$F_{2w,Rd} = \frac{\sqrt{2}}{B_w} * \frac{f_u}{\gamma_{M2}} * ab \quad (20)$$

missä

b on levyn hitsattu leveys

Edellä mainittuun kaavaan (Kaava 20) perustuen voidaan määrittää tarvittava a-mitta varmalla puolella yksinkertaistaen, kun oletetaan vetävä voima, joka kohdistuu liitettävään levyyn pituusyksikköä kohti, kyseisen levyn plastisen vetokestävyyden suuruiseksi, eli f_y/γ_{M0} . Näin ollen a-mitalle saadaan kaava (Hitsatut profiilit 2010, 350):

$$a = \frac{B_w}{\sqrt{2}} * \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} * \frac{f_y}{f_u} * t \quad (21)$$

Yksinkertaistettu menetelmä

Kun käytetään yksinkertaistettua menetelmää, pienahitsin kestävyys voidaan olettaa riittäväksi, jos hitsin jokaisessa pisteessä sen pituudella hitsiin kohdistuva kaikkien voimien resultantti yksikköpituutta kohti täyttää ehdon (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 47):

$$F_{w,Ed} = F_{w,Rd} \quad (22)$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad (23)$$

missä

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

$F_{w,Rd}$ on hitsin kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti

$f_{vw,d}$ on hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo

Yksinkertaistetussa menetelmässä hitsiin kohdistuvien voimien resultantin oletetaan aiheuttavan hitsin laskentapoikkipintaan aina pelkkää leikkausta riippumatta voimaresultantin ja hitsin todellisesta suunnasta. Komponenttimenetelmän mitoitus ehdosta (Kaava 18) saadaan näin ollen johdettua hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvolle kaava (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 47):

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{B_w \gamma_{M2}} \quad (24)$$

Kaavaan 24 perustuen voidaan määrittää tarvittava a-mitta symmetriselle kaksipuoliselle pienahitsille. Oletetaan liitettävään levyyn pituusyksikköä kohti kohdistuva voima kyseisen levyn plastisen vetokestävyyden suuruiseksi, eli $t f_y / \gamma_{M0}$. Näin ollen a-mitalle saadaan seuraavanlainen kaava (Hitsatut profiilit 2010, 354):

$$a \geq \frac{\sqrt{3B_w}}{2} * \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} * \frac{f_y}{f_u} * t \quad (25)$$

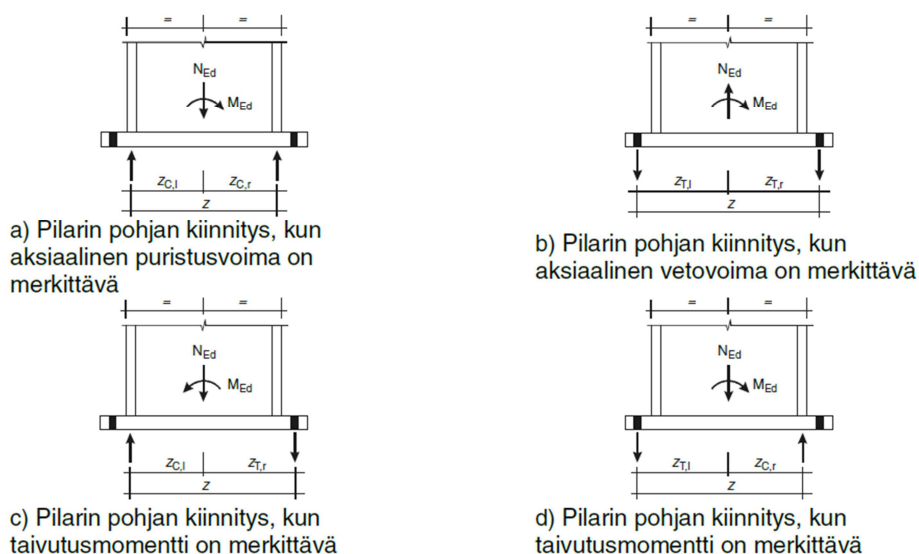
Lamellirepeily

Jos levyyn kohdistuu pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa vetojännitystä, voi siinä tapahtua lamellirepeilyä. Vetojännityksen voi aiheuttaa esimerkiksi valmistuksessa hitsauksesta aiheutuva kutistumisjännitys tai liitokseen kohdistuva ulkoinen kuormitus.

Materiaalin paksuussuuntaiset ominaisuudet, liitoksen rakenne ja muotoilu sekä hitsauksen suoritus voivat vaikuttaa lamellirepeilyalttiuteen. Käytettäessä täysin läpihitsattuja hitsejä tai ristitliitoksissa ja T- tai nurkkaliitoksissa lamellirepeilyn riski kasvaa. Lamellirepeilyä voidaan estää vaatimalla materiaalilta riittävä Z-arvo, tämä koskee kuitenkin vain teräksiä joiden ainepaksuus on suurempi kuin 15mm. (Hitsatut profiilit 2010, 470-473)

5 JÄYKKÄ PILARIN PERUSTUSLIITOS

Jäykässä perustusliitoksessa vaikuttaa normaali- ja leikkausvoiman lisäksi myös taivutusmomentti. Normaalivoiman ja taivutusmomentin suhteesta riippuen pohjalevy voi olla kokonaan vedossa tai puristuksessa. Jos taivutusmomentti on merkittävä voi liitoksen toinen puoli olla vedossa ja toinen puoli puristuksessa. Kuviossa 8 esitetään erilaiset kuormitusyhdistelmät.

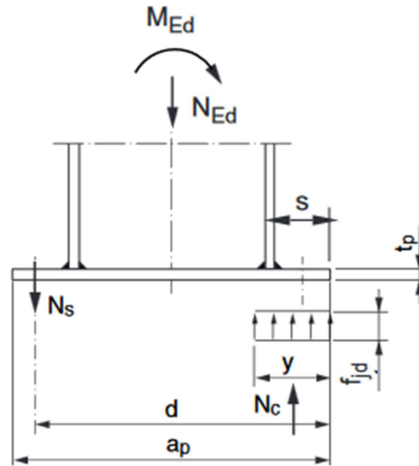


Kuvio 8. Perustusliitoksen erilaiset kuormitusyhdistelmät, sekä momenttivarren z määrittäminen (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 98)

Hitsit mitoitetaan kuten osassa 4.4. Laipan ja uuman hitsit mitoitetaan erikseen, kummassakin laskennassa voidaan käyttää kaksoispienahitsiä. Laipan hitsejä kuormittaa nyt normaalivoiman lisäksi myös taivutusmomentti, joka pitää ottaa huomioon jännityksiä laskiessa. Uuman hitsejä laskiessa pitää normaalivoiman ja taivutusmomentin lisäksi ottaa myös leikkausvoima huomioon.

5.1 Pohjalevyn mitoitus

Jäykässä perustusliitoksessa määritetään pohjalevyn paksuus puristus ja vetopuolella samalla tavalla kuin osassa 4.1. Näiden lisäksi tulee laskea myös betonin puristuspuolelta korkeus y , joka on esitetty kuviossa 9.



Kuvio 9. Puristettu ja taivutettu pohjalevy (Hitsatut profiilit 2010, 407)

Kuviosta 9:n saadaan tasapainoehdot, kun kyseessä on liitos, missä I-profiili sijaitsee pohjalevyssä keskeisesti.

$$N_{Ed} = N_c - N_s = l_{eff} y f_{jd} - A_s f_{yd} \quad (26)$$

$$M_{Ed} + N_{Ed} [0,5a_p - (a_p - d)] = N_c (d - 0,5y) \quad (27)$$

Kaavasta 27 voidaan ratkaista betonin puristuspuolelta korkeus y (Hitsatut profiilit 2010, 407):

$$y = \frac{l_{eff} f_{jd} d \pm \sqrt{(-l_{eff} f_{jd} d)^2 - 2l_{eff} f_{jd} [M_{Ed} + N_{Ed} (d - 0,5a_p)]}}{l_{eff} f_{jd}} \quad (28)$$

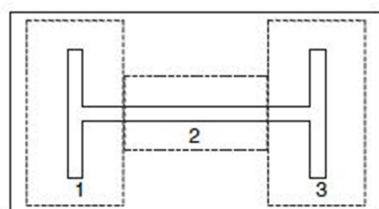
Peruspultit kohdan 4.2 mukaan. Voimat puristus- ja vetopuolelle saadaan tasapainoehdosta (Kuvio 9):

$$N_c = l_{eff} y f_{jd} \quad (29)$$

$$N_s = N_c - N_{Ed} \quad (30)$$

5.2 Pohjalevyliitoksen taivutuskestävyys

Kun pohjalevyä rasittaa aksiaalivoiman lisäksi taivutusmomentti, tulee pohjalevyn taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ määrittää. Kuviossa 10 oleva pilarin uuman alla oleva betonin osuus eli T-osa 2 jätetään huomioon ottamatta määriteltäessä puristuskestävyyttä.



1 T-osa 1
2 T-osa 2
3 T-osa 3

Kuvio 10. Ei-limittyvät T-osat (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 98)

Kuormitustapauksesta riippuen taivutuskestävyyden mitoitusarvona $M_{j,Rd}$ käytetään jotakin taulukossa 4. määritettyä laskentaehto.

Liitoksen vasemmanpuoleisen osan vetokestävyyden mitoitusarvo $F_{T,1,Rd}$ valitaan yhtä suureksi kuin pienempi seuraavista mitoitusarvoista:

- Pilarin vedetty uuma pilarin vasemmanpuoleisen laipan kohdalla $F_{t,wc,Rd}$
- Pohjalevyn taivutus pilarin vasemmanpuoleisen laipan kohdalla $F_{t,pl,Rd}$

Liitoksen oikeanpuoleisen osan vetokestävyyden mitoitusarvo $F_{T,r,Rd}$ valitaan yhtä suureksi kuin pienempi seuraavista mitoitusarvoista:

- Pilarin vedetty uuma pilarin oikeanpuoleisen laipan kohdalla $F_{t,wc,Rd}$
- Pohjalevyn taivutus pilarin oikeanpuoleisen laipan kohdalla $F_{t,pl,Rd}$

Liitoksen vasemmanpuoleisen osan puristuskestävyyden mitoitusarvo $F_{C,l,Rd}$ valitaan yhtä suureksikuin pienempi seuraavista mitoitusarvoista:

- Betonin puristus pilarin vasemmanpuoleisen laipan kohdalla $F_{c,pl,Rd}$
- Pilarin vasemmanpuoleisen laipan ja uuman puristus $F_{c,fc,Rd}$

Liitoksen oikeanpuoleisen osan puristuskestävyyden mitoitusarvo $F_{C,r,Rd}$ valitaan yhtä suureksi kuin pienempi seuraavista mitoitusarvoista:

- Betonin puristus pilarin oikeanpuoleisen laipan kohdalla $F_{c,pl,Rd}$
- Pilarin oikeanpuoleisen laipan ja uuman puristus $F_{c,fc,Rd}$ (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 98-99)

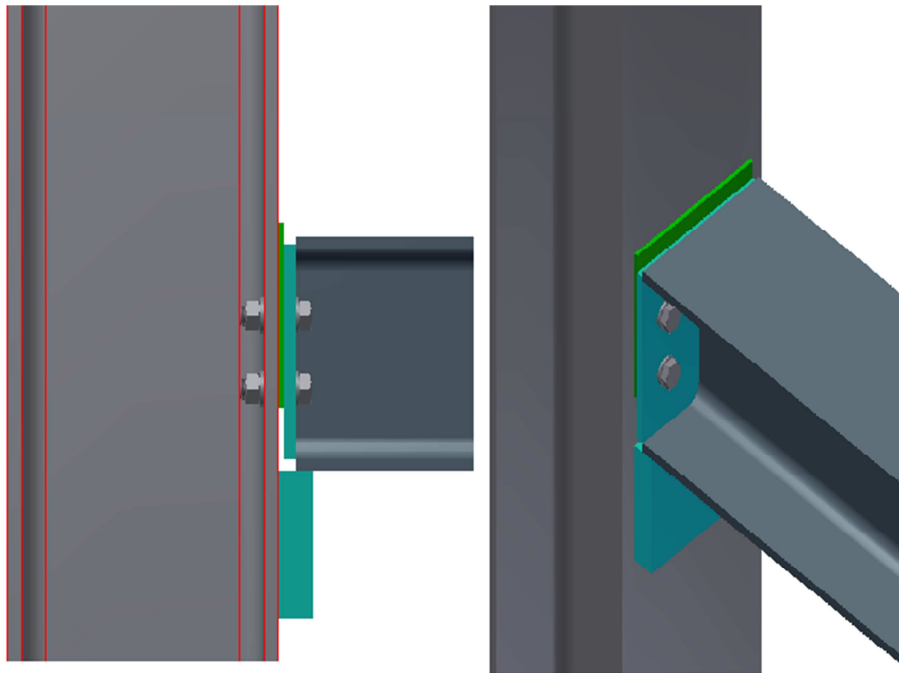
Suureiden $z_{T,l}$, $z_{C,l}$, $z_{T,r}$ ja $z_{C,r}$ määrittäminen Kuvion 8:n mukaan.

Taulukko 4. Pilarin pohjalevyn taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 99)

Kuormitus	Momenttivarsi z	Taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$	
Vasen puoli on vedetty Oikea puoli on puristettu	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ ja $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ ja $e \leq -z_{C,r}$
		Pienempi arvoista $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{C,r} / e + 1}$ ja $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{T,l} / e - 1}$	
Vasen puoli on vedetty Oikea puoli on vedetty	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ ja $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ ja $-z_{T,r} < e \leq 0$
		Pienempi arvoista $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r} / e + 1}$ ja $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{T,l} / e - 1}$ ja $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r} / e + 1}$ ja $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,l} / e - 1}$	
Vasen puoli on puristettu Oikea puoli on vedetty	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ ja $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ ja $e > z_{C,l}$
		Pienempi arvoista $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{T,r} / e + 1}$ ja $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{C,l} / e - 1}$	
Vasen puoli on puristettu Oikea puoli on puristettu	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ ja $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ ja $-z_{C,r} < e \leq 0$
		Pienempi arvoista $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r} / e + 1}$ ja $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l} / e - 1}$ ja $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r} / e + 1}$ ja $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l} / e - 1}$	
$M_{Ed} > 0$ myötöpäivään, $N_{Ed} > 0$ vedossa.			
$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$			

6 PÄÄTYLEVY NIVELELLINEN

Päätylevy liitoksena käsitellään palkki-pilariliitosta. Palkin päähän hitsataan päätylevy. Liitoksessa käytetään pilarin ja päätylevyn välissä asennuslevyä, jonka $t=5\text{mm}$. Pilariin hitsataan konsolilevy, jonka päällä palkin pää lepää. Kuvassa 3 esitetään kyseinen päätylevyluotos. Konsolilevy kantaa yksinään palkilta tulevan leikkausvoiman, näin ollen ruuvit mitoitetaan ainoastaan vedolle. (Kinnunen, Saarinen, Tiira, Ulvinen & Väänänen 1995, 134-135)



Kuva 3. Palkki-pilari päätylevyluotos nivelellinen

Päätylevy hitsataan palkkiin kaksipuolisilla pienahitseillä. Päätylevyn kantaviksi hitseiksi oletetaan päätylevyn ja palkin uuman välistä hitsiä. Hitsin a -mitta saadaan komponenttimenetelmällä, joka on esitelty kohdassa 4.4.

6.1 Päätylevyn mitoitus

Ensimmäisenä määritetään, ettei päätylevyn ja pilarikonsolin välinen tukireaktio muodostu liian suureksi. Materiaalin myötämiseen perustuva ehto tulee täyttyä (Hitsatut profiilit 2010, 387):

$$t_p \geq \frac{V_{Ed}}{b_p f_y / \gamma_{M0}} \quad (31)$$

Valitaan päätylevyn paksuus siten, ettei lommahdusta pääse tapahtumaan. Minimipaksuus saadaan kaavasta (SFS-EN 1093-1-5, 2006, 18):

$$\lambda_p = \frac{b/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad (32)$$

$$t_p \geq \frac{b}{21,24\epsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad (33)$$

Kaavassa 33 b on vain toiselta voiman suuntaiselta reunalta tuetun levykentän leveys. Päätylevyn ollessa I-profiilin keskellä jätetään profiilin uuman paksuus huomioon ottamatta. Uuman paksuuden jättäminen pois on varmalla puolella oleva yksinkertaistus. Saadaan seuraava ehto: (Hitsatut profiilit 2010, 387)

$$t_p \geq \frac{b_p}{42,48\epsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad (34)$$

missä

b_p	on	päätylevyn leveys
ϵ	on	$\sqrt{235/f_y}$
k_σ	on	lommahduskerroin
λ_p	on	0,748 muunnettu hoikkuus

6.2 Ruuvit

Ruuvit mitoitetaan ainoastaan vedolle, koska konsolilevy kantaa leikkauskuormituksen. Jos konsolilevyä ei ole, tulee pultit mitoittaa yhdistetylle leikkaukselle ja vedolle. Yksittäisen ruuvin vetokestävyys saadaan kaavalla (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 28):

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (35)$$

missä

k_2	on	0,9 (uppokantaiset ruuvit 0,63)
f_{ub}	on	ruuvin vetomurtolujuus
A_s	on	ruuvin jännityspinta-ala

Asennuslevy muotoillaan siten, että palkin pää pääsee kiertymään mahdollisimman vapaasti.

6.3 Konsolilevy

Konsolilevyn leveydeksi valitaan sama kuin palkin päätylevyn leveydeksi. Normaalisti konsolilevyn paksuus on 30-50mm. Pystysuuntaiset hitsit valitaan kantaviksi. Kantavien hitsien perusteella saadaan levyn tarvittava korkeus määriteltyä. Konsolilevyn yläpinnan on oltava tasainen, jotta pilarin pää pääsee makaamaan sen päällä. Valitaan tästä johtuen hitseiksi puoli V-hitsit, joiden a-mitta on vähintään 4mm. Kaavasta 36 johtamalla saadaan konsolin korkeudelle seuraava ehto: (Hitsatut profiilit 2010, 389)

$$a \geq \frac{V_{Ed}}{2h} * \frac{B_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{3}} \quad (36)$$

$$h_k \geq \frac{V_{Ed}}{2a} * \frac{B_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{3}} \quad (37)$$

Hitsauksessa saatetaan joutua käyttämään esilämmitystä, johtuen a-mitan pienuudesta suhteessa konsolin paksuuteen. Konsolin tarvittava korkeus laskettiin siis valitsemalla kantavien hitsien a-mitta ja hitsin pituuden määräämänä saadaan konsolilevyn korkeus. Käytännössä vaakasuuntaisetkin hitsit osallistuvat kuorman kantamiseen, mikä tuo lisävarmuutta liitokselle. (Hitsatut profiilit 2010, 389)

6.4 Pilarin ja palkin leikkauskapasiteetti

Liitoksessa tulee tarkistaa pilarin ja palkin leikkauskestävyys. Palkin poikkileikkauksen leikkauskestävyys lasketaan kohdan 4.3 mukaan. Plastisuusteorian mukainen leikkauskestävyyden mitoitusarvo $V_{wp,Rd}$ pilarin uumalle saadaan kaavalla: (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 77)

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (38)$$

missä

A_{vc} on pilarin leikkauspinta-ala, katso kohta 4.3

7 PÄÄTYLEVY JÄYKKÄ

Jäykkä päätylevyliitos eroaa nivelellisestä liitoksesta siinä, että sitä rasittaa myös taivutusmomentti. Pilariin hitsataan jäykisteet palkin kummankin laipan kohdalle pilarin kestävyyden parantamiseksi. Kuvassa 4 esitetään päätylevyliitos, jossa pilariin on hitsattu jäykisteet.



Kuva 4. Pilari-palkki päätylevyliitos jäykkä

Ruuvien, hitsien ja konsolilevyn mitoitus tapahtuu samoin kuin nivelellisessä päätylevyssä.

7.1 Päätylevyn mitoitus

Päätylevyn paksuus mitoitetaan, niin ettei lommahdusta tapahtu. Kaavalla 33 saadaan päätylevyn minimipaksuus.

Pilarin laipan ja päätylevyn taivutusta laskiessa tulee näitä ensin tarkistella erillisinä ekvivalentti T-osina. Liitoksessa tulee tarkistaa kaikki kolme murtumismallia. Ensimmäinen murtumismalli eli täyden mekanismin syntyminen laipassa: (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 74)

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,Rd}}{m} \quad (39)$$

missä

$M_{pl,Rd}$ on kaava 10

m on kuvion 4 mukainen suure

Laipan T-osan kestävyden mitoitusarvo murtumismalli 2:ssa eli ruuvien murtumisessa, kuin laippa samalla myötää saadaan kaavalla (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 74):

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n} \quad (40)$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0} \quad (41)$$

missä

$\sum F_{t,Rd}$ on kaikkien T-osalla sijaitsevien ruuvien vetokestävyysien mitoitusarvojen $F_{t,Rd}$ summa
 n on e_{min} mutta $\leq 1,25m$ (kuva 4)

Murtumismalli 3 eli ruuvien murtuminen kaavan 11 mukaan.

Murtumismalleista saatu pienin tulos valitaan päätylevyn T-osan kestävyudeksi. Jokainen vetoa siirtävä ruuvirivi tai ruuvirivi ryhmä tarkistellaan T-osan kestävyden määrittämiseksi. Jos liitoksessa käytetään jäykisteitä, tulee jäykisteen molemminpuolin olevat ruuvirit tarkistaa erillisinä T-osina. (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 74-75) Taulukossa 5 on määritelty tehollisten leveyksien laskentakaavat.

Taulukko 5. Päätylevyn teholliset leveydet (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 87)

Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $l_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $l_{eff,nc}$	Pyöreä myötökuvio $l_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $l_{eff,nc}$
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:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ mutta $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ mutta $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Murtumismalli 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

Pilarin laipan taivutuskestävyys tulee tarkistaa laskemalla jokaisen vedetyn ruuvirivin kestävyys. Pilarin laipan T-osa tulee tarkistaa kaikille murtumismalleille kohdan 7.1 mukaan. Taulukossa 6 on määritelty tehollisten leveyksien laskentakaavat.

Taulukko 6. Jäykistetyin pilarin laipan teholliset leveydet (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 85)

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 reunimainen 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 6.11.				

7.2 Pilarin ja palkin tarkastelu

Palkin leikkauskestävyyden mitoitus kohdan 4.3 mukaan. Pilarin leikkauskapasiteetissa tulee ottaa huomioon jäykisteet, jotka lisäävät sen leikkauskestävyyttä. Poikittaiset jäykisteet hitsataan palkin laippojen kohdille. Pilarin leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kuten kohdassa 6.5. Jäykisteillä saatava lisäys leikkauskestävyyteen saadaan kaavalla (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 77-78):

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \quad (42)$$

Lisäys ei kuitenkaan saa ylittää arvoa:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s} \quad (43)$$

missä		
d_s	on	jäykisteiden keskilinjojen etäisyys
$M_{pl,fc,Rd}$	on	pilarin laipan plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo
$M_{pl,st,Rd}$	on	jäykisteen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo

Pilarin uuman vetokestävyys

Kun pilarin uumaan kohdistuu vetoa, tulee uuman vetokestävyys tarkastaa kaavalla (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 82):

$$\frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (44)$$

missä		
ω	on	pienennystekijä, huomioi leikkausjännitysten vaikutukset pilarin uumassa
$b_{eff,t,wc}$	on	uuman tehollinen leveys
t_{wc}	on	pilarin uuman paksuus
$f_{y,wc}$	on	pilarin myötöraja

Palkin puristettu laippa ja uuma

Palkin laipan ja sen viereisen uuman puristuskestävyyden resultantin oletetaan vaikuttavan puristuskeskiössä. Laipan ja uuman osan yhdistetty puristuskestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavasta (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 89):

$$F_{c,fb,,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb}) \quad (45)$$

missä		
$M_{c,Rd}$	on	palkin poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo
h	on	palkin korkeus
t_{fb}	on	palkin laipan paksuus

Palkin vedetty uuma

Päätylevyliitoksen ollessa ruuvikiinnityksellä saadaan palkin uuman vetokestävyyden mitoitusarvo kaavasta:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} \quad (46)$$

missä

$b_{eff,t,wb}$ on palkin uuman tehollinen leveys

t_{wb} on palkin uuman paksuus

$f_{y,wb}$ on palkin uuman myötöraja

Palkin uuman tehollinen leveys $b_{eff,t,wb}$ saadaan kohdan 7.1 mukaan, jossa valittiin T-osan tehollinen leveys päätylevyn taivutuksen perusteella.

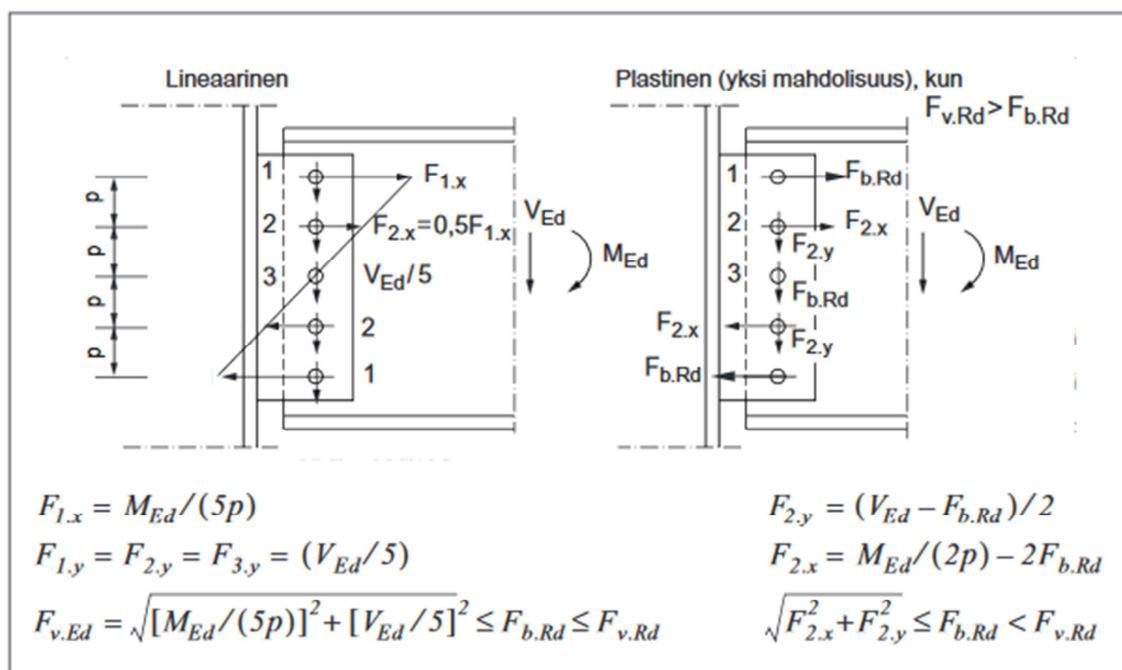
7.3 Jäykisteiden kestävyys

Pilarin laippojen välissä voidaan käyttää poikittaisia tai diagonaalisia jäykistelevyjä, niillä saadaan lisättyä pilarin kestävyyttä. Poikittaiset jäykisteet asennetaan pilariin liittyvän palkin laippojen korkoon. Puristuspuolella olevien jäykisteiden puristuskestävyys saadaan kaavalla (SFS-EN 1093-1-1, 2005, 53):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (47)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (48)$$

reunimmaisiet ruuvit ovat rasitetuimpia. Plastisuusteorian mukaisessa voimien jakautumisessa jokainen jakaantuma, joka on realistinen ja tasapainossa liitokseen kohdistuvien voimien kanssa on hyväksyttävä. Edellyttäen kuitenkin komponenttien kestävyysden olevan riittävä.



Kuva 11. Voimien jakautuminen ruuveille (Hitsatut profiilit 2010, 323)

Kimmoiteorian mukaista jakaumaa tulee käyttää liitoksessa, jos ruuvin leikkauskestävyyden mitoitusarvo on pienempi kuin reunapuristuksen mitoitusarvo (Teräsrakenneyhdistys 2010, 93). Yksittäisen ruuvin leikkauskestävyys saadaan kaavalla (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 28):

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (49)$$

missä

- a_v on lujuusluokille 4.6, 5.6 ja 8.8 käytetään arvoa 0,6
lujuusluokille 4.8, 5.8, 6.8 ja 10.9 arvoa 0,5
- f_{ub} on ruuvin vetomurtolujuus
- A_s on ruuvin jännityspinta-ala, kun ruuvin kierteet ovat leikkaustasossa

Ruuviryhmän leikkauskestävyys saadaan kertomalla yksittäisen ruuvin leikkauskestävyys ruuvien lukumäärällä.

8.2 Reunapuristuskestävyys

Sekundääriripalkin sekä kiinnityslevyn osalta liitoksen reunapuristuskestävyys tarkistetaan yhdelle ruuville kaavalla (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 28):

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (50)$$

missä

f_u	on	levyn nimellismurtolujuus
d	on	ruuvin nimellishalkaisija
t	on	levyn paksuus

Kaavassa tarvittavat tekijät k_1 ja a_b riippuvat ruuvien sijainnista. Ruuvien reunaetäisyyksien ja keskiövälien tunnuksien esitetty kuvassa 2. Voiman suunnassa a_b levyn pään ruuveille (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 28):

$$a_b = \min\left(1,0 ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; \frac{e_1}{3d_0}\right) \quad (51)$$

Voiman suunnassa a_b sisemmille ruuveille:

$$a_b = \min\left[1,0 ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; \left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right)\right] \quad (52)$$

Voimaa vastaan kohtisuorassa k_1 reunarivin ruuveille:

$$k_1 = \min\left[2,5 ; \left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right) ; \left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7\right)\right] \quad (53)$$

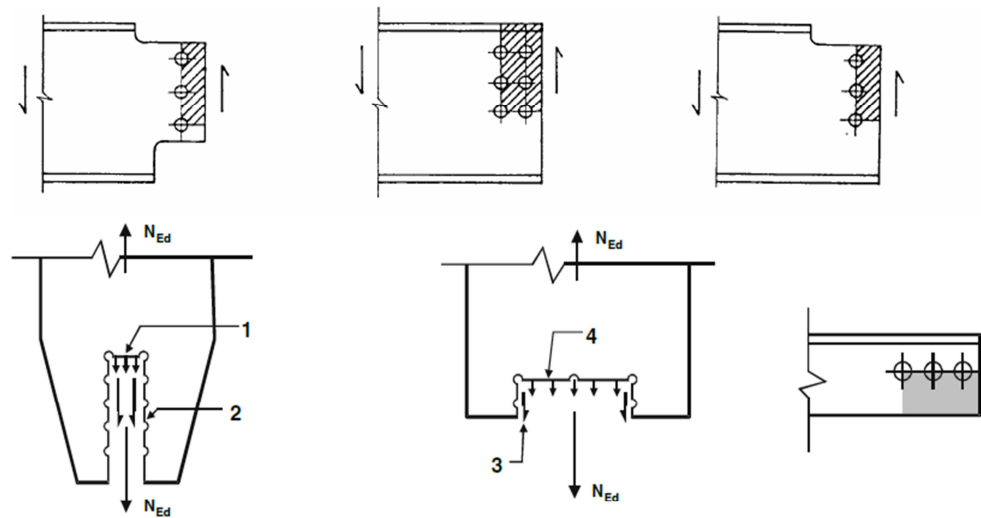
Voimaa vastaan kohtisuorassa k_1 sisemmille ruuveille:

$$k_1 = \min\left[2,5 ; \left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7\right)\right] \quad (54)$$

8.3 Palamurtumiskestävyys

Sekundääriripalkin ja kiinnityslevyn palamurtuminen tulee tarkistaa. Ruuviryhmä voi murtua profiilin päässä, jolloin kyseessä on palamurtuminen (Kuvio 12). Palamurtumisessa tarkistellaan samanaikaisesti sekä leikkauspinnan että vedetyn pinnan murtumista. Murtuminen tapahtuu ruuvien keskilinjoja pitkin.

Palamurtuminen voi olla mitoittavana tekijänä kun käytetään korkeita teräslujuuksia tai ruuvien pieniä reunaetäisyyksiä. (Hitsatut profiilit 2010, 340)



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

Kuvio 12. Palamurtuminen (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 35)

Ruuviryhmän ollessa symmetrinen ja siihen kohdistuu keskeinen kuorma voidaan palamurtumisen mitoitusarvon laskentaan käyttää seuraavaa kaavaa (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 34):

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} \quad (55)$$

Kuormituksen ollessa epäkeskeinen (SFS-EN 1093-1-8, 2005, 34):

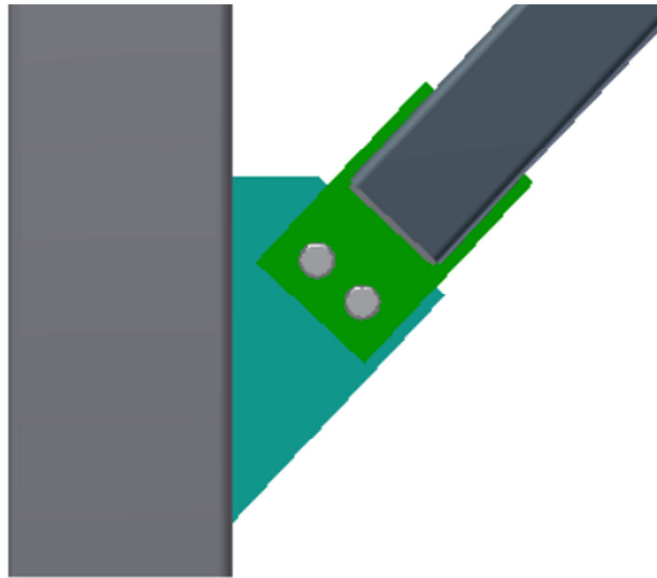
$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} \quad (56)$$

missä

f_u	on	tarkasteltavan osan nimellinen murtolujuus
f_y	on	tarkasteltavan osan nimellinen myötölujuus
A_{nt}	on	vedon kuormittama nettopinta-ala
A_{nv}	on	leikkauksen kuormittama nettopinta-ala

9 VINOSIDELIITOS PILARIIN

Vinositeet toimivat rakenteissa jäykisteinä. Liitoksessa vinoside kiinnitetään ruuviliitoksella pilariin. Pilariin hitsataan kiinnityslevy, joka muotoillaan samansuuntaiseksi kuin vinoside (Kuva 6). Vinositeen putkiprofiili leikataan niin että, levy voidaan upottaa ja hitsata siihen.



Kuva 6. Vinosideliitos pilariin

Liitoksessa ruuvit mitoitetaan 8.1 kohdan mukaan, eli ruuvien leikkauskestävyyden. Kohdat 8.2 ja 8.3 eli palamurtuminen- ja reunapuristuskestävyys tulee myös tarkastaa.

9.1 Perusaineen kestävyys

Liitoksessa tulee tarkastella perusaineen kestävyttä levyissä, sekä vinositeen putkiprofiilissa, näin varmistetaan että valittu poikkileikkaus itsessään kestää liitoksessa vaikuttavan voiman. Perusaineen kestävyys vedolle tai puristukselle tarkastetaan kohdan 7.3 mukaan. Perusaineen kestävyys tulee tarkastaa erikseen levyissä ruuvien kohdalla ja vinositeessä loveuksen kohdalla kaavalla (Rakenneputket 2012, 458):

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9A_{net}f_u}{Y_{M2}}$$

missä

A_{net} on Nettoleikkauksen pinta-ala

9.2 Hitsien mitoitus

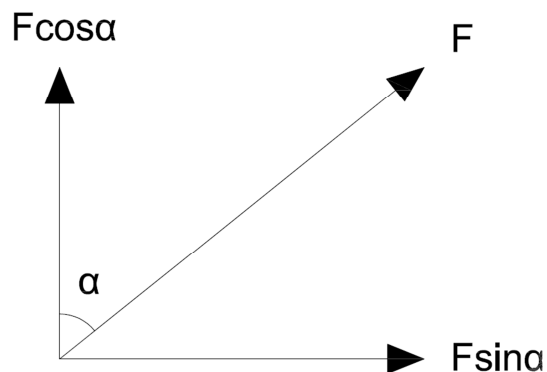
Hitsaus suoritetaan putkiprofiilin ja levyn kohdalla kylkipienahitsillä. Tällaisessa tilanteessa jännityskomponenteille saadaan seuraavat lausekkeet ja joista seuraa (Teräsrakenneyhdistys 2010, 107):

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \quad (57)$$

$$\frac{F_{Ed} B_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}{L_w f_u} \geq a \quad (58)$$

missä

L_w on hitsin pituus



Kuvio 13. Voimasuureet

Kiinnityslevyn hitsaus pilariin tulee tarkastaa myös. Hitsaus mitoitetaan kohdan 4.4 mukaan. Kuviossa 13 esitetään voimasuureet. Voiman tullessa vinossa pilarin nähden tulee ensiksi laskea voimasuureiden arvot:

$$N_{Ed} \sin a = N_{Ed,1} \quad (59)$$

$$N_{Ed} \cos a = V_{Ed} \quad (60)$$

10 LASKENTAPOHJAT

Laskentapohjat laadittiin Excel –pohjaisina. Excel on taulukkolaskentaohjelma, joka on yleisesti käytössä oleva Microsoft Officen osa. Ohjelman toiminta perustuu soluihin. Excelillä voi laskea peruslaskutoimituksista vaativiin laskuihin tai tehdä kuvaajia ja taulukoita. Ohjeita Exceliin löytyy helposti internetistä. PRT:llä on kaikilla työntekijöillä Excel käytössä, joten muuta ohjelmaa laskentapohjille ei mietitty.

10.1 Käytettävyys

Käytettävyyden kannalta ratkaisevaa on miettiä tuotteen tavoitteita ja tarkoitusta. Mihin tuotetta käytetään? Kuka käyttää? Käytettävyyteen vaikuttaa tiedon visuaalinen esitystapa. Tiedon selkeä näkyminen ja oikea asettelu voivat moninkertaistaa katsojan vastaanotto- ja käsittelynopeuden.

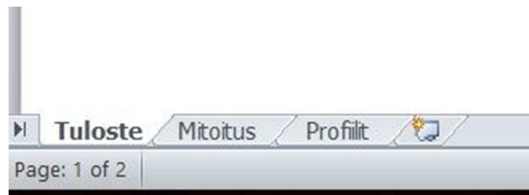
Tiedon sijoittelu käyttöliittymään ohjaa katsojan silmänliikkeitä kertomalla, missä tärkeä tieto on. Tuotteen tehokkuus määrittelee, kuinka helppoa ja nopeaa järjestelmän käyttäminen käyttäjälle on. Käyttämällä värejä tai tummuuseroja taustalla hahmottaa katsoja heti eroavaisuuden ja näin ollen huomio kohdistuu haluttuun kohtaan. Värejä käytettäessä tulee muistaa varmistaa, että kirjainten ja taustan välillä on tummuusero. (Työterveyslaitos 2015)

Laskentapohjien käyttöliittymä on yksinkertaistettu. Rakenne on suunniteltu siten, ettei suunnittelijan tarvitse halutessaan kuin syöttää laskentaan vaadittavat geometriset suureet ja tulokset päivittyvät alle välittömästi. Suunnittelijan tulee ymmärtää laskentaa tuloksien takana ja näin pystyä päättämään tuloksien oikeellisuus. Suunnittelija voi halutessaan myös perehtyä laskentaan tulosten takana.

10.2 Ulkoasu


Ulkoasu laskentapohjille haluttiin yhtenäiseksi ja vastaamaan yrityksen käytössä olevia dokumentteja. Jokainen laskentapohja toteutettiin samanlaisella

rakenteella. Kuvassa 7 on esitetty laskentapohjissa käytetyt kolme eri välilehteä: tuloste, mitoitus ja profiilit.



Kuva 7. Välilehti periaate

Tuloste-välilehti on tarkoitettu tulostettavaksi ja siltä löytyy yhteistietokenttä, johon suunnittelija täyttää projektin nimen ja numeron. Kuvassa 8 yhteistietokentän perustiedot esitettyinä. Suunnittelija myös valitsee alavetovalikosta itsensä laskijaksi ja mahdollisen laskennan tarkastajan. Tuloste-välilehdellä on myös liitoksen geometriset suureet. Kaikki laskenta tapahtuu mitoitus-välilehdellä, josta on tulokset kerätty tuloste-välilehdelle liitoksen geometristen suureiden alle. Tulokset on suojattu salasanoin, jolloin niihin ei pääse suunnittelija vaikuttamaan.

	Pohjois-Suomen Rakennetekniikka Oy Keskuspuistokatu 2 B 3 94100 Kemi	
	Nivelellinen päätylevyliitos	
Projektin nimi Projektin numero	Laskija: AHo <input type="button" value="v"/>	Pvm: 5.11.2016
	Tarkistaja: AHo <input type="button" value="v"/>	Pvm: 5.11.2016

Kuva 8. Yhteistietokenttä

10.3 Käyttö

Laskentapohjat pyrittiin kokoamaan niin, ettei suunnittelijan tarvitse käyttää kuin tuloste-välilehteä. Mitoitus-välilehdellä tapahtuu laskenta, jota suunnittelija voi tarkastella halutessaan. Yhteistietokentän täytettyään suunnittelija täyttää sen alla olevat liitoksen geometriset suureet (Kuva 9). Täydennettävät arvot on väritetty, jolloin suunnittelija tietää, mitkä kohdat tulee määrittää. Liitoksen


periaatekuva on lisätty täydennettävien arvojen viereen selkeyttämään mittoja. Pilarit, palkit, materiaalit ja ruuvit löytyvät alusvetovalikoista.

Primääripalkki:	HEA 240	S355J2	Kuormitus:	
Sekundääripalkki:	HEA 240	S355J2	V_{Ed} :	150 kN
e_1 =	45 mm		Ruuvi:	M20
p_1 =	74 mm		Lujuusluokka:	8.8
e_2 =	53 mm		kpl:	2
e =	67 mm			
Kiinnityslevy:		S355		
t =	10 mm			
h =	162 mm			

Kuva 9. Liitoksen geometriset suureet

Tuloste-välilehdellä on viereisellä sivulla ohjeita laskentapohjan käyttöön, esimerkiksi miten kuormitukset tulee syöttää ja miten levyn paksuus määräytyy tulokset osioon. Ohjeisiin on myös liitetty luvussa 3.2 esitetyt kuvio 2 ja taulukko 3, joista selviävät suositellut reuna- ja keskiöetäisyydet. Laskentapohjiin on määriteltä oletuksena joitakin arvoja, esimerkiksi ruuvien reiän halkaisija, nämä mahdolliset oletusarvot on myös kerrottu ohjeissa. Jos jostain syystä suunnittelijan tulisi muuttaa näitä arvoja, on ohjeessa määriteltä mistä solusta kyseinen arvo löytyy. Pitkiä reikiä laskentapohjiin ei ole määriteltä.

Profiilit-välilehdelle on koottu kaikki alusvetovalikoissa olevien pilarien ja palkkien profiilit, ruuvit ja materiaalit. Profiilien poikkileikkaustiedot määräytyvät automaattisesti valitun profiilin mukaan (Kuva 10). Kaikki tarvittavat tiedot laskentaan löytyvät täältä.



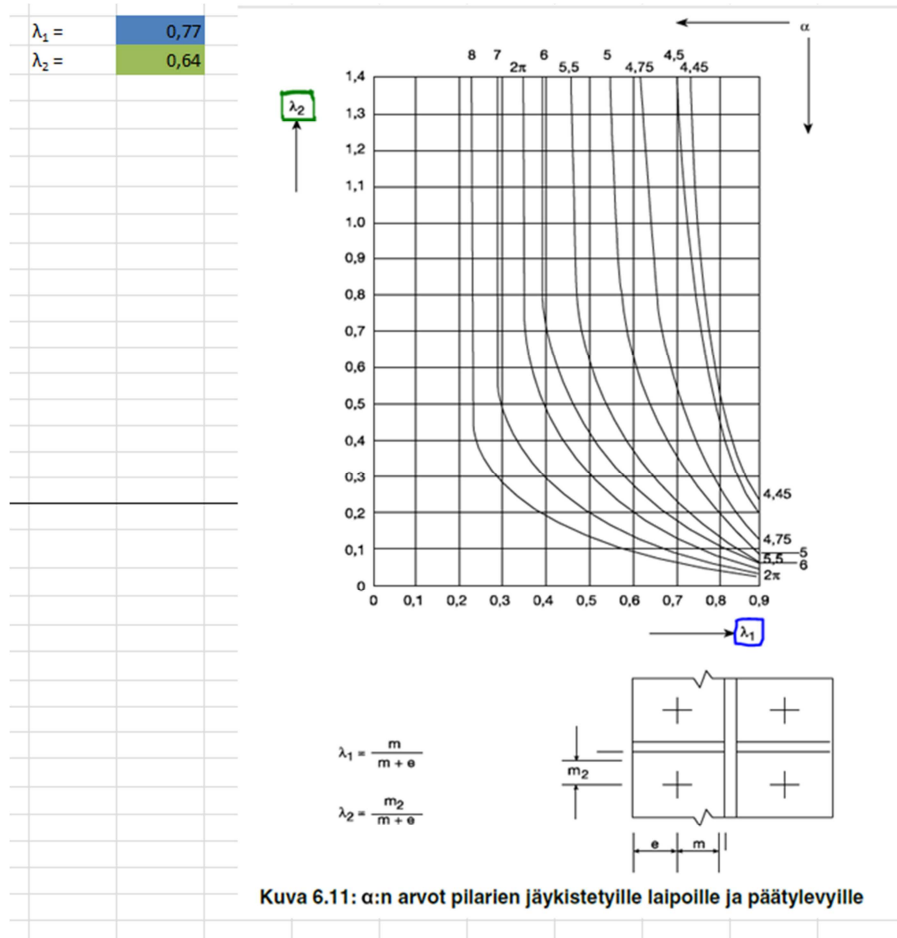
Profiili	h (mm)	b (mm)	s (mm)	t (mm)	r (mm)	poikkipinta A (10 ³ mm ²)	paino kg/m	väippä (m ² /m)	Staattiset arvot taivutusakseille					
									I _x (10 ⁷ mm ⁴)	W _x (10 ³ mm ³)	I _y (mm)	I _y (10 ⁶ mm ⁴)	W _y (10 ³ mm ³)	I _z (mm)
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	0,764	6	0,328	0,801	20	32,4	0,0849	3,69	10,5
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	1,03	8,1	0,4	1,71	34,2	40,7	0,159	5,79	12,4
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	1,32	10,4	0,475	3,18	53	49	0,277	8,65	14,5
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	1,64	12,9	0,551	5,41	77,3	57,4	0,449	12,3	16,5
IPE 160	160	82	5	7,4	9	2,01	15,8	0,623	8,69	109	65,8	0,683	16,7	18,4
IPE 180	180	91	5,3	8	9	2,39	18,8	0,698	13,2	146	74,2	1,01	22,2	20,5
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	2,85	22,4	0,768	19,4	194	82,6	1,42	28,5	22,4
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	3,34	26,2	0,848	27,7	252	91,1	2,05	37,3	24,8
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	3,91	30,7	0,922	38,9	324	99,7	2,84	47,3	26,9
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	4,59	36,1	1,04	57,9	429	112	4,2	62,2	30,2
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	5,38	42,2	1,16	83,6	557	125	6,04	80,5	33,5
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	6,26	49,1	1,25	117,7	713	137	7,88	98,5	35,5
IPE 360	360	170	8	12,7	18	7,27	57,1	1,35	162,7	904	150	10,4	123	37,9
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	8,45	66,3	1,47	231,3	1160	165	13,2	146	39,5
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	9,88	77,6	1,61	337,4	1500	185	16,8	176	43,1
IPE 500	500	200	10,2	16	21	11,6	90,7	1,74	482	1930	204	21,4	214	43,1
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	13,4	106	1,88	671,2	2440	223	26,7	254	44,5
IPE 600	600	220	12	19	24	15,6	122	2,01	920,8	3070	243	33,9	308	46,6
EI OLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	h=	80 mm	A =	764	I _x =	801000	mm ⁴	I _y =	84900	mm ⁴	f _{yi} =	335	N/mm ²	
	b=	46 mm	P =	6	W _x =	20000	mm ³	W _y =	3690	mm ³	f _{yi} =	470	N/mm ²	
	s =	3,8 mm	U =	0,328	i _x =	32,4	mm	i _y =	10,5	mm	B ₀ =	0,9		
	t =	5,2 mm												
	r =	5,2 mm												
	d =	59,6 mm												

Kuva 10. Profiilit-välilehdeltä löytyviä tietoja

Mitoitus-välilehdellä tapahtuu kaikki laskenta. Laskenta on pyritty jakamaan osiin niin, että suunnittelijan on helppo seurata sitä tai tarkastella vain tiettyä osiota. Kappaleissa 4-9 esitetyt kaavat on näkyvillä Excelissä, sekä kaavojen alle on kirjoitettu teoriaa ja laitettu mahdollinen lähde näkyviin. Näin suunnittelija voi halutessaan helposti löytää lähdekirjallisuuden.

10.4 Kehitysehdotuksia

Laskentapohjat pyrittiin laatimaan niin, ettei suunnittelijan tarvitsisi syöttää kuin liitoksen geometriset suureet ja kaikki laskenta tapahtuisi taustalla. Tässä onnistuttiin päätylevyliitoksia lukuunottamatta. Päätylevyn tehollista leveyttä määriteltäessä tarvitaan a:n arvo, joka löytyy kaaviosta. Tämän vuoksi suunnittelijan tulee käydä mitoitus-välilehdellä ja katsoa a:n arvo kaaviosta (Kuva 11) ja syöttää se sille varattuun paikkaan. A:n minimiarvo kaaviosta katsottuna on 4,45, tämä voitaisiin laittaa oletusarvoksi, josta seuraisi ylimitoitus. Toinen vaihtoehto olisi purkaa kaavio taulukoksi, josta a:n arvo määräytyisi.



Kuva 11. a:n arvon määrittäminen taulukossa

Osaan laskentapohjista voisi tulevaisuudessa tarpeen mukaan tuoda lisää profiilivaihtoehtoja. Liitoksissa ruuvit ovat symmetrisesti, eikä esimerkiksi pohjalevyliitoksessa ole mahdollisuutta enempään kuin neljään perustusruuviin. Epäsymmetriset pulttiryhmät ja suuremmat ruuvimäärät voisi olla seuraava askel. Ensimmäisenä pitäisi tutkia, voiko näitä pohjia muuttaa ja kuinka työlästä se tulisi olemaan.

11 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä laadittiin laskentapohjat kuudesta erilaisesta liitoksesta tai kuormitusyhdistelmästä. Liitoksia mitoittaessa ongelma on niiden monivaiheisuus. Käsien laskennalla se on hidasta ja virheen mahdollisuus kasvaa. Laskentapohjia laadittaessa huomattiin, että kaavojen syötössä Exceliinkin tuli olla todella tarkkana.

Laskentapohjat ovat selkeitä ja mukautuvat Prt:llä käytössä oleviin dokumentteihin. Suunnittelija voi halutessaan tulostaa laskentapohjasta raportin, josta löytyy suunnittelukohteen tiedot, liitoksen geometria ja tulokset.

Laskentapohjat tarkastettiin käsin laskennalla erilaisilla kuormitusyhdistelmillä. Pohjat eivät ehtineet olla Prt:n suunnittelijoilla käytössä ennen tämän opinnäytetyön valmistumista. Suunnittelijoille voi käytön yhteydessä syntyä uusia ideoita ja toiveita, miten pohjia voidaan mahdollisesti muokata.

Laskentapohjat eivät ole liitetiedostoina tässä opinnäytetyössä, koska ne tulivat Pohjois-Suomen Rakennetekniikan sisäiseen käyttöön ja ovat näin ollen salassa pidettäviä.

LÄHTEET

Eurokoodi help desk 2016. Ajantasaista tietoa eurokoodeista. Viitattu 9.11.2016
<http://www.eurocodes.fi/index.htm>

Hitsatut profiilit EN 1993 –käsikirja 2010. 3.painos. Hämeenlinna: Rautaruukki Oyj.

HPM Rebar Anchor Bolt. 2015 Technical Manual. Version: Peikko Group 01/2015. Viitattu 1.7.2016
<http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=64531&org=2&chk=b3032a61>

Kinnunen, J., Saarinen, E., Tiira, S., Ulvinen, S. & Väänänen, E. 1995. Teräsrakenteiden suunnittelu. 3., painos. Teräsrakenneyhdistys. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Pohjois-Suomen Rakennetekniikka 2013. Yrityksen www-sivut. Viitattu 2.6.2016
www.prt.fi

Rakenneputket EN 1993 –käsikirja 2012. Hämeenlinna: Rautaruukki Oyj.

SFS-EN 1093-1-8. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: SFS. Viitattu 1.6.2016. www.sfs.fi

SFS-EN 1093-1-1. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: SFS. Viitattu 15.6.2016. www.sfs.fi

SFS-EN 1092-1-1. 2015. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: SFS. Viitattu 1.6.2016. www.sfs.fi

SFS-EN 1093-1-5. 2006. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Levyrakenteet. Helsinki: SFS. Viitattu 5.8.2016. www.sfs.fi

Työterveyslaitos 2015. Visuaalinen käytettävyys. Viitattu 15.11.2016
http://www.ttl.fi/fi/ergonomia/kognitiivinen_ergonomia/visuaalinen_kaytettavyys/sivut/default.aspx

Ympäristöministeriö 2014. Tietoa eurokoodeista. Viitattu 2.6.2016
http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoukset/Tietoa_eurokoodeista