

# **Porrastornin nurkkaliitoksen tuotekehitys**

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Konetekniikka

2021

Simo Partanen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Partanen, Simo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 34	
Työn nimi <b>Porrastornin nurkkaliitoksen tuotekehitys</b>		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Salattu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä yrityksen X kanssa. Opinnäytetyössä tutkittiin ruuvi-kokoonpanoilla valmistettavaa porrastornia ja sen nurkkaliitosta. Opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää nurkkaliitoksen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä kuten standardeja ja kuormituksia. Opinnäytetyöstä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää yrityksen valmistaman porrastornin tuotekehitykseen.</p> <p>Opinnäytetyössä esitetään standardien vaatimuksia porrastorneille sekä ruuviliitoksen vaatimuksia teräsrakenteille. Työ sisältää myös kuormitusten ja standardien mukaista käsinlaskentaa sekä porrastornin ja nurkkaliitoksen simulointia JIGI- ja SOLIDWORKS-ohjelmistoilla.</p> <p>Tärkeimmät opinnäytetyöstä saadut tulokset olivat nurkkaliitoksen reikien ja kiinnitystarvikkeiden vaatimukset nurkkaliitokseen. Saatujen tuloksien myötä nykyistä nurkkaliitosta voidaan kehittää vastaamaan nykyisiä vaatimuksia. Opinnäytetyön myötä yritys saa myös hyödyllistä ja ajantasaista informaatiota porrastornia koskevista kuormituksista, siirtymistä sekä epätarkkuuksista.</p>		
Asiasanat Porrastorni, Nurkkaliitos, Tuotekehitys		

## Abstract

Author(s) Partanen, Simo	Type of Publication Thesis, UAS Number of Pages 34	Published 2021
Title of Publication <b>Product development of stair tower's corner joint</b>		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Secret		
<p>Abstract</p> <p>This thesis was created in collaboration with company X. The purpose of the thesis was to study a stair tower made of screw assemblies and stair tower's corner joints. In the thesis the factors influencing the design of the corner joint were examined such as standards and loads. The results obtained from the thesis can be used to improve the stair tower manufactured by the company.</p> <p>The thesis introduces standards' claims to the stair towers and screw joint's claims to the steel structures. This thesis also includes manual calculation in accordance with loads and standards as well as corner joint simulation with JIGI and SOLIDWORKS softwares.</p> <p>The most important results of the thesis were the corner joint holes and fastening accessories claims to the corner joint. The results obtained from the thesis can be used to develop the existing corner joint to meet current requirements. The company also receives a lot of useful and up to date information on the stair tower's loads, displacements as well as inaccuracy.</p>		
Keywords Stair tower, Corner joint, Product development		

## Sisällys

Käytetyt termit.....	1
1 Johdanto.....	3
2 Lähtökohdat.....	4
3 Mitoitus perusteet .....	6
3.1 Eurokoodi järjestelmä .....	6
3.2 Rajatilamitoitus .....	6
4 Rakenteen vaatimukset .....	8
4.1 Liitokset ja kuormitukset.....	8
4.2 Epätarkkuudet .....	9
4.3 Tuulikuorma.....	10
4.4 Tuulikuorman määrittäminen .....	11
4.5 Porrastornin kuormitukset .....	14
5 Liitosten mitoitus.....	16
5.1 Ruuviliitos .....	16
5.2 Ruuvikiinnitysluokat .....	16
5.3 Esijännittämättömät ruuvikokoonpanot .....	17
5.3.1 Ruuvit ja mutterit.....	17
5.3.2 Aluslevyt ja rei'itys .....	18
5.4 Ruuvilaskenta ja vauriomuodot.....	20
6 Porrastornin analyysi .....	24
6.1 FEM-analyysi.....	24
6.2 Tulokset.....	26
7 Nurkkaliitoksen tarkastelu ja kehittäminen .....	27
7.1 Nykyinen liitos.....	27
7.2 Uusi liitos .....	28
7.3 Liitoksen lujuustarkastelu.....	30
8 Yhteenveto .....	31
Lähteet .....	33

## Käytetyt termit

$A$	Ruuvien bruttopinta-ala
$A$	Sauvojen projektioalojen summa
$A_c$	Reunaviivan rajaama pinta-ala
$A_{nt}$	Vedon rasittama nettopinta-ala
$A_{nv}$	Leikkauksen rasittama nettopinta-ala
$A_{ref}$	Rakenteen tai rakenneosan tuulenpaineen vaikutusala
$C_f$	Rakenteen tai rakenneosan voimakerroin
$C_f$	Voimakerroin
$C_s C_d$	Rakennekerroin
$C_{f,0}$	Ristikkorakenteiden voimakerroin ilman päätevaikutusta
$d$	Ruuvien halkaisija
$d_0$	Reiän halkaisija
$e_1$	Kiinnittimen reiän keskiön ja viereisen rakenneosan päädyn välinen päätyetäisyys mitattuna siirrettävän voiman suunnassa
$e_2$	Kiinnittimen reiän keskiön ja viereisen rakenneosan reunan välinen reunaetäisyys mitattuna kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden
$F_W$	Tuulikuorman resultantti
$F_{b,Rd}$	Reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo
$F_k$	Kuorman ominaisarvo
$F_{rep}$	Kuorman edustava arvo
$F_{v,Rd}$	Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo
$f_u$	Perusaineen murtolujuus
$f_{ub}$	Ruuvien murtolujuus

$f_y$	Perusaineen myötölujuus
$h$	Rakenteen korkeus metreinä
$l_v$	Tuulenpuuskan intensiteetti
$m$	Rivissä olevien pilarien lukumäärä
$p_1$	Kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys siirrettävän voiman suunnassa
$p_2$	Viereisten kiinnitinrivien välinen keskiöetäisyys mitattuna siirrettävää voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa
$q_p(z_e)$	Puuskanopeuspaine
$t$	Tarkasteltavan osan paksuus
$V_m$	Tuulennopeuden modifioitu perusarvo
$V_{eff,1,Rd}$	Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo
$\alpha_h$	Pilareihin sovellettava korkeuden pienennystekijä
$\alpha_m$	Pienennystekijä, joka ottaa huomioon rivissä olevien pilarien lukumäärän
$\alpha_v$	Tekijä, joka määritetään kyseeseen tulevan taulukon yhteydessä
$\gamma_{M0}$	Osavarmuuskerroin
$\gamma_{M2}$	Osavarmuuskerroin
$\gamma_f$	Kuorman osavarmuusluku, jossa otetaan huomioon kuorman mahdollinen poikkeaminen edustavista arvoista
$\psi_\lambda$	Päätevaikutuskerroin rakenteen hoikkuuden funktiona
$\rho$	Ilman tiheys
$\varphi$	Eheyssuhde
$\psi$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin
$\phi_0$	Perusarvo

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään yhteistyössä yrityksen X kanssa. Yrityksen toiveesta yhteistyöyritys ja opinnäytetyön liitteet pysyvät salattuina. Opinnäytetyön aihe on työelämälähtöinen. Opinnäytetyössä tarkastellaan yrityksen valmistamaa porrastornia. Yritys on valmistanut porrastorneja jo vuosia. Yrityksen toiveena oli, että opinnäytetyön myötä tutkin vastaako ja täyttääkö yrityksen valmistama porrastorni kaikki nykypäivän vaatimukset. Opinnäytetyön keskipisteenä on porrastornin nurkkaliitos, jossa pilariin kiinnitetään diagonaalit ja kerrostasot.

Opinnäytetyön tehtävänä on tuoda porrastornin rakentamiseen liittyvät standardit ja vaatimukset yrityksen tietoisuuteen sekä selvittää porrastornia koskevat kuormitukset ja siirtymät. Opinnäytetyön tehtävänä on myös selvittää nurkkaliitoksen kiinnitystarvikkeiden ja komponenttien tarpeellisuus ja kestävyys. Nurkkaliitoksen komponenttien kiinnitys tapahtuu ruuvikokoonpanoilla, joten tulee selvittää ruuvikokoonpanoja koskevat standardit ja vaatimukset. Tutkimuksen pohjalta on tehtävä tuotekehitystä nykyiselle nurkkaliitokselle, jossa tarkastellaan, täytyykö nurkkaliitoksessa kaikki sitä koskevat vaatimukset.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda selkeä kuva yritykselle porrastornia, nurkkaliitosta ja ruuvikokoonpanoja koskevista vaatimuksista sekä kehittää porrastornin nurkkaliitosta. Porrastornia koskevien vaatimusten ja laskennan tulee olla eurokoodin määrittämien menetelmien ja vaatimusten mukaisia. Opinnäytetyö pitää sisällään standardien ja kirjallisuuden tutkimista, FEM-analysointia sekä tuotekehitystä.

## 2 Lähtökohdat

Porrastornit ovat kulkureittejä, jotka sijaitsevat yleensä toisen rakennuksen tai rakenteen vieressä. Porrastorneja voidaan käyttää hätäpoistumistienä tai kulkemiseen. Nurkkaliitos on porrastornin tärkein liitos, koska se sijaitsee porrastornin jokaisessa kerroksessa ja nurkassa. Nurkkaliitokseen liittyy diagonaalit, pilarit ja kannakkeet. Nurkkaliitoksen komponentit liitetään ruuvikokoonpanoilla pilariin. Tuotekehitys tehdään heidän nykyisen nurkkaliitoksensa pohjalta. Nurkkaliitoksen tarkastelua varten on sovittu nurkkaliitokseen vaikuttavat lähtöarvot.

Tuotekehityksen tavoitteet

- selvittää kuormitukset ja standardit
- suorittaa nurkka- ja jatkoliitoksen lujuustarkastelu
- tarkastella ruuvien määrä lujuuslaskentaan perustuen
- tarkastella kulmaliitoksen osien tarpeellisuutta
- esittää standardien mukaiset kiinnitystarvikkeet.

Nykyisen nurkkaliitoksen suunnittelussa painoarvo on ollut porrastornin valmistuksessa, jolla on saavutettu nopea läpimenoaika tuotannossa. Yritys on pyrkinyt enemmissä määrin tekemään tuotteita ruuviliitoksilla, joilla saavutetaan nopeat läpimenoajat tuotannossa. Porrastornin komponenteista missään ei käytetä hitsausta, joka tuotannon näkökulmasta on hidasta ja työlästä. Nykyinen nurkkaliitos on ollut käytössä monta vuotta. Saadun kokemuksen perusteella nykyinen niin sanottu ”pullonkaula” porrastornin valmistuksessa on kokoonpanoon kuluva aika. Kokoonpanossa aikaa kuluu komponenttien yhdistämiseen ruuvikokoonpanoilla, joka johtuu mahdollisesti ylimääräisistä ruuveista sekä komponenttien määrästä. Kokoonpano muodostuu monista eri osista, jotka kasataan lopullisen sijoituspaikan läheisyydessä.

Porrastornin tuotekehitykseen on sovittu yrityksen kanssa reunaehdot, johon opinnäytetyön tulokset perustuvat. Opinnäytetyön tavoitteena on tarkistaa nykyisen nurkkaliitoksen osien ja ruuvien tarpeellisuus, jolla on suora yhteys kokoonpano aikaan. Opinnäytetyössä selvitetään nurkkaliitosta koskevat vaatimukset, standardit ja osoitetaan nurkkaliitoksen kestävyys eurokoodin mukaisilla laskentamenetelmillä.



**Annetut mitat:**

Korkeus	60 m
Leveys	5 m
Syvyys	2.5 m
Tuulisteiden väli	10 m
Kerroskorkeus	2.5 m
Jatkoliitosten väli	12 m

**Käytettävät mitoitusarvot:**

Materiaali	S355
Pilarit	HEA 160
Lepotasorunko	UPE 160
Diagonaalit	60x60x3 SHS

**Ruuvikokoonpanot:**

Lujuusluokka	8.8
Kokoluokat	M16, M20

### 3 Mitoitus perusteet

#### 3.1 Eurokoodi-järjestelmä

Rakentamiseen on luotu Euroopan unionin myötä eurokoodi-järjestelmä, joka on yhteinen mitoitusjärjestelmä rakenteille. Eurokoodiin kolme koostuu kuudesta eri pääaiheesta. Tässä opinnäytetyössä keskityn standardisarjaan SFS-EN 1993, joka pitää sisällään teräsrakenteiden suunnittelun ja toteuttamisen. Teräsrakentamisen toteutusta varten on luotu SFS-EN 1090 -standardi, jossa käsitellään ehtoja ja vaatimuksia suunnittelulle. Eurokoodi-järjestelmässä ei ole sallittua käyttää mitoitusprosessiin muita vastaavia järjestelmiä. (Kaitila 2014, 9.)

#### 3.2 Rajatilamitoitus

Rajatilamitoituksen tavoitteena on saada rakenne kestävänsä suunniteltu käyttöikä tarvittavalla vaatimustasolla. Rakenne täytyy toteuttaa ja suunnitella kestävänsä kaikki kuormitukset ja vaikutukset, joita rakenteeseen kohdistuu käyttöikänsä aikana. Rakenteeseen kohdistuvien kuormien ominaisarvot esitetään standardisarjassa SFS-EN 1991. Suunnittelussa huomioidaan ja poistetaan mahdolliset vaaratilanteet suosimalla hyväksi todettuja ratkaisuja. (Kaitila 2014, 33.)

Suunnittelijan tulee osata arvioida odotettavissa olevien kuormien suuruus sekä tarvittaessa käyttää suurempia arvoja kuin kuormitus normeissa annetut. Rajatilat varmistavat rakenteen turvallisuuden suunnitteluvaiheessa, mikäli murto- tai käyttörajatila ylittyy, rakenne ei täytä suunniteltua toimivuusvaatimusta. Suunnittelijan täytyy pystyä osoittamaan dokumenteilla luotettavasti, ettei mitään rajatilaa ylitetä. (Kaitila 2014, 35.)

Rajatilamitoitus tapahtuu käyttämällä osavarmuuslukumenetelmää, jossa valittujen mitoitustilanteiden ja rajatilojen kuormitukset yhdistetään. Mitoitusarvot saadaan yhdistämällä kuorman ominaisarvot osavarmuuskertoimien ja muiden mahdollisten kertoimien kanssa. (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006.)

Murto-rajatila vastaa rakenteen tai osan maksimikestävyyttä. Murto-rajatilassa varmistetaan, ettei rakenne menetä stabiiliutta tai materiaalisia tapahdu murtumista tai myötäämistä. Rakenteeseen kohdistuvan muuttuvan kuorman vaikutuksesta materiaalisia voi tapahtua plastisia muodonmuutoksia, sisäisiä siirtymiä tai väsymistä, jonka seurauksena voi tapahtua murtuminen tai romahtaminen. (Kaitila 2014, 33.)

Käyttörajatilassa tarkastellaan rakenteen toimivuutta siirtymien, värähtely ja vaurioiden perusteella. Siirtymät ja värähtely voivat vaikuttaa rakenteen ulkonäköön tai käyttäjäkokemukseen kielteisesti. Teräsrakentamisessa tavanomaisia käyttörajatiloja ovat taipumat ja siirtymät. Teräsrakenteet tulee suunnitella siten, että taipumat ovat käyttötarkoituksen mukaisissa rajoissa. (Kaitila 2014, 34.)

## 4 Rakenteen vaatimukset

### 4.1 Liitokset ja kuormitukset

Rakenneanalyysissä tarkastellaan rakenteen käyttäytymistä, joka vastaa tutkittavaa rajatilaa. Analyysimenetelmän tulee olla johdonmukainen suunnittelu oletusten kanssa. Rakennemallissa sekä laskelmissa oletettujen liitosten, tukien ja sauvojen tulee vastata rakenteen käyttäytymistä riittävällä tarkkuudella rajatilassa oletettavaan käyttäytymiseen. Liitosten vaikutus rakenteeseen otetaan huomioon jakamalla liitosmallit kolmeen ryhmään, jotka ovat nivelliitos, jäykkä liitos ja osittain jäykkä liitos. Liitosmallit vaikuttavat voimien sekä momenttien kulkuun rakenteessa. Rakenteessa olevien liitosten vaikutus kokonaismuodonmuutokseen voidaan jättää huomiomatta, mikäli vaikutukset ovat vähäisiä. (SFS-EN 1993-1-1 2005.)

Murtorajatilaa tarkastellessa tulee ottaa huomioon muodonmuutosten ja siirtymien vaikutukset. Rakennemallissa kuormitusten vaikutuksista tulee ottaa huomioon kaikki merkittävät rakenneosat, lujuudet, massat ja jäykkyydet sekä kaikki ei kantavat rakennusosat. (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006.)

Rakennuksia koskevat kuormat luokitellaan standardin SFS-EN 1990+A1+AC mukaisesti kolmeen eri kategoriaan, pysyvät kuormat, muuttuvat kuormat ja onnettomuuskuormat. Kuormitukset tulee luokitella niiden luonteen mukaisesti esimerkiksi liikkuviin tai kiinteisiin, väliaikaisiin vai välillisiin, staattisiin tai dynaamisiin. (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006.)

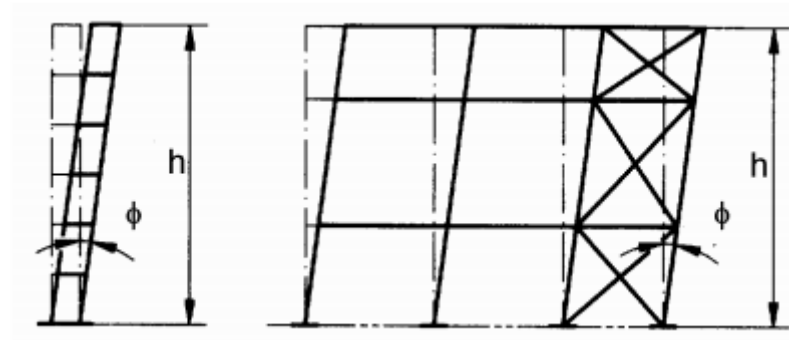
Kuormitukset luokitellaan kolmeen eri ryhmään:

- Pysyvät kuormat (G) joka pitää sisällään rakenteen oman paino sekä kiinteät kuormat esimerkiksi laitteiden oman painon.
- Muuttuvat kuormat (Q) joiden arvot muuttuvat käyttöön aikana esimerkiksi tuulikuorma sekä lumikuormitus.
- Onnettomuuskuorma (A) joka pitää sisällään esimerkiksi ajoneuvon törmäykset sekä maanjäristykset.

## 4.2 Epätarkkuudet

Rakennelaskemissa tulee ottaa huomioon kuormittamattoman rakenteen epätarkkuuksien vaikutukset, kuten poikkeamat pystysuoruudessa, poikkeama suoruudessa, poikkeama tasoisuudessa, yhteensopivuuspoikkeama ja liitosten epäkeskeisyys. (SFS-EN 1993-1-1 2005.)

Porrastorneista on tärkeää tutkia poikkeamaa pystysuoruudessa (kuva 1), koska nurkkaliitoksessa käytetään pidennettyjä reikiä diagonaalien kiinnityksessä. Kokonaissiirtymän arvo saadaan kaavalla 1, joka tulee jakaa kerroskohtaisesti. Tällä saadaan kerroskohtainen sallittu maksimisiirtymäarvo. Kerroksissa siirtymän mahdollistavat diagonaalien pidennetyt kiinnitysreiät, jotka eivät saa olla liian pitkiä.



Kuva 1. Epätarkkuus kehien kokonaisanalyysissä (SFS-EN 1993-1-1 2005)

Globaalit sallitut alkusiirtymät voidaan tarkastaa kaavalla 1:

$$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m \quad (1)$$

Missä:

$\phi_0$  Perusarvo:  $\phi_0 = 1/200$

$\alpha_h$  Pilareihin sovellettava korkeuden pienennystekijä, jossa:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ mutta } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$\alpha_m$  Pienennystekijä, joka ottaa huomioon rivissä olevien pilarien

lukumäärän, jossa:  $\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{m})}$

$h$  Rakenteen korkeus metreinä

$m$  Rivissä olevien pilarien lukumäärä

Ympäristöministeriön julkaisussa annetaan standardeihin perustuvia suosituksia teräsrakenteille. Rakenteen siirtymille on määrittänyt taulukon 1 mukaiset raja-arvot käyttörajatilassa. Porrastorni on yli kaksikerroksinen, jolloin sen vaakasiirtymät liittyvät kohtaan muut rakennukset taulukon 1 mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2019, 2, 19.)

Rakenne	Taipuman tai siirtymän raja-arvo
Pääkannattajat	
- vesikatoissa ja katoksissa	$L/300$
- välipohjissa	$L/400$
Ulokkeet	$L/150$
Katto-orret	$L/200$
Seinäorret	$L/150$
Muotolevyt	
- katoissa, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa	$L/100$
- katoissa, joissa vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaara on olemassa	
- kun $L \leq 4,5$ m	$L/150$
- kun $4,5$ m $< L \leq 6,0$ m	30 mm
- kun $L > 6,0$ m	$L/200$
- välipohjissa	$L/300$
- seinissä	$L/100$
- ulokkeissa	$L/100$
Rakenteen vaakasiirtymän rajatila	
- 1 ja 2 kerroksiset rakennukset	$H/150$
- muut rakennukset	$H/400$
$L$ on jänneväli	
$H$ on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus	
Rakennukset, jossa on nosturirata, katso standardi SFS-EN 1993-6 ja sen kansallinen liite.	

Taulukko 1. Taipumien ja siirtymien käyttörajatilat. (Ympäristöministeriö 2019.)

### 4.3 Tuulikuorma

Tuulikuormitus mitoitetaan standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti. Tuulikuormat aiheuttavat painetta rakennusten ulkopintoihin ja mahdollisen huokoisuuden vuoksi myös sisäpintoihin. Sisäpintoihin vaikuttava tuulikuorma johtuu sisä- ja ulkopuolisesta paine erosta, jolloin se luokitellaan joko negatiiviseksi tai positiiviseksi. Porrastornin kohdalla ei ole tarpeellista tutkia sisäpintoihin vaikuttavaa kuormitusta, koska kyseessä on avoin rakennus. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011.)

Tuulikuorma aiheuttaa rakenteen pintaan kohtisuoria voimia sekä suuria pintoja kohdatessa merkittäviä kitkavoimia. Tuulikuorma luokitellaan kiinteäksi muuttuvaksi kuormaksi, joka esitetään voimien ja paineiden joukkona. Laskenta vastaa tuulenpuuskan suurinta vaikutusta rakenteeseen. Tuulikuorman vaikutukset ovat riippuvaisia rakenteen koosta, dynaamisista ominaisuuksista ja muodosta. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011.)

Eurokoodi on Euroopan alueella käytetty standardi, Suomen Ympäristöministeriö on antanut tuulikuormalle Suomessa käytettäviä suositusarvoja, jotka ovat esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. Rakentamismääräyskokoelmassa annetaan arvoja tuulennopeuteen, maaston rosoisuuteen/pinnanmuotoon ja puuskanopeuspaineeseen. (Ympäristöministeriö 2019, 4, 22–23.)

#### 4.4 Tuulikuorman määrittäminen

Yrityksessä on käytetty tuulikuormien laskennassa alihankkijoiden laskemia arvoja, jolloin yritykselle ei ole ollut täysin selvää, kuinka porrastornia koskevat tuulikuormitukset yksityiskohtaisesti määritellään. Tuulikuormitus vaikuttaa nurkkaliitokseen diagonaalien välityksellä, jolloin tuulikuormitusten määrittämisen tulee tapahtua standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti. Yrityksen kanssa on sovittu tuulikuormitukseen mahdollisesti vaikuttavia lähtöarvoja sekä tehtyjä oletuksia, jotka mahdollisesti vaikuttavat tuulikuormituksen voimakkuuteen. Tuulikuormitus määritetään taulukon 2 mukaisesti

Tuulikuormituksen määrittämiseen mahdollisesti vaikuttavat oletukset

- ristikkorakenne
- terävasärmäisiä profiileja
- sijainti merenrannalla, tehdasalue
- kiinnitty aina toiseen rakennukseen.

Parametri
<b>Puuskanopeuspaine <math>q_p</math></b> tuulennopeuden perusarvo $v_b$ nopeuspainekorkeus $z_e$ maastoluokka puuskanopeuspaineen ominaisarvo $q_p$ tuulenpuuskien intensiteetti $I_v$ tuulennopeuden modifioitu perusarvo $v_m$ pinnanmuotokerroin $c_o(z)$ rosoisuuserroin $c_r(z)$
<b>Esim. verhouksiin, kiinnikkeisiin ja rakenteen osiin vaikuttava tuulenpaine</b> ulkopuolisen paineen kerroin $c_{pe}$ sisäpuolisen paineen kerroin $c_{pi}$ nettopaineen kerroin $c_{p,net}$ ulkopuolinen tuulenpaine: $w_e = q_p \cdot c_{pe}$ sisäpuolinen tuulenpaine: $w_i = q_p \cdot c_{pi}$
<b>Rakenteiden tuulikuormat, kuten tuulen kokonaisvaikutukset</b> rakennekerroin: $c_s c_d$ tuulikuorma $F_w$ voimakertoimista laskettuna tuulikuorma $F_w$ painekertoimista laskettuna

Taulukko 2. Tuulikuormituksen laskentavaiheet (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011)

Tuulikuormitus lasketaan kaavalla 2. Tuulikuormituksen määrittämisen pohjalla toimivat myös porrastornin mittoja koskevat lähtöarvo, jotka vaikuttavat tuulikuormituksen voimakkuuteen.

Rakenteeseen vaikuttava tuulikuorma voidaan laskea kaavalla 2:

$$F_w = C_s C_d * C_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad (2)$$

Missä:

$F_w$	Tuulikuorman resultantti
$C_s C_d$	Rakennekerroin
$C_f$	Rakenteen tai rakenneosan voimakerroin
$q_p(z_e)$	Puuskanopeuspaine
$A_{ref}$	Rakenteen tai rakenneosan tuulenpaineen vaikutusala

Rakennekertoimelle voidaan käyttää arvoa 1, mikäli rakennuksessa on kantavat seinät ja korkeus alle 100 m ja samalla 4 kertaa pienempi kuin tuulensuuntainen mitta. Ristikkorakenteen voimakerroin määritetään ottamalla huomioon ristikkorakenteen päätevaikutus sekä voimakerroin ilman päätevaikutusta kaavalla 3.

Ristikkorakenteen voimakerroin saadaan kaavalla 3:

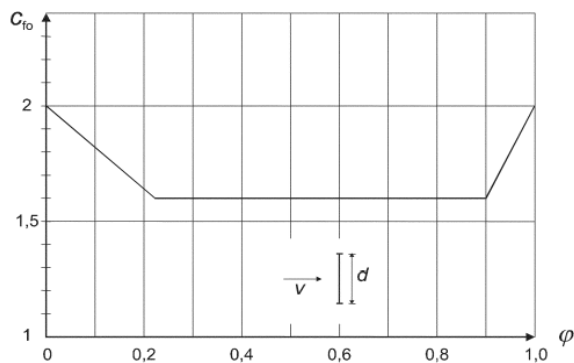
$$C_f = C_{f,0} * \psi_l \quad (3)$$

missä:

$C_f$	Voimakerroin
$C_{f,0}$	Ristikkorakenteiden voimakerroin ilman päätevaikutusta
$\psi_l$	Päätevaikutuskerroin rakenteen hoikkuuden funktiona

Terävsärmäisistä sauvoista muodostetulle tasoristikkorakenteelle voimakerroin saadaan kuvasta 2 eheyssuhteen funktiona. Eheyssuhde lasketaan kaavalla 4, joka on vaikutus pinta-alan ja rakenteen kokonaispinta-alan suhde.





Kuva 2. Voimakerroin  $C_{f,0}$  terävsärmäisistä sauvoista muodostetulle tasoristikkorakenteelle eheyssuhteen  $\varphi$  funktiona. (SFS-EN 1991-1-4 2005.)

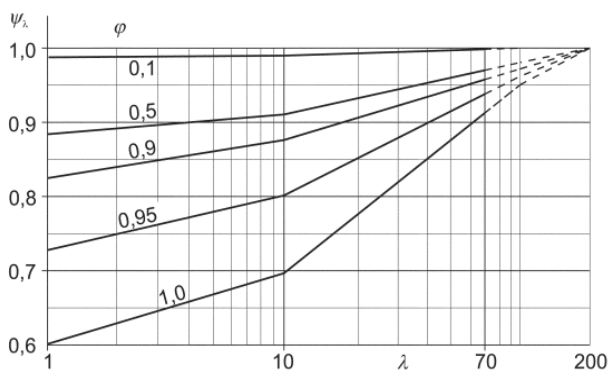
Eheyssuhde saadaan kaavalla 4:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (4)$$

Missä:

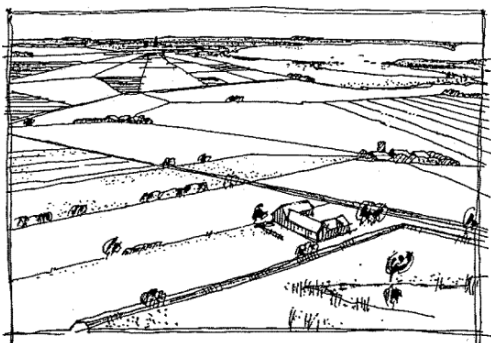
$\varphi$	Eheyssuhde
$A$	Sauvojen projektioiden summa
$A_c$	Reunaviivan rajaama pinta-ala

Päätevaikutuskertoimen määrittämiseen tehollisen hoikkuuden suhteella (kuva 3) terävsärmäisille ristikkorakenteille.



Kuva 3. Päätevaikutuskertoimen  $\psi_\lambda$  suuntaa antavia arvoja. (SFS-EN 1991-1-4 2011.)

Puuskanopeuspaineeseen vaikuttavat maastoluokka, pinnanmuoto ja sijainti. Porrastornin maastoluokaksi on valittu 2, joka vastaa aluetta, jossa sijaitsee matalaa kasvillisuutta sekä erillisiä esteitä esimerkiksi puita ja rakennuksia (kuva 4). (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011.)



Kuva 4. havainnekuva maastoluokasta 2. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011.)

Puuskanopeuspaine saadaan kaavasta 5:

$$q_p(Z) = [1 + 7 * l_v(Z)] * \frac{1}{2} * \rho * V_m^2 \quad (5)$$

Missä:

$q_p(z_e)$	Puuskanopeuspaine
$l_v$	Tuulenpuuskan intensiteetti
$\rho$	Ilman tiheys
$V_m$	Tuulennopeuden modifioitu perusarvo

Laskennassa porrastornin pinta-ala on jaettu kuuteen osaan, koska tuulikuormituksen voimakkuus kasvaa korkeuden mukaan. Tuulikuorman annetut arvot ovat varmalla puolella, koska kymmenen metrin korkeudessa vaikuttava voima on sama ensimmäiset kymmenen metriä.

#### 4.5 Porrastornin kuormitukset

Porrastornin pysyviin kuormiin voidaan laskea hoitotasojen ja portaiden omapaino. Hoitotasot ja portaot voivat estää runkoa menemästä salmiakin muotoiseksi, koska ne ovat kiinnitetty runkoon sekä toisiinsa. Muuttuvaksi kuormaksi voidaan olettaa tuulikuorma, hoitotasokuorma, jääkuorma ja lumikuorma. Onnettomuuskuormitusta ei nähdä tarpeelliseksi tehdä porrastornin kohdalla.

Lumi- ja jääkuormitusten vaikutus voidaan arvioida tilastoiden perusteella, mutta Suomessa jäätävä sade ja märkä lumi ovat niin harvinaisia ilmiöitä, että niistä ei ole tarpeeksi tilastollista aineistoa. Huurrejäästä syntyy kaikille niin korkeille rakenteille että ne ylettävät satunnaisesti pilviin asti. Huurrejälle alttiita ovat TV-mastot ja ympäristöään merkittävästi korkeammalla sijaitsevat rakenteet ja rakennukset, esimerkiksi tunturissa sijaitsevat rakennukset. (Makkonen 2011, 88–90.)

Tehdasympäristössä syntyvien lämpimien höyryjen vuoksi Yritys toivoi tutkittavaksi mahdollisuuksia jään ja lumen kertymiselle porrastornissa tehdasympäristössä. Standardin SFS-EN ISO 14122-2 mukaan hoitotasojen lattiapinnat ovat valmistettava niin ettei niille voi kertyä jäätä, likaa, lunta tai muita aineita. Kuormitusten osalta voisi tulkita, että porrastornin kuormituksissa ei tarvitse ottaa huomioon lumen ja jään aiheuttamaa kuormitusta. (SFS-EN ISO 14122-2 2016.)

Mikäli porrastornin sijaitsee jäälle altistavan rakenteen vieressä, tulee jään painosta syntyvät kuormat huomioida kokonaiskuormituksessa. Oletuksena jää tulee poistaa porrastornista, muuten hoitotasot eivät täytä standardin SFS-EN ISO 14122-2 mukaisia vaatimuksia. Porrastornin rungolle kertyvän lumen osuus on pieni, jolloin se ei vaikuta merkittävästi kuormituksiin. (SFS-EN ISO 14122-2 2016.)

Porrastornissa huomioitavat kuormitukset:

Pysyvät kuormat (G)

- Hoitotasojen omapaino

Muuttuva kuorma (Q)

- Tuulikuorma
- Työskentelytasojen ja kulkutasojen vähimmäiskuorma  $2\text{kN/m}^2$  (SFS-EN 14122-2 2016.)

Kuormat kerrotaan standardin SFS-EN 1990 mukaisilla varmuuskertoimilla, joita käytetään normaaleissa mitoituslaitteissa murtorajatilassa. Kaikki kuormitukset lasketaan kaavan 9 mukaisesti käyttäen tilanteen mukaista osavarmuuseroita. (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006.)

Kuormien mitoitusarvo saadaan kaavalla 6:

$$F_d = \gamma_f * F_{rep} \quad (6)$$

Missä:

$F_d$	Kuorman mitoitusarvo
$F_k$	Kuorman ominaisarvo
$F_{rep}$	Kuorman edustava arvo $F_{rep} = \psi * F_k$
$\gamma_f$	Kuorman osavarmuusluku, jossa otetaan huomioon kuorman mahdollinen poikkeaminen edustavista arvoista
$\psi$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

## 5 Liitosten mitoitus

### 5.1 Ruuviliitos

Yritys käyttää koko ajan enemmän ruuviliitoksia heidän teräsrakenteiden kokoonpanoissa. Ruuviliitoksilla saavutetaan nopea läpimenoaika, pintakäsittely sekä kokoonpanoaika. Porrastornin kaikki liitokset ovat toteutettu ruuviliitoksilla pilareiden aluslappuja lukuun ottamatta, jolloin on tärkeää löytää kaikki ruuviliitosta koskevat standardit ja määräykset. Tärkeimpiä huomioon otettavia asioita on keskittyä ruuvien määrään, reikien kokoon, ja ruuvien kestävyys.

Teräsrakenteiden liitokset luokitellaan neljään eri liittämismenetelmään, hitsaus, juotto, liimaus ja mekaaninen liittäminen. Porrastornissa käytetään ainoastaan ruuviliitoksia, jotka luokitellaan mekaaniseksi liitosmuodoksi. Liitosten mitoittaminen tulee esittää standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti. Liitosten analysointi ja erittely on tärkeää, koska liitoksia kuormitetaan ja niiden lähellä olevissa osissa voi tapahtua muodonmuutoksia ja erilaisia jännitystiloja. (Kaitila 2014, 83–85.)

### 5.2 Ruuvikiinnitysluokat

Standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaan leikkausvoiman rasittamaan liitokseen on kolme eri luokkaa, jonka mukaisesti kiinnitys tulee suunnitella. (SFS-EN 1993-1-8 2005.)

1. Kiinnitysluokka A. Reunapuristustyyppinen kiinnitys
  - esijännitystä ei vaadita
  - voidaan käyttää lujuusluokan 4.6...10.9 Ruuveja
  - esijännittämätön ruuviliitos.
2. Kiinnitysluokka B. Käyttörajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys
  - esijännitetyt 8.8 tai 10.9 ruuvit
  - liukumisen kestävyys käyttörajatilassa
  - esijännitetty ruuviliitos.
3. Kiinnitysluokka C. Murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys
  - esijännitetyt 8.8 tai 10.9 ruuvit
  - liukumisen kestävyys murtorajatilassa
  - esijännitetty ruuviliitos.

Esijännittämättömien (kiinnitysluokka A) ruuviliitoksien tyypillisinä käyttökohteita ovat konsoli tyyppiset liitokset ja kiinnitykset, joissa muuttumaton voima siirtyy leikkauksena ruuvin varren välittämänä myös tuulen rasittamissa liitoksissa. Esijännitettyjä liitoksia (kiinnitysluokka B ja C) suositellaan käytettäväksi liitoksissa, joissa kiinnityksen tai liitoksen siirtymät voivat aiheuttaa rakenteelle haittaa. Esimerkiksi kehäjäykistyksissä, laippaliitoksissa ja nostureiden komponenteissa. (Teräsrakenneyhdistys 2019, 9.)

Yrityksen porrastornissa käytetään kokonaisuudessaan esijännittämättömiä ruuviliitoksia, liitokset ovat konsolityyppisiä, tuulisiteitä lukuun ottamatta. Liitoksen ollessa esijännittämätön, liitoksen laskennassa ei oteta huomioon mahdollisia kitkan vaikutuksia.

### 5.3 Esijännittämättömät ruuvikokoonpanot

Ruuvikokoonpano tarkoittaa ruuvin, mutterin ja tarvittaessa aluslevyjen kokoonpanoa. Mikäli liitokset ovat esijännittämättömiä, kiinnikkeiden tulee täyttää EN 15048 mukaiset vaatimukset. Standardin EN 14399 mukaisia ruuvikokoonpanoja voidaan käyttää myös esijännittämättömiin sovelluksiin. Teräsrakenteiden ruuvikokoonpanon tulee olla korroosion kestävydeltään sama kuin liitettäväkokoonpano. (SFS-EN 1090-2 2018.)

Esijännittämätön ruuvikokoonpano tulee kiinnittää tiiviisti yhteen ja vähintään tiukkaan kiristykseen. Liitoksen ”tiukka kiristys” saavutetaan normaalikokoisella ruuviavaimella tai iskevää momenttiavainta käyttäen. Ylikiristämistä pitää varoa lyhyillä ruuveilla ja M12 ruuveilla. Ruuviryhmän kiristäminen tulee aloittaa kiinnityksen jäykimmästä kohdasta vähiten jäykkään kohtaan. Tasainen kireys voi vaatia useamman kiristyskierroksen. (SFS-EN 1090-2 2018.)

#### 5.3.1 Ruuvit ja mutterit

Teräsrakenteissa ruuvin nimellishalkaisijan tulee olla vähintään M12, mikäli pienempiä ruuveja käytetään, tulee ruuveja koskevat vaatimukset esittää. Ruuvin mitoituksessa tulee ottaa huomioon mutterin ulkopuolelle ulottuvan kierteen pituus sekä kierre. Pituuden tulee olla kiristämisen jälkeen vähintään yhden kierteen pituinen mutterin ulkopinnasta ruuvin päähän mitattuna, jota voidaan käyttää esijännittämättömissä sekä esijännitetyissä liitoksissa. Mutterin tulee olla vapaasti kiertävä yhteensopivan ruuvin kanssa, mikäli kokoonpanon mutteri ei pyöri vapaasti tulee kokoonpano hylätä. (SFS-EN 1090-2 2018.)

Standardin SFS-EN 15048-2:2016 mukaiset kuusioruuvit sekä mutterit seuraavat seuraavia EN-standardeja:

1. Luokka A ja B
  - EN ISO 4014, EN ISO 4017, EN ISO 4032 ja EN ISO 4033
2. Luokka C
  - EN ISO 4016, EN ISO 4018 ja EN ISO 4034
3. Tarvittaessa vallitsevat momentti mutterit
  - EN ISO 2320, EN ISO 7040, EN ISO 7041, EN ISO 7042 ja EN ISO 7719

Standardin SFS-EN 15048 mukaisen ruuvikokoonpanon kiinnikkeissä tulee olla lisäkirjaimet "SB" (Käytettäväksi rakenteellisissa ruuveissa), merkityksellinen eränumero ja ruuvikokoonpanojen tunnistemerkki tai valmistajan nimi. (SFS-EN 15048-2 2016.)

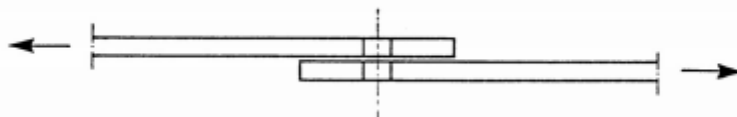
### 5.3.2 Aluslevyt ja rei'itys

Standardin SFS-EN 1090-2 mukaan liitettävän kokoonpanon rei'ille on määriteltä nimellisyvälykset (taulukko 3), joiden perusteella määritellään, onko reikä "normaali" vai "ylisuuri". Määrittä määrytyy reiän ja ruuvin nimellismittan perusteella. Käsitteet "lyhyt" ja "pitkä" määritellään reiän pituuden ja ruuvin nimellishalkaisijan erolla. Esijännittämättömissä ruuviliitoksissa ei ole tarvetta käyttää aluslevyjä, mikäli liitettävissä kappaleissa käytetään välykseltään normaaleita pyöreitä reikiä. Aluslevyjen käyttö vähentää pinnoitteen sekä materiaalin paikallisia vaurioita. (SFS-EN 1090-2 2018.)

Ruuvien tai niveltapin nimellishalkaisija (mm)	12 <sup>a</sup>	14	16	18	20	22	24	27 to 36 <sup>b</sup>
Normaalit pyöreät reiät <sup>c</sup>	1 <sup>d e</sup>		2					3
Ylisuuret pyöreät reiät	3		4				6	8
Lyhyet pidennetyt reiät (koko pituudelle) <sup>f</sup>	4		6				8	10
Pitkät pidennetyt reiät (koko pituudelle) <sup>f</sup>	1,5 d							

Taulukko 3. Nimellisyvälykset ruuveille ja niveltapeille (SFS-EN 1090-2 2018)

Mikäli aluslevyjä on tarkoitus käyttää esijännittämättämien ruuvikokoonpanojen kanssa, A- tai C- luokkiin kuuluvien ruuvikokoonpanojen kanssa voidaan käyttää vähintään kovuudeltaan 100 HV aluslevyjä teräksen, seosteräksen tai ruostumattoman teräksen kanssa. Kovuudeltaan 300 HV aluslevyjä vaaditaan lujuusluokille 8.8 ja 10.9 yksinkertaisessa päällekkäisliitoksessa (kuva 5), jossa käytetään yhtä ruuvia tai yhden rivin ryhmää. (SFS-EN 15048-2 2016.)

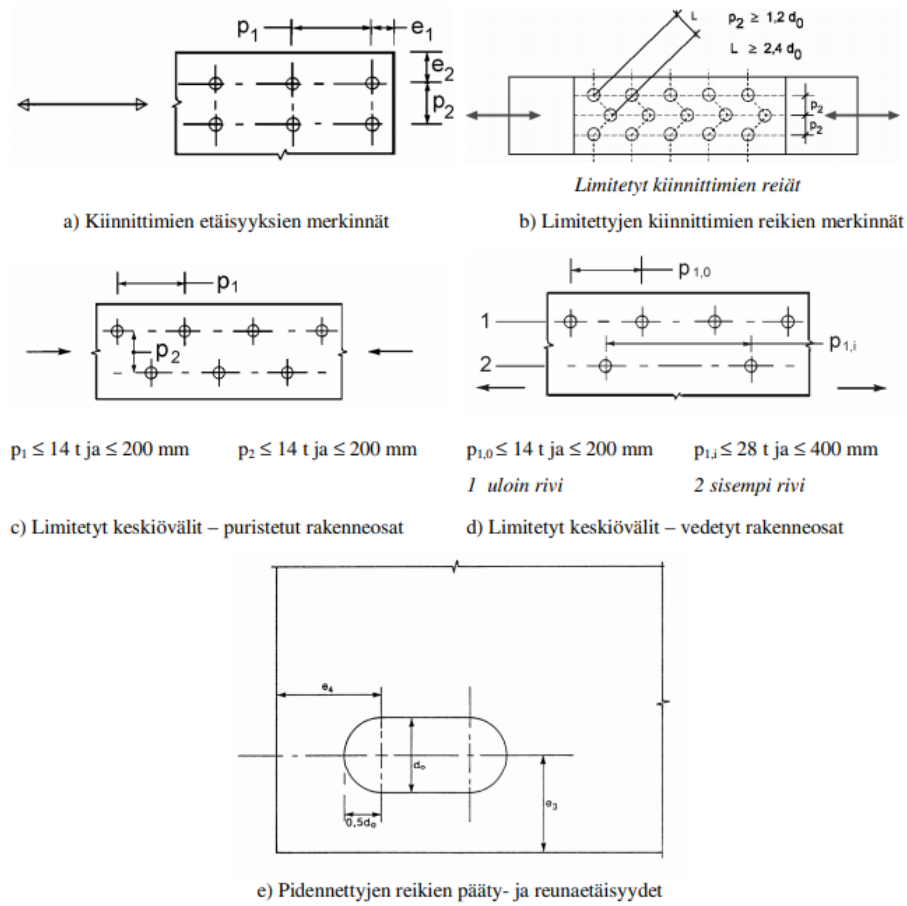


Kuva 5. Yksinkertainen päälekkäisliitos (SFS-EN 1993-1-8 2005)

”Pidennetyissä” rei’issä leveyssuunnassa nimellisvälyksen tulee olla sama kuin ”normaaleilla” pyöreillä rei’illä. Torneille ja mastoille pyöreiden reikine nimellisvälystä pienennetään 0,5 mm. Reikien keskiö, pääty- ja reunaetäisyyksien tulee täyttää taulukon 4 mukaiset arvot kuvan 6 mukaisesti. (SFS-EN 1090-2 2018.)

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo <sup>1) 2) 3)</sup>		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys $e_1$	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys $e_2$	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ or 125 mm
Etäisyys $e_3$ Pidennetyissä rei’issä	$1,5d_0$ <sup>4)</sup>			
Etäisyys $e_4$ Pidennetyissä rei’issä	$1,5d_0$ <sup>4)</sup>			
Keskiöväli $p_1$	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm

Taulukko 4. Reikien pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet (SFS-EN 1993-1-8 2005)



Kuva 6. Kiinnittimien pääty- ja reunaetäisyyksien sekä keskiövälin merkintä (SFS-EN 1993-1-8 2005)

#### 5.4 Ruuvilaskenta ja vauriomuodot

Ruuviliitokseen suunnitteluun liittyy useita eri vauriomuotoja, joiden vuoksi rakenteessa voi tapahtua muodonmuutoksia tai romahdus. Voimien jakautumista voi olla hankala hahmottaa monimutkaisissa ruuviliitoksissa. Tästä syystä nurkkaliitosta on tärkeä tutkia FEM-ohjelmistolla ja verrata tuloksia käsinlaskentaan. Porrastorin nurkkaliitoksessa kaikki ruuvit ovat leikkausvoiman rasittamia ruuveja, jotka syntyvät momentin tai suoran leikkausvoiman vaikutuksesta. Laskennassa ei oteta huomioon kitkan vaikutuksia.

Nurkkaliitoksen mahdolliset vauriomuodot ovat

- ruuvin poikkileikkautuminen
- reunapuristus
- palamurtuminen.



Ruuviliitosten suunnittelussa voimien ja momenttien tulee vastata realistista jakautumista. Jokaisen liitoksen osan tulee olla vähintään yhtä kestävä kuin tähän kohdistuvat voimat. Voimien ja momenttien jakaantumiseen liittyvät muodonmuutokset eivät ylitä kiinnittimien tai liitettävien osien muodonmuutoskykyä. (SFS-EN 1993-1-8 2005.)

Ruuvien leikkauskestävyys lasketaan kaavalla 7:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} \quad (7)$$

Missä:

$F_{v,Rd}$	Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo
$\alpha_v$	Tekijä, joka määritetään kyseeseen tulevan taulukon yhteydessä
$f_{ub}$	Ruuvien vetomurtolujuus
$A$	Ruuvien bruttopinta-ala. Kun kierteet ovat leikkaustasossa ( $A$ on ruuvien jännityspoikkipinta-ala $A_s$ )
$\gamma_{M2}$	Osavarmuusluku

Reunapuristuskestävyys lasketaan kaavalla 8:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} \quad (8)$$

Missä:

$F_{b,Rd}$	Reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo
$k_1$	Kohtisuorassa siirrettävään voimaan nähden pienin arvoista: - reunarivin ruuveille: $2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5 - Muille kuin pään ruuveille: $1,4 * \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ ja 2,5
$a_b$	Missä $a_b$ on pienin arvoista $a_d$ ; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ja 1,0;
$a_d$	Siirrettävän voiman suunnassa: - levyn pään ruuveille: $a_d = \frac{e_1}{3 * d_0}$ - muille kuin pään ruuveille: $a_d = \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}$

$f_{ub}$	Ruuvien murtolujuus
$f_u$	Perusaineen murtolujuus
$d$	Ruuvien halkaisija
$d_0$	Reiän halkaisija
$t$	Tarkasteltavan osan paksuus
$\gamma_{M2}$	Osavarmuuskerroin
$p_1$	kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys siirrettävän voiman suunnassa (Kuva 6).
$p_2$	viereisten kiinnitinrivien välinen keskiöetäisyys mitattuna siirrettävää voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (Kuva 6).
$e_1$	kiinnittimen reiän keskiön ja viereisen rakenneosan päädyn välinen päätyetäisyys mitattuna siirrettävän voiman suunnassa (Kuva 6).
$e_2$	kiinnittimen reiän keskiön ja viereisen rakenneosan reunan välinen reunaetäisyys mitattuna kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden (Kuva 6).

Pidennetyissä rei'issä ruuvien reunapuristus kestävyys on 0,6 kertaa reunapuristuskestävyys kuin normaaleissa tavallisissa pyöreissä rei'issä, kun vaikuttava voima tulee pituusakselin suhteen kohtisuoraan. Ylisuurissa rei'issä reunapuristus kestävyys on 0,8 kertaa reunapuristuskestävyys kuin reunapuristuskestävyys tavallisissa rei'issä. (SFS-EN 1993-1-8 2005.)

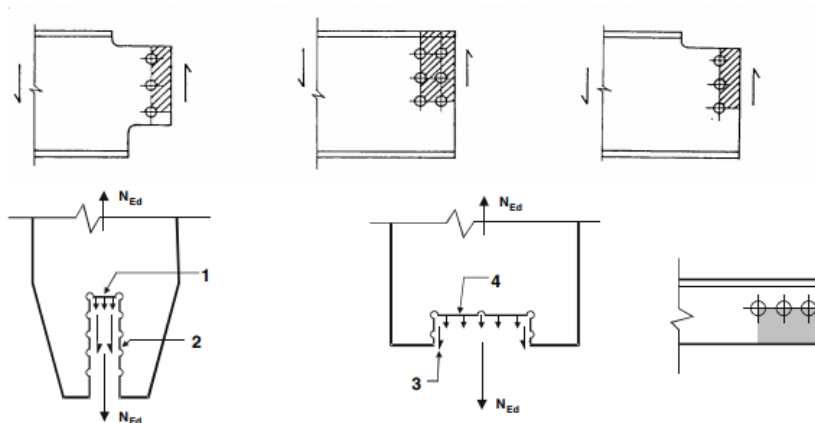
Mitoitus palamurtumisen suhteen lasketaan kaavalla 9:

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right) * \frac{f_y * A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad (9)$$

Missä:

$V_{eff,1,Rd}$	Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo
$f_u$	Perusaineen murtolujuus
$f_y$	Perusaineen myötölujuus
$A_{nt}$	Vedon rasittama nettopinta-ala
$A_{nv}$	Leikkauksen rasittama nettopinta-ala
$\gamma_{M2}$	Osavarmuuskerroin
$\gamma_{M0}$	Osavarmuuskerroin.

Palamurtuminen tapahtuu yleensä veto- ja leikkausmurtumisesta reikien muodostamaa rajaa pitkin (kuva 7). Mikäli ruuviryhmään kohdistuu epäkeskeinen voima, mitoitusarvo on 0.5 kertaa palamurtumiskestävyys. (SFS-EN 1993-1-8 2005.)

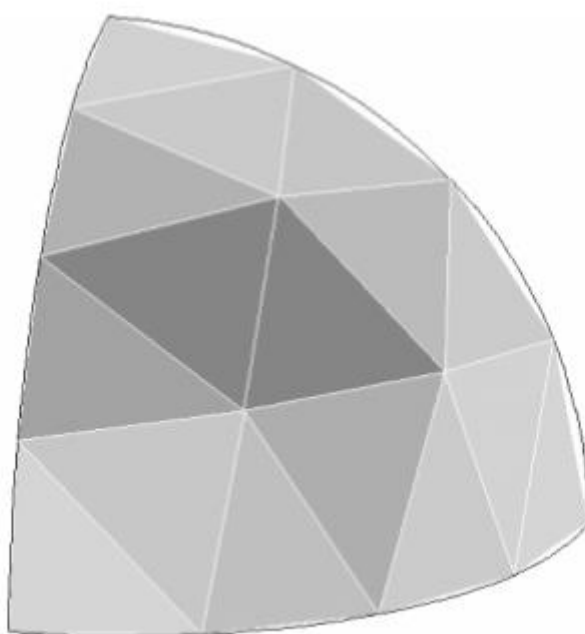


Kuva 7. Palamurtumisen eri muodot (SFS-EN 1993-1-8)

## 6 Porrastornin analyysi

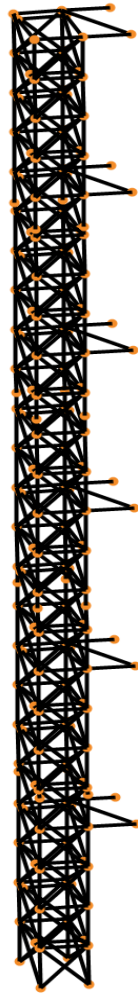
### 6.1 FEM-analyysi

Finite Element Method (FEM) -menetelmästä on tullut keskeinen tekniikka teknisten järjestelmien mallinnuksessa ja simuloinnissa. FEM on numeraalinen menetelmä, jolla etsitään likiarvottua ratkaisua ongelmakohdassa sijaitsevan alueen muuttujien jakaumasta, joka tehdään jakamalla ongelma-alue verkoksi (Kuva 8), jonka paloja kutsutaan elementeiksi tai soluiksi. Ilmiön käyttäytyminen riippuu alueen geometriasta, materiaalista sekä raja-, alku- ja kuormitus olosuhteista. (Liu & Quek 2003, 1–5.)



Kuva 8. Ongelma-alue jaettuna elementteihin (Liu & Quek 2003)

Porrastornille suoritetaan useita analyyseja, jolloin saadaan selville nurkkaliitoksen kohdistuva maksimi kuormitus murtorajatilassa. Porrastornista tehdään todellista tilannetta vastaava JIGI-malli kuvan 9 mukaisesti, jossa tarkastellaan rakenteen käyttäytymistä. JIGI-mallin liitokset tulee asettaa vastaamaan liitosmalliltaan todellista tilannetta, joita olivat nivelliitos, jäykkäliitos ja osittain jäykkäliitos.



Kuva 9. Porrastornin JIGI-malli

Oletetut liitosmallit rakenneanalyysissä:

- Diagonaalit ovat nivelöityjä.
- Tuulisteet ovat nivelöityjä.
- Nurkkaliitos on jäykkäliitos.

JIGI-analyysissä porrastornia tarkastellaan kahdella eri kuormitus tapauksella, joiden perusteella saadaan liitokseen vaikuttava maksimikuormitus. Kuormitustapauksissa tarkastellaan tuulikuorman vaikutusta molemmilta sivuilta yhdessä työskentelytasojen ja kulkutasojen vähimmäiskuorman kanssa murtorajatilassa. Porrastorni kiinnittyy vieressä olevaan rakennukseen tai rakenteeseen tuulisteillä. Tuulisteiden tarkoitus on estää tuulikuorman vaikutuksesta syntyvät siirtymät. Tuulikuormituksen ja tasokuormituksen käsin laskenta toimivat pohjana JIGI-mallissa, koska arvojen tulee olla verrattavissa JIGI-tuloksiin, jolloin niitä voidaan pitää luotettavina.

JIGI-analyysin perusteella analysoidaan nurkkaliitoksen komponentteja SOLIDWORKS-ohjelmistolla. JIGI-tuloksia verrataan tietyillä oletuksilla käsin laskettaviin tuloksiin, jolloin syntyy kokonaisvaltainen kuva nurkkaliitoksen kestävydestä. Oletuksena on, että käsin laske-  
malla ei saada kokonaiskuvaa, koska ei tiedetä, kuinka paljon kuormituksista kulkeutuu tuulisteiden kautta viereiseen rakenteeseen, joka vaikuttaa diagonaalien kautta nurkkaliitokseen.

Tuulikuormituksen vaikutukset diagonaaleihin on laskettu käsin, jossa diagonaalit välittävät vain vetävää voimaa. Tuulikuormituksen käsinlaskenta ei anna todenmukaista arvoa, koska siinä ei oteta huomioon tuulisteiden tai puristuksen vaikutusta. Tasokuormituksen vaikutukset ja voimien jakautuminen on tarkasteltu käsinlaskemalla, mutta tämä ei ota huomioon tuulikuormituksesta syntyviä momenteja ja voimia.

## 6.2 Tulokset

JIGI-mallista saatujen arvojen perusteella diagonaalien välityksellä syntyvän puristus- ja veto,kuorma yhdessä vastaavat riittävästi käsin laskennalla saatua vedon arvoa, sekä tasokuormituksen käsinlaskenta vastaa JIGI-mallista saatuja tuloksia. Tulosten perusteella pidän JIGI-mallin tulosta luotettavana, jonka perusteella voidaan suorittaa nurkkaliitokselle tuotekehityksen vaatimat tarkastelut.

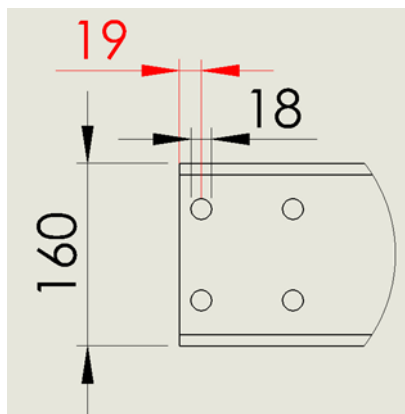
## 7 Nurkkaliitoksen tarkastelu ja kehittäminen

### 7.1 Nykyinen liitos

Tuotekehitys tehdään nykyiselle liitokselle, jossa tarkastellaan ruuvien määrää, osien tarpeellisuutta ja liitosta koskevia standardeja. Nurkkaliitoksen tarkastelu on rajattu särmättyihin levykiinnikkeisiin ja niiden ruuvikokoonpanoihin, joiden avulla liitoksen komponentit sidotaan pilarin ympärille. Nykyisille liitoksen komponenteille suoritetaan analyysi, jonka perusteella pystytään tarkastelemaan osien ja ruuvien tarpeellisuutta.

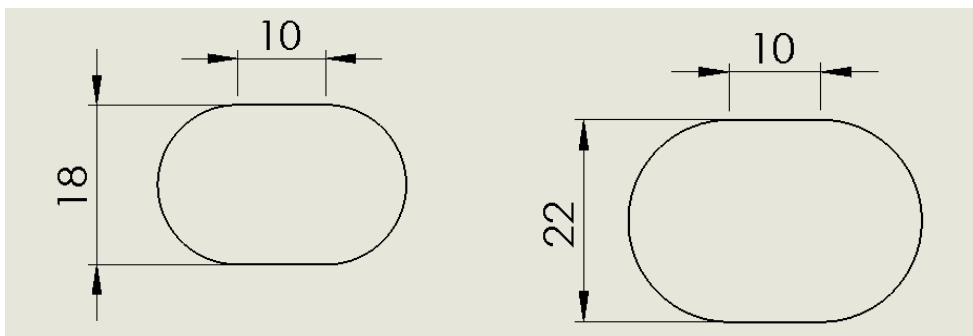
Tutkimuksen perusteella nykyisessä nurkkaliitoksessa on puutteita rei'issä, kiinnitystarvikkeissa ja reunaetäisyyksissä. Nykyisessä liitoksessa ilmenevät puutteet voivat perustua vanhaan tietoon tai johtua standardien väärin tulkinnasta.

Kuvan 10 U-palkissa sijaitsevat reiät eivät sijaitse vaaditulla reunaetäisyydellä eikä diagonaalien kiinnityksessä ole käytetty standardin SFS-EN 15048 vaatimaa HV300 aluslevyjä, vaikka kyseessä on yksinkertainen päällekkäisliitos.



Kuva 10. Reunaetäisyys

Nurkkaliitoksen nykyiset reiät luokitellaan nimitykseltään ”ylisuuri pyöreä reikä” tai ”ylisuuri pitkä reikä”. Ylisuuren pitkän reiän nimellisivälys ylittää standardin SFS-EN 1090-2 mainitut arvot torneja ja mastoja koskevien määräysten perusteella. ”Ylisuuri pyöreä reikä” nimitystä voidaan käyttää, mutta standardi SFS-EN 1993-1-8 ei tunne rei’illä käsitystä ”ylisuuri pitkä reikä”, jonka perusteella en ota kantaa nykyisen liitoksen kestävyYTEEN. Kuvassa 11 on esitetty nykyisessä nurkkaliitoksessa käytettävät ”ylisuuret ja pitkät reiät” pituuden ja halkaisin mukaan.



Kuva 11. ”Ylisuuri pitkä reikä”.

Standardin vastaisia reikiä on käytössä diagonaaleissa ja kiinnityslevyissä. Globaalien alkusiirtymät saavat olla ilman kuormitusta kaavan 1 mukaiset, jonka perusteella nykyiset diagonaalien ”ylisuuret ja pitkät reiät” ovat myös liian pitkät.

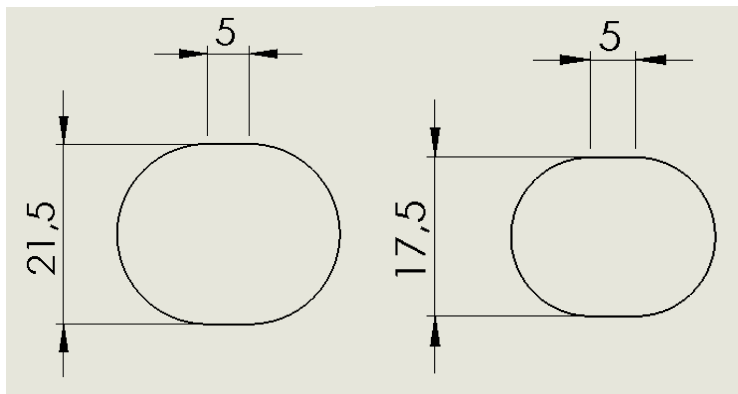
## 7.2 Uusi liitos

Tuotekehityksessä ensisijaisesti tärkeintä on saada nykyisen liitoksen pohjalle suunniteltu uusi liitos täyttämään kaikki sitä koskevat standardit, ja osoittaa kestävyys simuloimalla ja laskemalla osavarmuusmenetelmää käyttäen. Koska tuotekehitys koskee nykyistä nurkkaliitosta, tuotekehitys rajataan levykiinnikkeiden kestävyys, ruuvien määrään, reikien koon ja reunaetäisyyksiin. Nurkkaliitoksen voimat kulkevat ruuvien ja levyleikkeiden kautta, jolloin pidän niiden tutkimista tärkeimpänä.

Diagonaalien kiinnityslevy valmistetaan särmäämällä levyleikkeistä, jolloin tapahtuu mahdollisia mittaheittoja. Mittaheittojen takia levyleikkeissä käytetään uudessakin liitoksessa pidennettyjä reikiä. Kiinnityslevyissä sijaitsevien diagonaalien reikien pituuden tulee olla maksimissaan 5 mm (Kuva 10), jolloin epätarkkuuksista johtuva globaali siirtymä ei ylitä standardin SFS-EN 1993-1-1 asettamia arvoja.

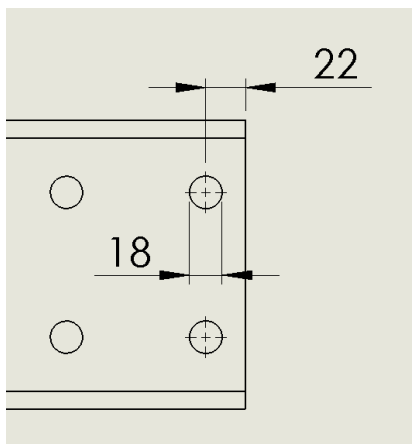
Pilareiden, U-palkkien, diagonaalien ja levykiinnikkeiden reikien nimellisvälystä tulee pienentää 0.5 mm, joka tulee ottaa huomioon laskennassa. Suosittelen, että nurkkaliitoksen reiät muutetaan täyttämään nimikkeet ”normaali pyöreä reikä” ja ”lyhyt pidennetty reikä”. Kuvassa 10 on esitetty ”lyhyt pitkä reikä”, joka on standardin mukainen, eikä salli globaalien alku siirtymän ylittävää arvoa. Pyöreinä reikinä voidaan käyttää ylisuuria tai normaaleja pyöreitä reikiä, joka tulee huomioida reunapuristuskestävyydessä.





Kuva 12. ”Lyhyt pidennetty reikä”

Nurkkaliitoksen ruuvikokoonpanoina tulee käyttää standardien EN 15048 tai EN 14399 mukaisia kiinnitystarvikkeita, diagonaalien ruuvikokoonpanossa tulee käyttää lukitsevaa mutteria, koska kyseessä on väsyttävän kuorman alainen liitos. Diagonaalien ruuvikokoonpanossa tulee käyttää kovuudeltaan HV300 aluslevyjä, koska kyseessä on yksinkertainen päällekkäisliitos. Muissa liitoksen ruuvikokoonpanoissa tulee käyttää kovuudeltaan vähintään HV100 aluslevyjä, mikäli niitä käytetään. U-palkin uusi reunaetäisyys esitetään kuvassa 13, joka täyttää taulukon 4 vaatimat arvot. Etäisyyden muuttaminen vaikuttaa pilarissa ja kiinnityslevyssä sijaitsevien reikien etäisyyksiin.



Kuva 13. Sallittu reunaetäisyys

### 7.3 Liitoksen lujuustarkastelu

Nurkkaliitos on todella monimutkainen lujuustarkastelun näkökulmasta, koska liitoksessa on monta komponenttia ja niihin kohdistuvia voimia. Voimien kulkua ja niiden todellista vaikutusta liitokseen on vaikea todistaa käytettävissä olevien ohjelmien ja oman kokemuksen perusteella, jonka vuoksi en muuta tai poista nurkkaliitoksesta lujuuteen liittyviä tekijöitä kuten ruuvikokoonpanoja tai komponentteja. Tarkastelen ruuvien ja kiinnityslevyjen kestävyyttä pintapuolisesti käsinlaskettujen ja SOLIDWORKS-ohjelmalla saatujen arvojen perusteella.

Särmätyille levykiinnikkeille suoritettun SOLIDWORKS-simulaation perusteella kiinnityslevyt kestävät niille suunnitellun käyttötarkoituksen. Analyysin tulee vastata riittävällä tarkkuudella todellista tilannetta, jonka vuoksi nykyisiin kappaleisiin on mallinnettu ruuvia vastaava tappi, jolloin levyleikkeeseen syntyy momenttia. Kiinnityspintoina on käytetty reikiä ja aluslevyjä vastaavaa pinta-alaa. Levykiinnikkeiden kuormituksessa käytetään JIGI-ohjelmalla saatuja arvoja yhdessä käsin laskettujen tasokuormituksesta syntyvien leikkausvoimien kanssa.

En pysty täydellistä kuvaa luomaan nurkkaliitoksen kestävydestä, mutta analyysien ja laskennan perusteella ruuviryhmistä ja diagonaalien kiinnityksestä huomio kiinnittyy diagonaalien kiinnitykseen. Diagonaalien kiinnityksessä mitoittavaksi tekijäksi muodostuu ruuvien reunapuristuskestävyys, joka johtuu ohuista kosketuspinnosta. Reunapuristuskestävyys ylittyy, kun lasketaan käsin ja oletetaan diagonaalien välittävän ainoastaan vetokuormitusta. JIGI-tulosten perusteella arvot eivät ylity, koska JIGI- tuloksissa diagonaalit välittävät myös puristavaa kuormaa. Jatkotutkimuksena suosittelen nurjahduksen tarkastelua diagonaaleille, koska en voi varmuudella sanoa ylittyykö reunapuristuksen arvot. Reunapuristuksen arvo ylittyi vedolla vähän sekä seuraavat vauriomuodot palamurtuminen sekä ruuvin poikileikkautuminen vaativat yli puolet suuremman kuormituksen, että saavuttavat kriittisen pisteen reunapuristukseen verrattuna.

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tekeminen on ollut aiheellinen nurkkaliitoksessa ilmenneiden puutteiden perusteella. Opinnäytetyön alkuperäinen tavoite oli perehtyä tarkemmin nurkkaliitoksen komponenttien tarpeellisuuteen ja lujuuslaskentaan. Oletukseni oli opinnäytetyötä aloittaessa, että nurkkaliitos täyttää kaikki sitä koskevat vaatimukset. Nykyisessä liitoksessa ilmenneiden puutteiden vuoksi päädyin kuitenkin parantamaan ja kehittämään nykyistä liitosta, jotta se täyttäisi sille asetetut vaatimukset.

Opinnäytetyö antaa yritykselle lisää tietoa porrastornia koskevista määräyksistä, standardeista ja vaatimuksista. Tuotekehityksessä luotiin yrityksen porrastornin rakenteeseen pieniä, mutta hyvin merkittäviä muutoksia kuten reikien koko- ja etäisyysmuutokset sekä aluslevyjen vaatimukset diagonaaleille. Mielestäni opinnäytetyön merkittävin saavutus on ruuviliitosta koskevien vaatimusten esilletuonnissa ja sen vaikutuksista ruuvien kestävyys, jotka ovat tärkeää tietoa yritykselle, joka suosii ruuviliitoksia. Tuotekehityksen tavoitteista porrastornin nopeampi kokoonpano aika tuskin parantuu tuotekehityksen tuloksena, koska nykyiselle liitokselle ei pystynyt tekemään suuria muutoksia ja vaatimukset tiukentuvat. Olen täyttänyt mielestäni hyvin opinnäytetyölle asettamani tehtävät ja tavoitteen.

Opinnäytetyön aihe on hyvin laaja ja porrastorneihin sekä sen toimivuuteen ja turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä on paljon. Minulle suodun ajan puitteissa ja ottaen huomioon opinnäytetyöltä vaadittu laajuus on joitakin vaikuttavia tekijöitä huomioitu vain pintapuolisesti kuten esimerkiksi tuulikuormitukset. Otin opinnäytetyössä tarkempaan tarkasteluun mielestäni yrityksen porrastornin nurkkaliitoksen kehityksen kannalta tärkeimmät asiat huomioon.

Tuulikuormituksen määrittämisestä on haastava tehdä helposti ymmärrettävä. Määrittäminen vaatii huomattavan paljon aikaa ja perehtymistä asiaan. Tuulikuormat eivät olleet opinnäytetyön pääasia, jonka vuoksi asiat ovat tuotu niukasti esille. Laskettu tuulikuormitus vaatii luultavasti henkilökohtaista avaamista yrityksen henkilökunnalle. Tulokset pätevät ainoastaan annetuilla lähtöarvoilla tehdyssä porrastornissa.

Jatkotutkimuksena mielestäni olisi kannattavaa suorittaa puhdasta tuotekehitystä erilaisilla liitostyypeillä. Tuotekehityksen tulisi pitää sisällään erilaisia liitoksia ja ottaa paremmin huomioon valmistettavuus ja kokoonpano. Porrastorniin liittyvissä jää- ja lumikuormissa voisi harkita jatkotutkimusta ääri-ilmiöille, jolloin porrastorniin voisi kertyä jäätä. Mielestäni sen tutkiminen tässä opinnäytetyössä ei ole oleellista, vaan tärkeintä on saada todellinen kuva normaalissa vallitsevassa tilanteessa.

Opinnäytetyön laajuus on yllättänyt, koska nurkkaliitoksen kokoonpano on monien standardien summa, jossa tulee helposti katsottua asiaa liian suppeasti. Mielestäni nurkkaliitoksen tulee täyttää kaikki standardit ennen kuin aletaan tekemään suuria muutoksia liitokseen. Tavoitteista puuttuu jatkoliitoksen lujuustarkastelu, jolle ei jäänyt aikaa tämän opinnäytetyön puitteissa. Porrastornin muiden kuin nurkkaliitokseen kuuluvien komponenttien lujuustarkastelu, kuten pilareiden nurjahdus tai U-palkkien momenttikestävyys menevät mielestäni opinnäytetyökokonaisuuden ohi, jonka takia näihin ei ole otettu kantaa. Tämän vuoksi suosittelem lisätutkimusta diagonaalien kiinnitykselle, jossa tutkitaan diagonaalien nurjahduskestävyyttä ja sen vaikutusta reunapuristuksen arvoihin.

## Lähteet

Kaitila, O. 2014. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 -kirjasarja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys.

Liu, G.R. & Quek, S.S. 2003. Finite Element Method: A Practical course. Elsevier Science & Technology.

Makkonen, L. 2011. Lumen ja jään kertymiseen liittyvät kuormitukset. Rakennustietosäätiö RTS. saatavilla <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110303.pdf>

SFS-EN 1090-2 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 15048-2 2016. Non-preloaded structural bolting assemblies. Part 2: Fitness for purpose. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1993-1-1 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1993-1-8 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14122-2 2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Teräsrakenneyhdistys. 2019. Ruuvikiinnitykset. Teräsnormikortti NO 23/2014. Viitattu 15.1.2021. Saatavissa [http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/859/ad67af4/Terasnormikortti\\_23\\_Ruuvikiinnitykset.pdf](http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/859/ad67af4/Terasnormikortti_23_Ruuvikiinnitykset.pdf)

Ympäristöministeriö. 2019. Rakenteiden lujuus ja vakaus, teräsrakenteet. Viitattu 27.1.2021. Saatavissa [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Terasrakenteet-2019-D829E0A3\\_9D8E\\_4730\\_8E6C\\_EF076B4642F2-126585.pdf/7638f113-2484-1ac7-096c-ec1a39dc5e4e/Terasrakenteet-2019-D829E0A3\\_9D8E\\_4730\\_8E6C\\_EF076B4642F2-126585.pdf?t=1603260654037](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Terasrakenteet-2019-D829E0A3_9D8E_4730_8E6C_EF076B4642F2-126585.pdf/7638f113-2484-1ac7-096c-ec1a39dc5e4e/Terasrakenteet-2019-D829E0A3_9D8E_4730_8E6C_EF076B4642F2-126585.pdf?t=1603260654037)

Ympäristöministeriö. 2019. Rakenteiden lujuus ja vakaus, rakenteiden kuormat. viitattu 16.12.2020. saatavilla <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Terasrakenteet-2019->

D829E0A3\_9D8E\_4730\_8E6C\_EF076B4642F2-126585.pdf/7638f113-2484-1ac7-096c-ec1a39dc5e4e/Terasrakenteet-2019-D829E0A3\_9D8E\_4730\_8E6C\_EF076B4642F2-126585.pdf?t=1603260

