

Maksim Somelar

# VÄRÄHTELEVÄN TERÄSRAKENTEEN SUUNNITTELU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2017

# VÄRÄHTELEVÄN TERÄSRAKENTEEN SUUNNITTELU

Somelar, Maksim  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Tammikuu 2017  
Ohjaaja: Sandberg, Rauno  
Sivumäärä: 35  
Liitteitä: 9

Asiasanat: teräsrakenteet, värähtelyt, rakennesuunnittelu, välipohjat, runkorakenteet

---

Opinnäytetyössä selvitettiin teräksisen värähtelevän välipohjan mitoitus- ja tutustuttiin tärinän vaikutukseen teräksisessä rakenteessa. Opinnäytetyössä käydään läpi todellisen ja olemassa olevan kohteen käyttäytymistä rakenteiden värähdellessä ja pyritään löytämään paras mahdollinen ratkaisu värähtelyjen hallintaan.

Välipohjien värähtelytarkastelut toteutetaan yleensä tietokoneavusteista FEM -laskentaa käyttäen, mutta suunnittelijan on silti osattava ymmärtää värähtelyä ja siihen liittyvää tietoa osatakseen tulkita saadun lujuusanalyysin tuloksia.

Opinnäytetyössä pyritään löytämään ratkaisuja kohteen ongelmiin vertailemalla keskenään ongelmaan soveltuvia erilaisia rakenteellisia vaihtoehtoja ja sitä kautta löytämään kohteeseen paras ratkaisu. Menetelmiä ongelmien ratkaisuihin etsittiin kirjallisuuslähteistä, kuten valmistajien, asiantuntijoiden ja alan järjestöjen julkaisuista sekä ajankohtaisista Eurokoodeista. Tiedonhaun yhteydessä huomattiin, että kattavimmat ja syventävimmät lähteet värähtelyn tarkasteluun löytyvät ulkomaisista lähteistä. Esimerkiksi Iso-Britanniassa aihetta ollaan alan järjestöjen kautta tutkittu syvällisemmin.

Opinnäytetyön lopputuloksena voidaan todeta, että värähtelevän teräsrakenteen suunnittelussa on ymmärrettävä värähtelyn vaikutukset rakenteelle, mutta osattava kuitenkin varautua niihin asianmukaisesti.

## DESIGNING OF VIBRATING STEEL STRUCTURE

Somelar, Maksim

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

January 2017

Supervisor: Sandberg, Rauno

Number of pages: 35

Appendices: 9

Keywords: steel constructions, vibrations, structural design, floors, frameworks

---

The purpose of this thesis was to investigate design of a steel floor for vibrations and to familiarize with the effects of shaking on steel constructions. This thesis is built around investigating shaking of an existing structure and to control the shaking of the structure by choosing best possible solution.

Vibration analysis for floor structures is usually done with computer assisted FEM -based program. Still, the designer of the construction, must understand how vibrations act and has to know how to use the information given from the program so he/she can profit from the vibration analysis.

In this thesis obstacles are encountered by comparing different structural solutions fitting the obstacle to find the best possible solution. Different solutions are found in different literature sources such as: publications of manufacturers, professionals or associations from line of business and Eurocodes. During information retrieval it was noticed that the most reliable and comprehensive sources for floor vibrations were found abroad. For example, in Great Britain floor vibrations are much more closely inspected because of the associations from line of business.

For the conclusion it can be said that designing of vibrating steel construction requires understanding of what the vibrations may do to the structure and ability to anticipate possible damage properly.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....	6
2.1 Tavoitteet.....	6
2.2 Toteutus.....	7
3 VÄLIPOHJAN VÄRÄHTELY .....	9
3.1 Määritelmä.....	9
3.2 Resonanssi ja ominaistaajuus .....	10
3.3 Värähtelyn hallinta .....	12
4 RAKENTEEN JÄYKISTÄMINEN.....	13
4.1 Jäykistämisen toteutus .....	13
4.2 Pystyjäykistys.....	14
4.3 Vaakajäykistys.....	15
5 VÄLIPOHJAN RAKENNE.....	16
5.1 Välipohjan toteutus.....	16
5.2 Palkit.....	17
5.3 Ristikko .....	18
6 RUNKORAKENTEET .....	21
6.1 Pilarit .....	21
6.2 Perustukset.....	22
6.2.1 Geotekniset ominaisuudet.....	23
6.2.2 Rakennetekniset ominaisuudet.....	24
6.2.3 Liitokset betoniosiin.....	26
6.3 Liitokset.....	27
6.3.1 Hitsatut liitokset.....	28
6.3.2 Pulttiliitokset .....	30
7 YHTEENVETO .....	32
LÄHTEET.....	33
VENÄJÄNKIELISET LÄHTEET.....	35
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Eurokoodi tunnistaa useita rakenteiden värähtelymitoituksen erikoiskysymyksiä, kuten puisen välipohjan värähtelyn sekä maanjäristyksen ja tuulen dynamiikan tarkastelun, joita on mahdollista soveltaa laskennassa. Teräksisen välipohjan värähtelyyn liittyviä laskentarutiineja Eurokoodi ei sisällä ja itse laskentaan tarvitaan yleensä jokin FEM - ohjelma, sillä Eurokoodin dynamiikkatarkastelut ovat osittain viimeistelemättömiä niiden sisältäessä otaksumia eikä vaikeimpia normeja ole vielä suomennettu. Puutteistaan huolimatta Eurokoodi on askel parempaan värähtelymitoitukseen. (Kiviluoma, 2010, 36.)

Viime vuosien lisääntynyt tarve nopeasti pystytettäviin, pinta-alaltaan laajoihin ja käyttötarkoitukseltaan joustaviin rakenteisiin on kasvanut. Materiaalina teräs on ainoa, joka pystyy nykyaikaisten rakennustekniikoiden varjossa tarjoamaan kaiken tämän kilpailukykyiseen hintaan. Useimmat monikerroksiset toimistorakennukset ja teollisuusrakennukset pääsevät värähtelylle sallittuihin arvoihin ilman suurempia rakenteellisia muutoksia, mutta värähtelylle herkät tilat, kuten sairaalat, teatterien näyttämöt tai laboratoriot ja värähtelevien koneiden kannattelevat rakenteet, joissa jäykempiä rakenteita vaaditaan, vaativat ratkaisuja, joihin teräksen ominaisuudet soveltuvat parhaiten. Oikein suunniteltu teräsrakenne voi vastata kaikkein tiukimpiinkin vaatimuksiin värähtelyn suhteen. (Steel construction: Floor vibration, 2016, 4.)

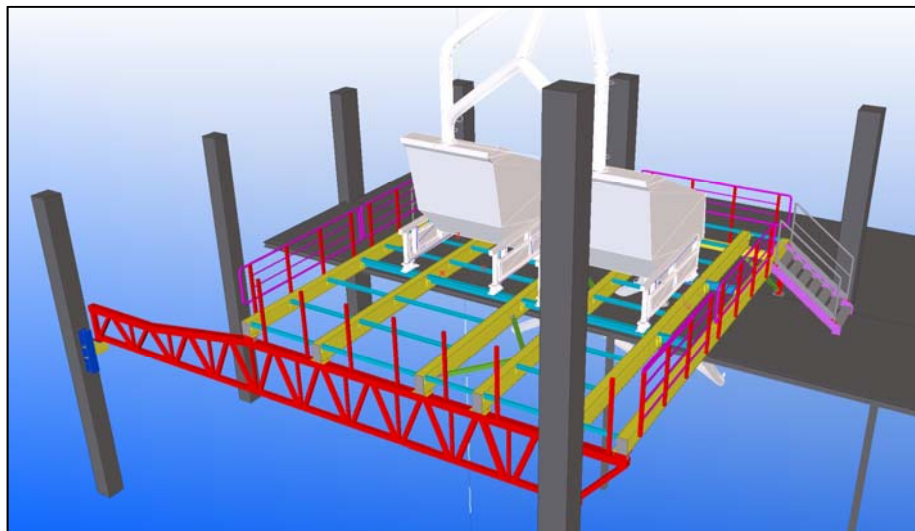
Opinnäytetyössä ei perehdytä olemassa oleviin laskentamalleihin eikä käsin laskentaa tapahdu lainkaan, vaan esimerkkejä värähtelyn hallintaan annetaan vertailemalla erilaisia rakenteellisia ratkaisuja keskenään. Laskennan teoriaa käydään läpi siihen kuitenkin syventymättä. Ratkaisuja vertaillen paras ratkaisu valitaan aina kohteen etujen mukaisesti. Kohteen luonteen vuoksi täytyy pitää silmällä tärinää, joka on otettava huomioon kaikissa rakenteissa välipohjasta perustuksiin sekä jäykistyksessä.

Opinnäytetyö tarjoaa ensisilmäyksen tärinään fysikaalisena ilmiönä siihen mitä se pahimmillaan vaimentamattomana voi aiheuttaa rakenteelle. Se kertoo mitä tärinä on, miten siihen voi vaikuttaa, ja antaa työkaluja toimivan ja tukevan rakenteen suunnitteluun. Työ voi toimia ponnahduslautana tärinänhallintaan silloin kun lukijalla ei aiheesta ole aikaisempaa tietoa, sekä antaa työkaluja ja vaihtoehtoja värähtelyjen vaimentamiseen rakenteessa niille, jotka aiheeseen jo aikaisemmin ovat perehtyneet.

## 2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

### 2.1 Tavoitteet

Opinnäytetyössä käsiteltävä kohde on teräsrakenteinen välipohja, jonka päälle tullaan sijoittamaan kaksi tärinää aiheuttavaa konetta. Asiakkaan kohteelle asettamat tarpeet aiheuttavat rakenteelle erityisvaatimuksia, jotka suunnittelussa on otettava huomioon. Opinnäytetyössä on tavoitteena tutkia näitä erityisvaatimuksia ja ratkaista niiden aiheuttamia ongelmia. Ratkaisuja pyritään löytämään useampia yhtä ongelmaa kohden, jotta ratkaisujen hyviä ja huonoja puolia pystytään vertailemaan keskenään parhaan mahdollisen lopputuloksen kannalta.



*Kuva 1: Rakenteen 3D -kuva.*

Välipohja tulee olemaan alttiina värähtelyille, joten on varmistettava, että rakenne toimii oikein. Rakenteen toimivuuden ja koneiden toimittaman prosessin kannalta on tärkeää, että vallitsevat värähtelyt saadaan vaimennettua sellaiselle tasolle, jossa ne eivät aiheuta haittaa. Välipohjan päällä olevien koneiden työprosessista irtoaa hienoa pölyä, jonka kerääntymistä rakenteisiin täytyy pyrkiä välttämään rakenteellisilla ratkaisuilla. Pölyn kasaantuessa suurissa määrin se kasvattaa omapainoa, mikä voi aiheuttaa odottamattomia muutoksia rakenteen toiminnassa.

Rakenteen alapuolelle on jätettävä varaus, joka riittää trukki liikenteen vaivattomaan toimintaan. Käytännössä tämä vaatimus vaikuttaa pilarien ja perustusten suunnitteluun. Pilareiden tapauksessa on otettava huomioon mahdollisten yhteentörmäyksien kuormat ja perustusten tapauksessa on mahdollistettava trukki liikenteelle esteetön kulku suunnittelemalla perustusten pinta laatan pinnan kanssa samalle tasolle.

Rakenne tulee sijoittumaan olemassa olevan betonirunkoisen teollisuushallin sisälle, jolloin suunnittelu helpottuu, kun rakenne on tuulen ja lumen aiheuttamilta kuormilta suojassa ja maapohja rakenteen alla on routimatonta. Olemassa olevia teollisuushallin runkorakenteita tullaan hyödyntämään rakenteen jäykistämiseksi kiinnittämällä välipohjan palkki- ja ristikkorakenteet teollisuushallin valmiisiin betonipilareihin. Vaikeuksia syntyy teollisuushallin lattian betonilaatan vuoksi, sillä laatan alla sijaitsee kanaaleja, joiden tarkkaa sijaintia ei hallin piirustuksista saada selville. Kanaalien johdosta lattialaatta ei tule kestäämään uuden rakenteen pilareiden aiheuttamaa pistekuormaa, vaan pilareiden kohdalta perustuksille on kehitettävä uusi ratkaisu.

## 2.2 Toteutus

Tällä hetkellä Eurokoodit tarjoavat lattiarakenteille suositusarvoja alimmille ominaistajuuksille, kuten 3 Hz tai 8 Hz, riippuen käytettävästä materiaalista, tai viittaavat ISO -standardeihin (JRC Report: Eurocodes Scientific and Technical Report, 2009, 6). Tähän perustuen saadaksemme parhaan ja ajankohtaisimman tiedon on välttämätöntä tarkastella myös muiden maiden tietokantoja. Opinnäytetyössä onkin lähteinä hyödynnetty Eurokoodin lisäksi muun muassa Kanadan, Australian, Iso-Britannian ja Venäjän ohjeita värähtelyn tarkastelussa. Myös jäykistyksen tutkimisessa on hyödynnetty Iso-Britannian ohjeistuksia. Teräsrakenteiden ja perustusten tarkasteluissa on hyödynnetty Venäjällä voimassa olevia standardeja. Pohjana kaikelle tiedolle on kuitenkin voimassa oleva Suomen rakennusmääräyskokoelma sekä Eurokoodit, mutta tietoa on pyritty syventämään myös ulkomailta saatavista lähteistä.

Opinnäytetyön kohteen runko on laskettu kokonaisuudessaan Robot Structural Analysis –ohjelmalla. Ohjelma on suunnittelijoiden käyttöön tarkoitettu työkalu, jolla voidaan tehokkaasti tehdä mille tahansa rakenteelle simulaatioita ja tarkasteluja. Ohjelmaa voi käyttää mm. tuulen aiheuttaman kuorman tarkasteluun sekä helpottamaan teräs- ja betonirakenteiden suunnittelua. Tässä kohteessa ohjelmaa käytettiin rakenteen statiikan tarkasteluun ja seulojen aiheuttaman värinän vaikutusten tutkimiseen. (Autodesk Inc., 2016.)

Kohde mallinnettiin myös käyttäen Tekla Structures –ohjelmaa. Ohjelmaa käytettiin projektin parissa työskentelevien kommunikation, dokumentoinnin ja rakennesuunnittelun helpottamiseksi. Tekla Structures -ohjelmalla laadittiin rakenteen piirustukset, kuten osa- ja kokoonpanopiirustukset, kokoonpanokaaviot ja osaluettelot. (Tekla, 2016.)

Detaljitasolla piirustusten laatiminen tapahtui AutoCAD –ohjelmalla, jossa on RAK7 -käyttöliittymä. Käyttöliittymä antaa mukautetut asetukset rakennesuunnittelun piirustusten laatimiseen, yleisimpien rakenteiden ja materiaalien kattavan kirjaston sekä monipuoliset editointi mahdollisuudet. Detaljit piirrettiin käyttäen muista projekteista otettuja detaljeja ja muokkaamalla ne tähän kohteeseen sopiviksi. (Arksystems, 2016.)

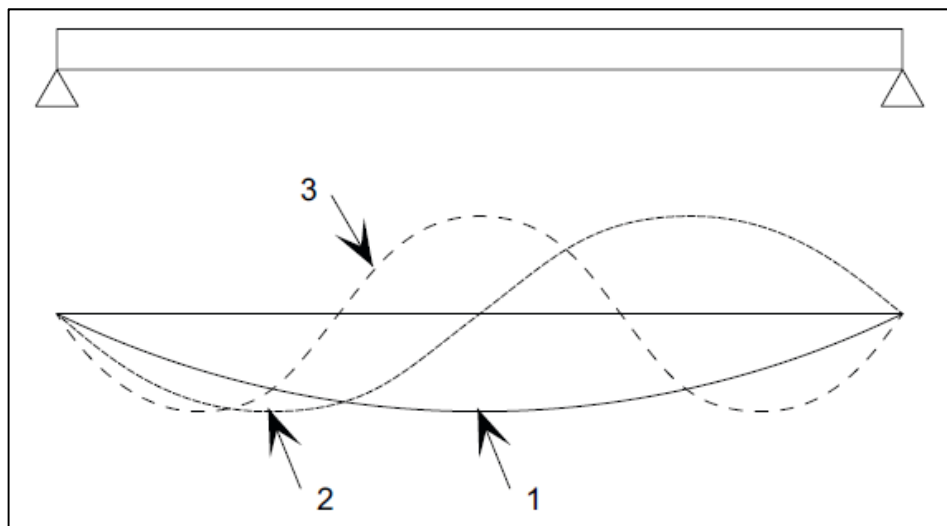


## 3 VÄLIPOHJAN VÄRÄHTELY

### 3.1 Määritelmä

Värähtely on jaksottaista liikettä, jolla on jokin taajuus ja amplitudi. Käytännössä värähtelevät välipohjat ovat monimutkaisia dynaamisia rakenteita, joilla on lukematon määrä eri värähtelyjaksoja, joista jokaisella on oma taajuus. Teoriassa kaikkein monimutkaisimpiakin värähtelysteemejä voidaan ajatella joukkona yksinkertaisia massan ja jousen yhdistelmiä, jotka värähtelevät vain yhdessä suunnassa. Näitä yksinkertaisempia systeemejä on helpompi ymmärtää teoreettisen käyttäytymisen tasolla. (Steelconstruction.info www-sivut, Floor vibrations, 2016.)

Palkilla on ominaistaajuus, joka vastaa ensimmäiseen alimpaan värähtelymuotoon. Tässä muodossa värähtely saavuttaa maksimiampitudin yhdessä kohtaa, keskellä palkkia. Toiseksi alimmassa värähtelymuodossa maksimiampitudi saavutetaan kahdessa kohtaa palkin ensimmäisen ja viimeisen neljänneksen kohdalla (Kuva 2). Teoriassa laskentamuotoja on ääretön määrä. Laskentaa helpottaa kuitenkin se, että huomioidaan vain kolme tai neljä ensimmäistä värähtelymuotoa, sillä seuraavat muodot yleensä vaimenevat pois palkin jäykkyyden vaikutuksesta. (Steel construction: Floor vibration, 2016, 6).



Kuva 2: Palkin värähtelymuodot (Steel construction: Floor vibration, 2016, 6).

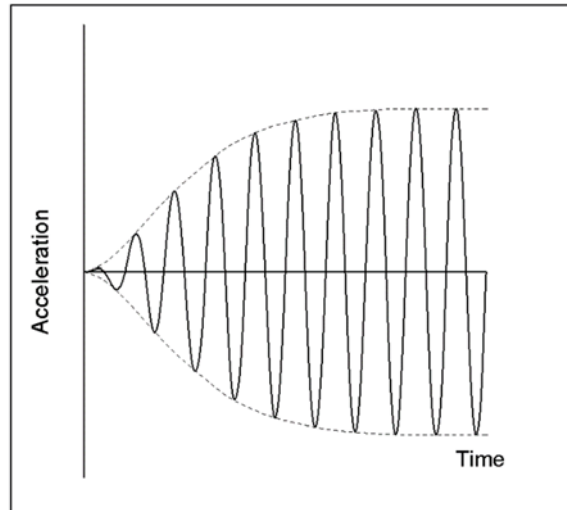
Välipohjan värähtelyn aiheuttaa jokin ulkoisen lähteen dynaaminen kuorma, kuten ihmisen toiminta tai koneet. Koneet aiheuttavat yleensä voimakkaampaa värähtelyä kokonsa ja tehonsa puolesta kuin ihmiset. Värähtely rakenteissa voi olla pelkästään häiritsevää, se voi vaikuttaa rakenteen kestävyysresonanssin moninkertaistaessa staattisen kuorman tai se voi aiheuttaa väsymistä rakenteisiin. (Steel construction: floor vibration, 2016, 5.)

Värähtelyn aiheuttamat ongelmat ovat useimmiten sidoksissa valittuihin rakenneratkaisuihin, joten värähtelyn huomioonottaminen on tärkeä osa rakennesuunnittelua toimivien ja kestävien lopputulosten kannalta. Värähtelyn huomioonottaminen jo suunnitteluvaiheessa antaa enemmän keinoja toimivan rakenteen suunnitteluun ja ehkäisee kalliita korjaustoimenpiteitä (Smith, Hicks & Devine, 2009, 20.)

Rakenteeseen vaikuttava värähtely aiheuttaa väsyttävää kuormitusta, joka voi pahimmillaan aiheuttaa jopa rakenteen murtumisen. Murtuminen voi tapahtua huolimatta siitä, että rakenne on suunniteltu kestäväksi staattiset kuormat. Koska tiedämme värähtelyn lähteen, voimme todeta, että kuormitus on vakioamplitudista ja aiheuttaa vakion jännitysvaihtelun. Väsyttävä kuormitus on siitä huolimatta vaihtelevaa sijainniltaan, suuruudeltaan ja/tai suunnaltaan. (Ongelin & Valkonen, 2012, 261.)

### 3.2 Resonanssi ja ominaistaajuus

Värähtelysystemiin kohdistuvan ulkoisen voiman vaikuttaessa vastaavalla taajuudella kuin jokin värähtelysystemin ominaistaajuus, syntyy värähtelysystemiin värähtelyä, joka voimistuu tasaisesti taajuuden jokaisella aallonhuipulla ja –pohjalla. Kun värähtelysystemissä ei ole minkäänlaista vaimennusta, värähtelyn amplitudi voi nousta huomattavasti korkeammaksi kuin ulkoisen voiman aiheuttama kuormitus. Tätä ilmiötä kutsutaan resonanssiksi. Mikäli resonanssiin ei puututa ja sen annetaan kehittyä vapaasti värähtelysystemissä, rakenteelle voi aiheutua peruuttamattomia muodonmuutoksia ja vahinkoa. (Steel construction: floor vibration, 2016, 7.)



Kuva 3: Resonanssin kehittymistä havainnollistava kuva (*Steel construction: floor vibration, 2016, 7*)

Tärkein värähtelevää systeemiä tutkittaessa tarvittava suure on ominaistajuus [Hz]. Ilman sitä, rakenteen värähtelyä ulkoisten voimien vaikutuksesta on mahdoton ennustaa. Kuvitellaan värähtely joka synnyttää ja purkaa kuorman yhden sekunnin sykleissä. Tällainen kuorma aiheuttaa mittavia ongelmia värähtelysteemissä, jonka ominaistajuus on 1 Hz. Sama värähtely systeemissä, jonka ominaistajuus on 100 Hz tai 0,001 Hz, ei aiheuta mitään reaktioita. Sama värähtely ei myöskään aiheuta minkäänlaisia ongelmia systeemissä, jonka ominaistajuus on 0,01 Hz. (Smith, Hicks & Devine, 2009, 5)

Välipohjat voidaan jakaa korkea- tai matalataajuuksiin rakenteisiin, jolloin matalataajuiset välipohjat ovat yleensä raskaita ja korkeataajuiset kevyitä. Kun välipohjan alin ominaistajuus on yli 10 Hz niin rakenne on korkeataajuisen. Vastaavasti alimman ominaistajuuden ollessa alle 10 Hz niin rakenne on matalataajuisen. Matalataajuisissa välipohjissa mitoituksessa määrääväksi tekijäksi nousee yleensä resonanssi. Korkeataajuisissa välipohjissa mitoitus tapahtuu välipohjan notkumisen tai värähtelyn ollessa määräävä tekijä. Tämän määräävän tekijän vaihtumisen vuoksi 10 Hz ominaistajuus on hämärää seutua aiheuttaen mitoituksessa epäjatkuvuutta. (Teräsnormikortti 17/2005, 2005, 3.)

### 3.3 Värähtelyn hallinta

Paras keino resonanssin hallintaan on puuttua rakenteen ominaistaajuuteen jo suunnitteluvaiheessa, jolloin ominaistaajuutta voidaan muuttaa rakenteellisilla ratkaisuilla, kuten massan lisäyksellä, jäykistämällä rakennetta tai tärinänvaimennuksella. Jänneväljen pituutta muokkaamalla saadaan muokattua ominaistaajuutta, vaikka tämä vaihtoehto on usein vaikea toteuttaa. (Steel construction: floor vibration, 2016, 13.)

Massan lisäys värähtelyssä mukanaoleviin rakenteisiin on yleensä tehokkain ratkaisu. Tämä tarkoittaa, että massan kasvatus tapahtuu joko muuttamalla värähtelyssä mukana olevien rakenteiden kokoa, kuten palkkien ainevahvuutta tai lattialaatan paksuutta. Myös jäykistämällä kantavia rakenteita saadaan suurempi osa rakenteesta osallistumaan värähtelysystemiin ja sitä kautta massa kasvaa. (Feldmann & Heinemeyer, 2007, 15). Massan lisäämisellä saadaan myös varmistettua, että rakenne ei värähtelee pystysuunnassa. (Steel construction: floor vibration, 2016, 7).

Tärinänvaimennus on teoriassa tehokkain värähtelyn hallintakeino. Huomattavaa vaimennusta voidaan saada aikaiseksi, kun tärinänvaimentimet sijoitetaan tärinän lähteen ja värähtelevän systeemin väliin eli tässä tapauksessa seulojen ja välipohjan väliin (Feldmann & Heinemeyer, 2007, 16).

## 4 RAKENTEEN JÄYKISTÄMINEN

### 4.1 Jäykistämisen toteutus

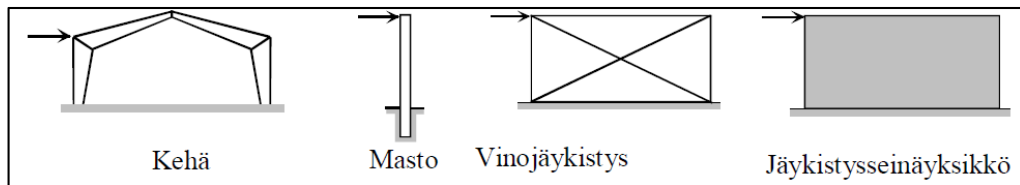
Teräsrungon täytyy kestää ulkoiset vaaka- ja pystykuormat ja niiden rasitukset. Ulkoinen vaakakuorma on esimerkiksi seulojen värähtelyn johdosta syntyvä teräsrungon tärinä ja ulkoinen pystykuorma on esimerkiksi seulojen paino. Tämän lisäksi teräsrungon yksittäisten rakenneosien, kuten palkkien ja pilareiden, täytyy kestää rakenneosan sisäiset rasitukset. Sisäisiin rasituksiin kuuluu esimerkiksi nurjahtaminen, lommahtaminen ja taipuma eikä niitä tarvitse siirtää perustuksille. Jäykistäminen ei siis tarkoita vain rakennuksen jäykistämistä, vaan rakennuksen ja yksittäisten rakenneosien stabiiliuden yhdistelmää. (Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje, 2006, 4.)

Teräsrungon jäykistämisen pohjimmainen tehtävä on siirtää vaakasuuntaiset kuormitukset perustuksille. Siirto perustuksille tapahtuu valitun jäykistämistavan avulla, mutta kaikissa jäykistämistavoissa on sama toimintamalli, jossa vaakarakenteet siirtävät vaakasuuntaiset kuormat jäykistäville pystyrakenteille. Robot Structural Analysis – ohjelmistolla voidaan rakenteen jäykkyydet selvittää melko luotettavasti, kunhan rakenteen 3D -mallissa ominaisuudet ja liittymät on mallinnettu mahdollisimman tarkasti vastaamaan todellisuutta. Mallissa on myös otettava huomioon, että materiaaliominaisuudet ovat oikeanlaiset ja liitokset pystyvät todellisuudessaakin välittämään tarvittavia voimia ja toimimaan oikein. (Betoniteollisuus ry, 2010.)

Rakenteessa esiintyviä vaakasuuntaisia kuormituksia pyritään hallitsemaan kahdella, keskenään kohtisuoralla jäykistysrakenteella: pystysuuntaisella ja vaakasuuntaisella jäykistyksellä. Vaakasuuntaisella jäykistyksellä pyritään siirtämään vaakakuormat pystysuuntaisille jäykisteille, jotka siirtävät kuormat edelleen kantaville rakenteille ja perustuksiin. (Brown, Iles & Yandzio, 2009, 19.)

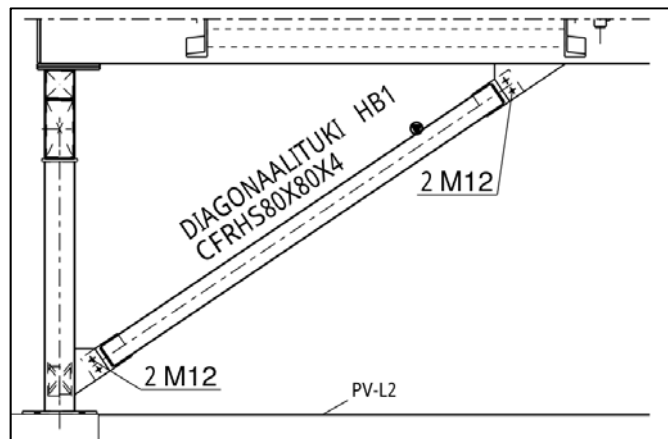
## 4.2 Pystyjäykistys

Teräsrunkoisten rakenteiden pystysuuntaiseen jäykistämiseen on olemassa useita keinoja ja niiden yhdistelmiä, kuten levyjäykistys, mastojäykistys, sydänmastojäykistys tai muu vastaava. Tähän kohteeseen luonnollisin valinta on käyttää ristikkojäykistystä eli vinojäykistystä, jota käytetään yleisimmin teollisuusrakennuksissa jäykistysmenetelmänä. (Ongelin & Valkonen, 2012, 454.)



Kuva 4: Esimerkkejä pystyjäykisteistä. (Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje, 2006.)

Ristikkojäykistyksessä vaakakuormat siirretään kantaviin rakenteisiin ja perustuksiin veto- ja/tai puristussauvoilla. Ristikkojäykistystä käytetään yleisimmin pilari-palkkirunkoisissa rakenteissa, joten jäykistysmenetelmä sopii tähän kohteeseen. Kohteessa ristikon paarteina toimivat pilarit sekä diagonaalituet. Tällaisessa kantavan pystyrakenteen osana toimivan ristikkorakenteen mitoituksessa täytyy huomioida vaakarakenteista syntyvät lisäkuormitukset diagonaalituelle. Tällainen lisäkuormitus on vaakarakenteiden painuminen, jota tässä kohteessa ollaan pyritty pienentämään suunnittelemalla palkkirakenteet ristikkorakenteisiksi kokonaisuuksiksi. (Betoniteollisuus ry, 2010)



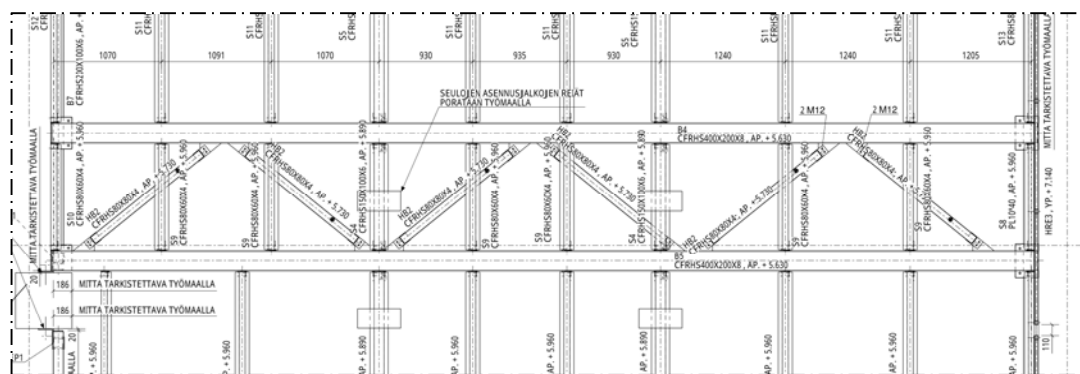
Kuva 5: Ristikkojäykistyksen diagonaalituki

Diagonaalituen ollessa noin  $45^\circ$  kulmassa vaakatasoon nähden, tuessa vaikuttavat sauvavoimat ovat kaikkein tasapainoisimmassa asemassa toisiinsa nähden. Jos pilarin ja diagonaalituen välistä kulmaa pienennettäisiin, tuki vastaanottaisi paremmin pystykuormia, mutta rakenteesta tulisi alttiimpi värähtelyille. Jos taas pilarin ja diagonaalituen välistä kulmaa suurennetaan, rakenteesta tulee tukevampi, mutta painuma vaikuttaisi tukeen enemmän. Koska tähän kohteeseen ei vaikuta muita vaakasuuntaisia kuormia kuin sokeriseulojen värähtely, on viisaampaa suurentaa pilarin ja diagonaalituen välistä kulmaa, jotta saataisiin tukevampi ja varmemmin toimiva teräsrunko. (Brown, Iles & Yandzio, 2009, 22.)

### 4.3 Vaakajäykistys

Vaakajäykistys voidaan toteuttaa joko levyillä tai diagonaalituilla toteutetulla ristikkorakenteella. Tässä kohteessa kävelytaso tulee muodostumaan pää- ja sekundääripalkkien väliin upotettavilla teräsritilöillä, joita ei kannata niiden aineominaisuuksien vuoksi kiinnittää palkkirakenteeseen siten, että syntyisi jäykistävä rakenne. Ainoaksi vaihtoehdoksi jää ristikkorakenne. Kohteen vaakajäykistys toteutettiin kahden pääpalkin väliin sijoitettavilla diagonaaleilla, jotka asennetaan noin  $45^\circ$  kulmaan, kohtisuoraan toisiaan nähden, jolloin diagonaalien liitoksiin syntyy aina vapaavälinen K-liitos. (Brown, Iles & Yandzio, 2009, 24.)

Vaakajäykisteenä toimivassa ristikkorakenteessa on tärkeää, että veto- ja puristussauvat ovat suunniteltu huolellisesti, sillä rakenne ei toimi halutulla tavalla tilanteessa, jossa teräsrunnossa esiintyvät kuormat eivät siirry liitoksissa rakenteelta toiselle. (Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje, 2006, 12.)

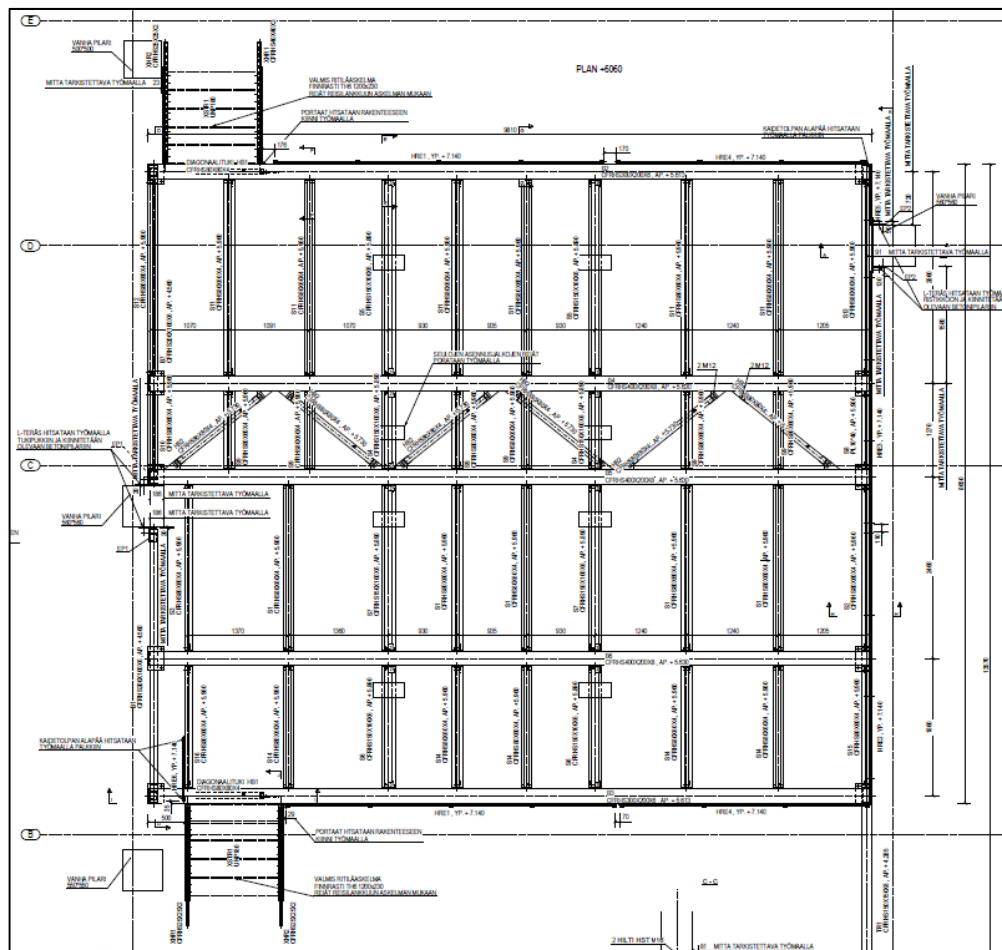


Kuva 6: Kohteen vaakajäykistys

## 5 VÄLIPOHJAN RAKENNE

### 5.1 Välipohjan toteutus

Välipohja tulee olemaan taso, jonka päälle kaksi tärinää aiheuttavaa seulaa asetetaan. Tasosta tehdään pinta-alaltaan tarpeeksi laaja, jotta seulojen ympärille jää riittävästi tilaa huollolle ja prosessin valvonnalle sekä prosessissa tarvittavien välineiden varastoinnille. Välipohjan rakenne muodostuu pääpalkkien ja sekundääripalkkien kokonaisuudesta, joka lepää kahden ristikon päällä. Pääpalkkien keskinäiset välit ja jännevälit määräytyvät olemassa olevien pilareiden perusteella. Sekundääripalkkien jännevälit määräytyvät pääpalkkien keskinäisten välien, seulojen koon ja kuormien sekä Robot Structural Analysis -ohjelmasta saatujen statiikkatulosten perusteella. Sekundääripalkkien ja pääpalkkien väliin asennetaan teräsritilät, jotka kiinnitetään palkkeihin valmistajan omilla kiinnikkeillä.



Kuva 7: Kohteen välipohja.



Välipohjan puoleenväliin päädyttiin laittamaan toinen palkkeja kannatteleva ristikko. Menettelyn tarkoituksena on saada palkkien jänneväli puolitettua, jolloin taipuma pienenee ja tämän seurauksena rakenteen värähtelyt saadaan hukutettua rakenteisiin. (Smith, Hicks & Devine, 2009, 22.)

## 5.2 Palkit

Käsiteltäessä koneiden alle sijoitettuja palkkeja, täytyy ottaa huomioon liikkeestä, värähtelystä ja muista syklisistä jännityksistä aiheutuvat kuormitukset, jotka voivat aiheuttaa väsymistä rakenteissa. Tällaisissa tilanteissa on valittava sellaisia rakenteellisia ratkaisuja, jotka aiheuttavat mahdollisimman vähän epäjatkuvuuskohtia, ja esimerkiksi liitosten ja liittimien on oltava sellaisia, että geometrisiä ja rakenteellisia epäjatkuvuuskohtia on mahdollisimman vähän. Rakenteille on tällaisissa tilanteissa suoritettava tarkastelu väsymisen suhteen. (СНП II-23-81, 2011, 67.)

Rakenteen pölyävän luonteen ja tärinästä aiheutuvien lisäkuormitusten perusteella pääpalkkien ja sekundääripalkkien profiiliksi valitaan suorakaiteen muotoinen rakenneputki. I-profiili on taloudellisesti parempi ratkaisu tilanteissa, joissa normaalivoima ja taivutusrasitus ovat vahvemmassa suunnassa. Suorakaideprofiili taas kannattaa valita tilanteissa, joissa heikomman suunnan taivutusrasitus on suuri, poikkileikkaukseen vaikuttaa vääntörasitusta tai normaalivoima on poikkeuksellisen suuri. Suorakaideprofiili on myöskin lyhyillä jänneväleillä stabiilisuudeltaan vahvempi vaihtoehto kuin I-profiili, kun kiepahdusta ei estetä millään tavoin. Profiilin valmistuksen taloudellisuuteen tai painonsäästöön profiilin valinnalla ei tarvitse puuttua kohteen pienen koon vuoksi. (Ongelin & Valkonen, 2010, 31.)

Kaikki palkit, jotka jäävät päistään auki, tukitaan käyttäen teräksistä täytelevyä, joka hitsataan palkin päähän kiinni. Tämän levyn tarkoitus on estää välipohjan päälle asetettavan laitteiston erittämän pölyn pääsemistä putkiprofiilin sisälle. Putken sisälle varastoitunut pöly on vaikeaa siivota ja voi aiheuttaa lisäkuormaa rakenteelle ja/tai vaikuttaa rakenteen ominaistaajuuteen. (Feldmann & Heinemeyer, 2007, 15). Palkin päähän hitsattava levy jäykistää palkkirakennetta, jolloin tukireaktio siirtyy palkin uumilta tuelle ilman huomattavaa poikkileikkauksen muodonmuutosta. (Ongelin & Valkonen, 2012, 412).

Kaikki kohteen pää- ja sekundääripalkit ovat koostaan riippumatta palkkirakenteita, jotka murtorajatilassa mitoitetaan taivutukselle sekä leikkaukselle ja käyttörajatilassa taipumalle. (СНП II-23-81, 2011, 67). Tässä kohteessa erityistä huomiota on kiinnitettävä palkkien taipumaan kohteen värähtelevän luonteen vuoksi. (Steel construction: floor vibration, 2016, 13).

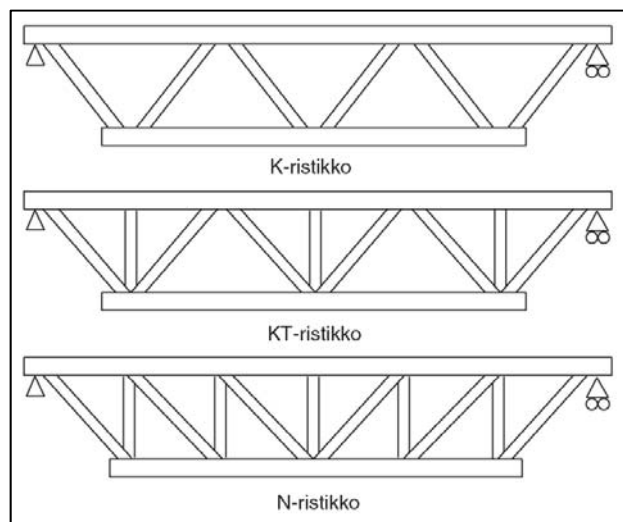
Rakenteen palkit valittiin yhdessä Robot Structural Analysis –ohjelman tulosten ja Rautaruukki Oyj:n suorakaiteen muotoisten rakenneputkien mittataulukon suositussarjojen mukaan (LIITE 1). Rakenteen keskimmäisiksi pääpalkeiksi (3kpl) valikoitui P400\*200\*8 mm ja reunoille (2kpl) P300\*200\*6 mm. Sekundääripalkeiksi seulojen alle P150\*100\*6 mm ja muualle 80\*60\*4 mm.

### 5.3 Ristikko

Ristikkoa suunniteltaessa täytyy ymmärtää, mistä ristikon kustannukset syntyvät. Ristikon kustannukset eivät synny pelkästään käytetyn teräksen painosta, vaan on muistettava myös konepajavalmistuksen ja työmaa-asennuksen tuomat kulut. Vapaavälinen hitsausliitos on helpompi, eli myös halvempi hitsata kuin limitetyt liitokset. Myös sauvojen määrää täytyy ajatella kriittisesti, sauvojen määrän ollessa suoraan verrannollinen hitsattavien liitosten määrään. Taloudellisesti kannattavampaa on käyttää kestävämpää rakenneputkea, mikäli se tarkoittaa liitoksien määrän vähenemistä. Parhaaseen ratkaisuun suunnittelija pääsee käyttämällä laskentaohjelmaa, jossa rakenneputken kestävyystiedot ovat mukana laskennassa, kuten kohteessa käytetty Robot Structural Analysis tai vaihtoehtoisesti WinRami. (Ongelin & Valkonen, 2012, 420.)

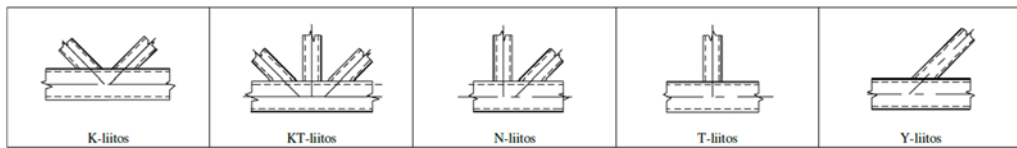
Puristuksen ja vedon rasittaman sauvan profiilina tehokkain on rakenneputki. Rakenneputken ansiosta ristikosta tulee kevyt verrattuna sen kantokykyyn. Suunnittelussa uumasauvoihin vaikuttaa ainoastaan normaalivoima, sillä perusolettamuksena on se, että paarteiden ja uumasauvojen väliset liitokset ovat nivelellisiä. Paarteet sen sijaan ovat jatkuvia rakenteita, joten taivutusrasitukset vaikuttavat niihin. (Ongelin & Valkonen, 2012, 420). Liitoksien tai uumasauvojen mitoituksessa taivutusmomentteja ei ole välttämätöntä tarkistaa, jos liitteen 2 laskentataulukoiden ehdot täyttyvät (LIITE 2).

Ristikkotyypeistä yleisimmät ovat K-, N- ja KT-ristikot, joista kohteeseen valittiin KT-ristikko. KT-ristikon nurjahduskestävyys on muihin ristikkotyyppeihin verrattuna paras tiheästi tuetusta yläpaarteesta johtuen. Ristikon alapaarten ja uumasauvojen väliset liitokset aiheuttavat huomattavia valmistuskustannuksia, vaikka kohteessa onnistuttiinkin suunnittelemaan ristikko siten, että liitokset ovat vapaavälisiä. Ristikkotyypeistä yksinkertaisin olisi ollut K-ristikko, mutta saman yläpaarten nurjahduskestävyyden kuin KT-ristikossa, aikaansaaminen olisi vaatinut hyvin raskaan yläpaarten. N-ristikon paras mahdollinen hyötysuhde saavutetaan lyhyissä ja korkeissa ristikoissa, joissa uumasauvojen voimat ovat suuria paarteissa esiintyviin voimiin verrattuna. N-ristikko olisi myös tullut hyvin kalliiksi uumasauvojen ja alapaarten liitosten johdosta. Ne joudutaan toteuttamaan N-ristikoissa limitettyinä liitoksina epäkeskeisyyksien vähentämiseksi. (Ongelin & Valkonen, 2012, 423.)



Kuva 8: Yleisimmin käytetyt ristikkotyypit (Ongelin & Valkonen, 2012, 423.)

Jotta rakenneputkien välisiä liitoksia koskevia soveltamissääntöjä voidaan käyttää, on varmistuttava, että paarteiden, uumasauvojen ja viereisten uumasauvojen välinen kulma on vähintään  $30^\circ$ , sauvojen päät on leikattu muuttamatta sauvan poikkileikkausmuotoa ja hitsien hitsaamiseen on jätetty riittävästi tilaa. Limitetyissä liitoksissa täytyy varmistaa riittävän suuri limititys sekä sauvojen päällekkäinen asettaminen sauvojen teräslajien, seinämien paksuuksien ja profiilin leveyden perusteella. Kohteen ristikossa ei kuitenkaan esiinny limitettyjä liitoksia, joten näitä kahta viimeistä vaatimusta ei tarvitse huomioida. (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 111.)



Kuva 9: Ristikossa käytettyjä liitostyypppejä. (SFS-EN 1993-1-8, 111.)

Paarreputkia valittaessa ratkaisevin kriteeri on nurjahduspituus eri akseleiden suunnissa. Mikäli nurjahduspituudet ovat samoja molempiin suuntiin, on järkevintä valita neliön muotoinen paarre. Jos nurjahduspituudet ovat eri akseleiden suunnissa huomattavasti eri suuruiset, suorakaiteen muotoisen paarreputken käyttö on asiallista. Suorakaiteen muotoista paarreputkea käytettäessä on kuitenkin muistettava, että leveä ja matala paarre on heikko leikkauslujuuden ja pinnan paikallisen lujuuden kannalta, kun taas korkea paarre on perusteltua tilanteissa, joissa esiintyy suurta taivutuskuormaa paarteella. Pyöreitä rakenneputkia ei kannata kohteen ristikkoihin harkita, sillä liitosten hitsaaminen on kaikissa tapauksissa helpompi toteuttaa käyttäen neliön ja suorakaiteen muotoisia rakenneputkia. Liitosten lujuuden kannalta paarteen seinämän kasvattaminen on hyvä, mutta haettaessa paarteelta parempaa nurjahduskestävyyttä, on edullisempaa kasvattaa paarteen ulkomittoja. (Ongelin & Valkonen, 2012, 425.)

Uumasauvoissa kannattaa valita ohutseinäinen ja ulkomitoiltaan suuri profiili, sillä sellainen uumasauva on paras valinta liitoksen lujuuden ja sauvan kestävyuden kannalta. Uumasauvan mitat valitaan siten, että uumasauvojen leveyden suhde paarteen leveyteen on 0,7 - 0,8. Voi kuitenkin syntyä tilanteita, joissa uumasauvat ovat samalevyisiä, jolloin täytyy kiinnittää huomiota osien väliseen liitokseen. (Ongelin & Valkonen, 2012, 427.)

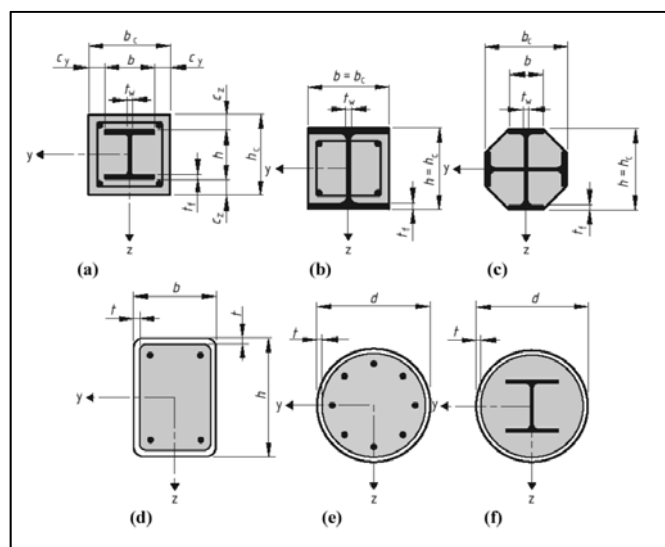
## 6 RUNKORAKENTEET

### 6.1 Pilarit

Kantavat pilarit tulevat olemaan liittopilarirakenteisia, joiden rakenne toteutetaan 300\*300\*8 mm rakenneputkella, jonka molempiin päihin hitsataan asennuslevyt. Asennuslevyjen keskelle leikataan halkaisijaltaan 100 mm kokoinen reikä, josta betoni kaadetaan rakenneputken sisään. Betonivalu tapahtuu työmaalla sen jälkeen, kun pilarit ovat asennettu paikalleen.

Liittopilarit voidaan toteuttaa joko raudoitettuina tai raudoittamattomina, vaikka yleensä suositetaan raudoitettuja liittopilareita, joissa raudoituksen tehtävä liittopilarissa on yleensä palonkestävyyden varmistaminen. Tässä kohteessa vaadittu palonkestävyys saavutetaan kuitenkin jo pelkällä rakenneputkella ja rakenneputken sisälle tulevan betonisydämen tehtävänä on värähtelyn ja trukki liikenteestä johtuvien törmäyskuormien vastaanottaminen sekä lommahduksen estäminen, joten raudoituksen käyttö kohteessa on tarpeetonta. (CTO 11251254.001-2016, 2016, 10.)

Liittopilareita suunniteltaessa on poikkileikkauksesta riippumatta tarkistettava rakenneosan kestävyys joko yleisellä tai yksinkertaistetulla suunnittelumenetelmällä lommahduskestävyys, kuormien siirtyminen sekä teräs- ja betoniosan välinen leikkauskestävyys. (SFS-EN 1994-1-1, 53.)



Kuva 10: Tyypillisiä liittopilaripoikkileikkauksia, joiden teräslaji on välillä S235...S460 ja betonin lujuusluokka välillä C20/25...C50/60. (SFS-EN 1994-1-1, 53.)

Yleinen suunnittelumenetelmä on tarkoitettu epäsymmetrisille tai pilarin pituudella muuttuville pilarin poikkileikkauksille. Kohteen liittopilarit ovat kuitenkin kaikki kaksoissymmetrisiä ja muuttumattomia poikkileikkaukseltaan, joten yksinkertaistettu suunnittelumenetelmä soveltuu paremmin kestävyuden varmistamiseen. (SFS-EN 1994-1-1, 54.)

Lommahdusta ei tarvitse huomioida, kun kyseessä olevassa puristetussa liittorakenteessa betoni on täysin ympäröity teräsprofiililla, kuten tässä kohteessa. (SFS-EN 1994-1-1, 54.)

Kuormien toimiva siirtyminen tapahtuu mekaanisella leikkausliitoksella, joka on suunniteltava kuormien siirtymisalueille ja kaikkiin niihin kohtiin, joissa pilarin poikkileikkaus muuttuu. Liitos on suunniteltava siten, että pilarille tulevat kuormat jakaantuvat teräs- ja betoniosien kesken, kun teräskuoren ja betonisydämen välinen leikkauskestävyys on huomioitu. Leikkausliitosta ei kuitenkaan tarvita tässä kohteessa, koska puristettuihin liittopilareihin siirtyvät kuormat siirtyvät päätylevyjen avulla. Tässä tapauksessa on kuitenkin varmistuttava, että betonipoikkileikkaus ja päätylevyjen rajapinta ovat jatkuvasti puristuksissa ja että suunnittelussa on otettu huomioon betonin viruma ja kutistuminen. (SFS-EN 1994-1-1, 61.)

Teräsprofiilin betonin kanssa kosketuksissa olevien pintojen on oltava puhtaita epäpuhtauksista, kuten maali, öljy, ruoste, pöly tai valssihilse. Tämän ehdon toteutuessa voidaan leikkauslujuuden mitoitusarvo valita valmiista listasta (LIITE 3). Mikäli ehto ei kuitenkaan toteudu on käytettävä tarkempaa menetelmää. Tässä kohteessa ehto kuitenkin täyttyy ja tarkempi tarkastelu on tarpeetonta. (SFS-EN 1994-1-1, 64.)

## 6.2 Perustukset

Rakenteena perustuksien pohjimmainen tehtävä on siirtää kuormat maapohjaan ylittämättä geoteknistä kantavuutta. Geotekninen kantavuus on se pohjapaine, jossa maapohja ei murru ja jossa painuma on riittävän pieni. (BY 211, 2014, 179.)

Rakenteelle asetettu suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta, joka tarkoittaa, että rakenteen on kestävä käyttökelpoisuutta, lujuutta ja stabiiliutta koskevat vaatimukset vähintään 50 vuoden ajan ilman ennalta-arvaamattomia vahinkoja. Jotta nämä ennalta määritetyt ehdot toteutuvat, rakenteen jokainen rakenneosia on suojattava vallitsevia ympäristöolosuhteita vastaan. Kohteen kaikkien pilarien perustukset ovat raudoitettuja ja sijaitsevat hyvin kuivissa olosuhteissa. Pilarien perustuksiin eivät vaikuta kemialliset rasitukset, kuten meriveden kloridit tai rakennuksessa säilytettävät nesteet, eikä fysikaalisia rasituksia synny kulumisesta, lämpötilan muutoksista tai veden tunkeutumisesta betoniin. Liitteestä 4 kohteen betoniosiin valitaan näiden ehtojen perusteella X0 (LIITE 4). (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC, 2015, 49.)

Betonilaattaa piikataan pilarin kohdalta betonin valutyön kannalta tarvittava alue. Laatan omat raudoitteet piikataan auki ja ne taivutetaan tartunnaksi anturaan. Näiden taivutettujen tartuntarautojen tehtävä on tehdä vahvikkeesta ja laatasta yhtenäinen ja yhdessä toimiva rakenne.

### 6.2.1 Geotekniset ominaisuudet

Yleisesti perustuksen syvyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat maaperän routimissyvyys, pohjaveden korkeus, perustuksien lähellä olevat/tulevat kaivannot sekä riittävän kantavan maakerroksen saavuttaminen. Maan routiminen on estetty rakenteellisilla ratkaisuilla jo olemassa olevassa rakenteessa. Tämä antaa varmuuden siitä, että pilareiden alla oleva maa ei tule routimaan. Pohjaveden pinta ei ole perustusten lähellä, joten tämäkään ehto ei tule vaikuttamaan perustusten rakenteellisiin ratkaisuihin eikä perustussyvyyteen. Perustusten alla tai läheisyydessä on kuitenkin kanaaleja, joiden tarkkaa käyttötarkoitusta ei selvitetty projektin aikana. Oletettavasti kanaalit ovat joko ilmakehän tai talotekniikalle jätettyjä varauksia. Betonilaatta, joka sijaitsee kanaalin yllä ei kestä pilareista aiheutuvaa pistekuormaa, joten riittävän kantava maakerros on saavutettava täyttämällä laatan alla olevat kanaalit maa-aineksella, joka ei painu perustusten alla tai tekemällä tarvittaessa massanvaihto kantavampaan maa-ainekseen. (SFS-EN 1997-1 + A1 + AC, 2014, 60.)

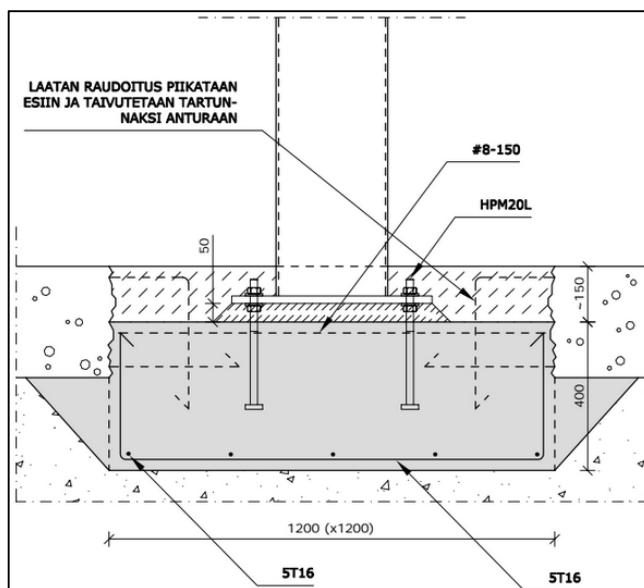
Määrääväksi kriteeriksi laskennassa useimmiten nousee painuma, jota perinteisesti hallitaan muuttamalla geoteknisiä ominaisuuksia, kuten paaluttamalla tai massanvaihdoilla (Rakennetuoteteollisuus RTT ry, 2011, 2). Kohteisiin, joiden perustuksiin vaikuttaa värähtelykuormitus, värähtelyt voivat aiheuttaa liiallista painumaa. Tässä ja vastaavissa kohteissa varmistetaan, ettei resonanssia pääse syntymään perustuksen ja maapohjan muodostamaan värähtelysteemiin rakenteellisilla ratkaisuilla. (SFS-EN 1997-1 + A1 + AC, 2014, 65).

Anturaperustusten mitoittamiseen on kolme mitoitusmenetelmää: Suora menetelmä, epäsuora menetelmä ja ohjeellisiin sääntöihin perustuva menetelmä (SFS-EN 1997-1 + A1 + AC, 2014, 60). Epäsuora menetelmä on laadittu ranskalaisen suunnittelukäytännön takia ja harvoin soveltuu suomalaisiin suunnittelukäytäntöihin. Suorassa menetelmässä jokainen rajatila tarkastetaan laskennallisesti. Murtorajatilassa tarkastetaan maaperän kantokestävyys ja käyttörajatilassa perustusten painuma. Ohjeellisiin sääntöihin perustuvaa menetelmää käytetään tilanteissa, joissa maaparametrejä ei joko tiedetä tai laskenta ei ole mahdollista/tarpeellista niiden perusteella. Kohteessa käytettiin ohjeellisiin sääntöihin perustuvaa menetelmää, jossa käytetään varmallalla puolella olevia mitoitus sääntöjä. (Rakennetuoteteollisuus RTT ry, 2011, 2).

### 6.2.2 Rakennetekniset ominaisuudet

Pilarianturassa, kuten muissakin teräsbetonirakenteissa, hyödynnetään teräksen ja betonin parhaita ominaisuuksia, siirtämällä venyttävät kuormat teräkselle ja puristavat voimat betonille. Vahvikkeen alapintaan sijoitettujen terästen tehtävä on vastaanottaa pilarin siirtämän kuorman ja painon aiheuttamaa vetokuormitusta ja samalla estää anturan alapinnan halkeilua. (Palolahti, 2011, 9).

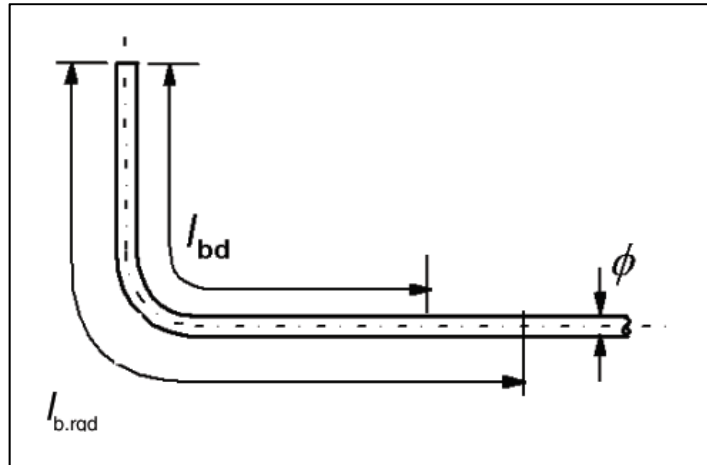




Kuva 11: Leikkauskuva kohteen perustuksista.

Pilariantura voidaan tehdä raudoitettuna tai raudoittamattomana, mutta tässä kohteessa pilariantura on tehtävä raudoitettuna, sillä anturan paksuus ei ole riittävän suuri anturan reunamittaan verrattuna (BY 211, 2014, 192). Kun maanvaraisesta pilarianturasta tehdään raudoitettu, täytyy laskennallisesti tarkistaa, että taivutus- ja lävistymiskestävyys ovat riittävät. Taivutuskestävyydessä kriittinen poikkileikkaus ja suositeltava tarkastuskohta ovat pilarin ulkopinnassa. Lävistymiskestävyyttä tarkasteltaessa paras keino lävistyskestävyyden parantamiseksi on kasvattaa pilarianturan korkeutta. (Rakennetuoteollisuus RTT ry, 2011, 6).

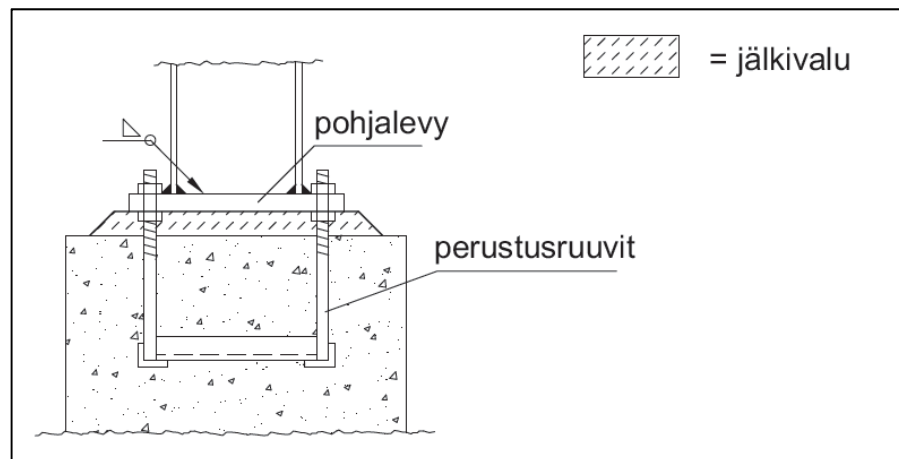
Betonirakenteissa ankkuroinnin tarkoitus on, että raudoituksen tartuntavoimat siirtyvät betonille kuitenkin aiheuttamatta betonipinnan rikkoutumista, kuten halkeilua tai lohkeilua. Tämä tarkoittaa laskennassa, että tartuntalujuuden on oltava tarpeeksi suuri. Tartuntalujuus on riippuvainen käytetyn raudoituksen pinnan ominaisuuksista sekä betonin vetolujuudesta. Kohteessa ankkurointia on jouduttu taivuttamaan, johtuen tilan puutteesta. Tällaisissa tapauksissa betoni voi vahingoittua taivutetun raudan sisäpuolelta, ellei vahingoittumista ole estetty käyttämällä oikeankokoista taivutustelaa raudan taivutuksessa. Ankkurointia suunniteltaessa on huomioitava, että rautojen taivutukset ja koukut vaikuttavat vetovoiman ankkurointiin positiivisesti, mutta puristusvoiman ankkurointiin ne eivät vaikuta lainkaan. (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC, 2015, 131.)



Kuva 12: Ankkuroinnin peruspituus mitattuna keskiviivaa pitkin (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 132.)

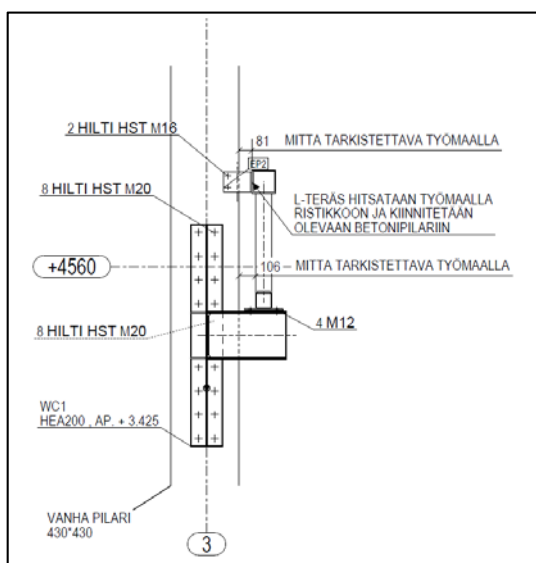
### 6.2.3 Liitokset betoniosiin

Pilarin alapäähän on hitsattu pohjalevy, johon betoniperustukseen valetut perustusruuvit kiinnitetään. Pilarit asennetaan vapaasti seisovina, joten perustusruuveja on oltava vähintään neljä kappaletta asennuksen aikaisten rasiusten kantamiseen. Perustusruuvit kiinnitetään toisiinsa kulmateräksen avulla, jotta keskinäiset välit pysyvät sallituissa toleransseissa ja pysyvät paikallaan valun aikana. Perustusruuvien valintaan vaikuttaa veto- ja leikkauskestävyys sekä yhdistetty veto- ja leikkauskestävyys. Tämän kohteen tapauksessa määräävä kuormitustapaus oli kuitenkin asennusaikainen tilanne, joten perustusruuvit valittiin nurjahduskestävyyden perusteella. (Ongelin & Valkonen, 2012, 247.)



Kuva 13: Peruspulttiliitos pilarin ja perustusten välillä. (Ongelin & Valkonen, 2012, 247.)

Liitoksessa leikkausvoiman siirtyminen pilarille on tarkasti huomioitava asia. Valittu liitos aiheuttaa pilarille epäkeskisyyttä leikkausvoiman synnyttäessä pilarille taivutusmomenttia. Liitos on kuitenkin edullinen valmistaa verrattuna ratkaisuihin, joissa epäkeskisyyttä pyrittäisiin hävittämään. Tässä ja vastaavissa liitoksissa paarteiden päät jäykistetään levyillä, jotka hitsataan paarteiden päihin. Tämän menettelyn ansiosta paarteiden sisälle ei pääse tuotannosta aiheutuvaa pölyä. Suurin hyöty jäykistyksestä saadaan kuitenkin pistekuormakestävyydelle. (Ongelin & Valkonen, 2012, 430.)



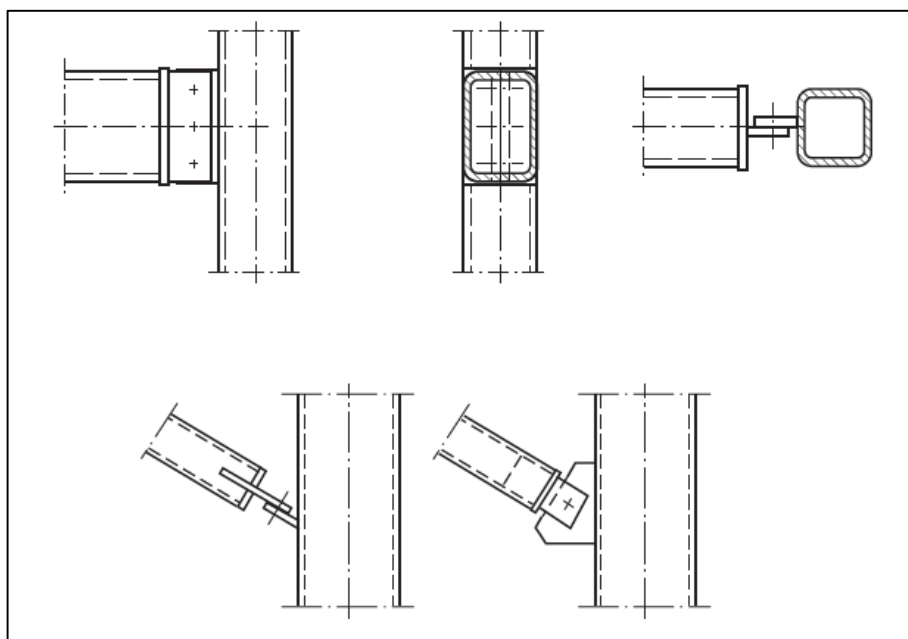
Kuva 14: Ristikon kiinnitys olemassa olevaan pilaariin.

### 6.3 Liitokset

Liitoksissa, joita leikkausvoima kuormittaa ja joihin kohdistuu värähtelyä, suositellaan käytettäväksi jotakin seuraavista kiinnitysmenetelmistä: nitit, hitsiliitokset, injektio-, esijännitetyt tai lukittuvat ruuvit sekä ruuvityypit, jotka estävät liitettävien osien liikkumisen. (SFS-EN 1993-1-8, 20.)

Yksi kohteessa käytettäväksi muodostuva liitos on uumalevyliitos (Kuva 15). Uumalevyliitos on edullinen valmistaa ja helppo asentaa, minkä vuoksi se on yleisesti suosittu liitosmenetelmä. Kohteen liitos koostuu levystä, joka on hitsattu pääpalkkiin ja diagonaaleihin hitsatusta vastakappaleesta, jotka kiinnitetään toisiinsa pulttikiinnityksellä. (Steelconstruction.info www-sivut, Simple connections, fin plates, 2016.)

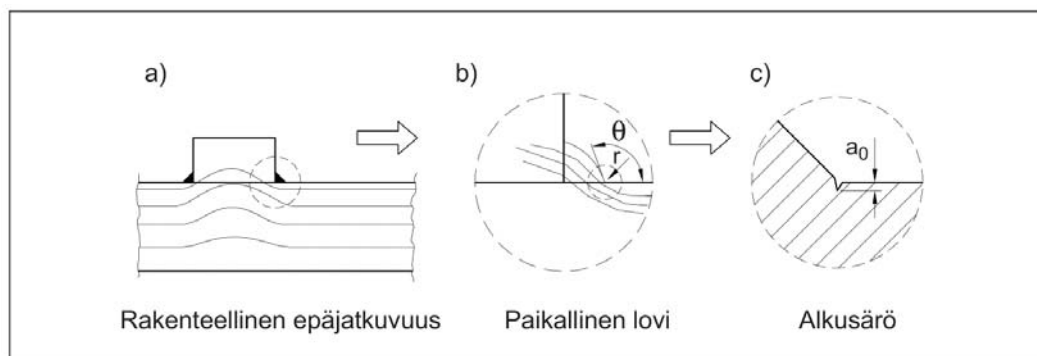
Uumalevyliitoksissa leikkausrasitus vaikuttaa eniten joko pääpalkin ja hitsatun kiinnityslevyn leikkauskohdassa tai pulttien keskiviivaa pitkin palamurtumisen muodossa. Uumalevyliitoksissa, joissa on pitkä liitos, kuten tässä kohteessa, on liitos mitoitettava myös nurjahtamisen suhteen. (Steelconstruction.info www-sivut, 2016). Päätylevyjen käyttö liitoksissa tekee liitoksesta jäykän, mutta pituustoleranssi on tiukempi. (Ongelin & Valkonen, 2012, 230).



Kuva 15: Esimerkkikuva rakenteen uumalevyliitoksista (Ongelin & Valkonen, 2012, 230.)

### 6.3.1 Hitsatut liitokset

Rakenteessa esiintyy hitsausliitoksia mm. ristikkorakenteissa sekä palkkirakenteissa. Osa liitoksista, kuten pilarin ja ristikon liitos, on toteutettu pulttiliitoksella, mutta liitosta varten on rakenteisiin hitsattu erilliset kiinnityslevyt. Kaikissa hitsatuissa liitoksissa on kuitenkin pieniä alkusäröjä, joita väsyttävä kuormitus kasvattaa. Ehjä materiaali taas on vaarassa ydintyä väsyttävän kuormituksen vaikutuksesta. Ydintymisessä syntyy alkusärön kaltainen särö, joka syntyy ehjän materiaalin vetojännityksen ja puristusjännityksen vaihtelusta. Se alkaa heti ensimmäisestä jännitysvaihteluista joiden lukumäärä murtumiseen johtavaan vahinkoon riippuu kuormituksesta. Normaaleissa tapauksissa voidaan kuitenkin olla varmoja, että perusaine on kestävämpi kuin hitsausliitos. Tämän myötä voidaan todeta, että rakenteen väsymiskestävyyteen vaikuttaa merkittävästi hitsaustyön laatu. (Ongelin & Valkonen, 2012, 261.)

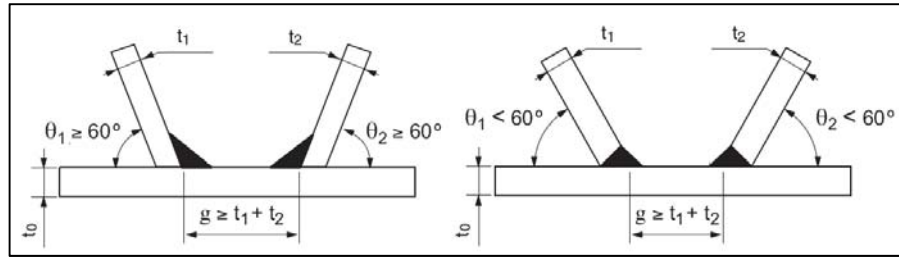


Kuva 16: Tyypillinen alkusärön sijainti (Niemi E, 2003, 136)

Rakenteen hitsatut liitokset tulevat olemaan kaikki pienahitsejä, sillä ehdolla, että hitsattavien osien liitospintojen välinen kulma on vähintään  $60^\circ$  ja enintään  $120^\circ$ . Alle  $60^\circ$  kulmassa ja yli  $120^\circ$  kulmassa olevat liitokset toteutetaan tarkoitukseen soveltuvilla pulttiliitoksilla. Rakenneputkien väliset hitsausliitokset toteutetaan liitettävän rakenneputken ympäri hitsattavalla pienahitsillä. Päistään auki jäävien rakenneputkien päihin hitsataan täytelevyt, jotka ovat kooltaan samankokoiset kuin rakenneputken pään poikkileikkaus. Rakenteisiin hitsattavat kiinnityslevyt hitsataan myös pienahitsillä paikalleen työmaalla tai etukäteen, riippuen liitoksen laadusta. (SFS-EN 1993-1-8, 41.)

Hitsausliitoksen kulman ei pidä koskaan olla pienempi kuin  $30^\circ$ , jotta liitoksen terävän kulman hitsaus olisi käytännössä mahdollista. Loivan kulman leikkaaminen vaikeutuu, sillä pienetkin virheet leikkauksessa aiheuttavat liitosta haurastuttavia ilmarakoja. (Ongelin & Valkonen, 2012, 428.)

Ristikon liitoksia on olemassa vapaavälisinä ja limitettyinä. Tässä kohteessa esiintyy ainoastaan vapaavälisiä liitoksia johtuen liitostyyppin halvasta valmistuksesta ja liitostyyppin mahdollistamasta kokoonpanon sovitustoleranssista. Limitetyt liitokset ovat työläämpiä valmistaa ja sovitustoleranssit ovat tarkkoja, mutta niiden kestävyys on parempi ja epäkeskeisyys voidaan poistaa kokonaan tarkalla suunnittelulla. Vapaavälisissä liitoksissa neliönmuotoiset uumasauvat voivat aiheuttaa paikoin suurtakin epäkeskeisyyttä, joka puolestaan aiheuttaa alapaarteelle taivutuskuormaa. Vapaavälisissä liitoksissa mitoittavaksi suureeksi nousee usein leikkauskestävyys. (Ongelin & Valkonen, 2012, 428.)

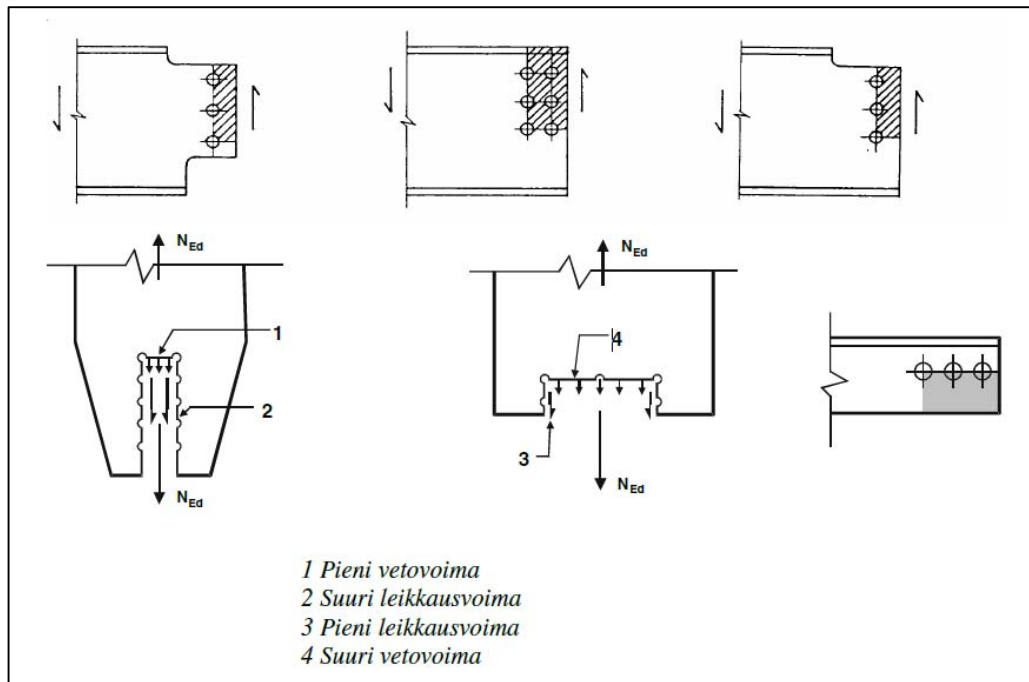


Kuva 17: Vapaavälisen liitoksen vapaavälin minimiarvo. (Ongelin & Valkonen, 2012, 428.)

### 6.3.2 Pulttiliitokset

Ruuvien esijännitys parantaa väsymiskestävyyttä vedetyissä ruuviliitoksissa. Tapauksissa, joissa esijännitysvoima on suurempi kuin liitoksen vetokuormitus, väsyttävä kuormitus pienenee. Epäkeskisyydestä aiheutuvat lisärasitukset voidaan vedetyissä laippaliitoksissa minimoida asettamalla ruuvit mahdollisimman lähelle hitsiä. Esijännityksestä on hyötyä myös liitoksissa joihin vaikuttaa leikkausvoimaa, jolloin osa voimasta siirtyy liitoslevyjen välisen kitkan avulla vähentäen reiän reunalle syntyvää jännitystä. Ehtona tällaiselle toimivalle liitokselle on, että liitoslevyjen välinen kitka on riittävän suuri tai ruuvi voi luistaa reiän reunaan ja esijännityksen edut häviävät. Yleisesti ottaen reikä on väsymiskestävyyden kannalta parempi porata kuin muotoleikata, vaikka reiän muotoleikkaaminenkin on sallittua. (Ongelin & Valkonen, 2012, 302.)

Rei'ille täytyy myös määrittää nimellisvälys toimivan liitoksen aikaansaamiseksi. Nimellisvälys tarkoittaa pyöreillä rei'illä reiän halkaisijan ja ruuvin halkaisijan erotusta ja pitkillä rei'illä reiän pituuden tai leveyden ja ruuvin halkaisijan eroa. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. 2014. 90.) Nimellisvälykset saadaan liitettä 5 käyttäen, kunhan ruuvin koko tiedetään. Ruuvien asentamisen helpottamiseksi ja liitoksen kestävyysvarmistamiseksi keskiövälit sekä pääty- ja reunaetäisyydet täytyy tarkistaa liitteen 5 mukaisesti. Väsytytkuormitetuille liitoksille keskiövälit, reuna- ja päätyetäisyydet on laskettu liitteen 5 mukaan. (LIITE 5)



Kuva 18: Palamurtuminen (SFS-EN 1993-1-8, 35.)

Leikkausrasitettut liitokset tulee mitoittaa myös palamurtumisen suhteen. Palamurtuminen syntyy pulttiliitoksissa, joissa perusaineen leikkauksen rasittamassa pinnassa tapahtuu leikkausmurtuminen ja samaan aikaan vedon rasittamassa pinnassa tapahtuu vetomurtuminen. Murtuminen etenee aina reikien keskilinjoja pitkin, joten reikien sijoittamisella voidaan vaikuttaa liitoksen kestävyYTEEN. (SFS-EN 1993-1-8, 34.)

## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli oman tietämyksen lisääminen teräsrakenteiden värähtelystä ja teräsrakenteiden suunnitteluun liittyvien lainsäädäntöihin, ohjeisiin ja Eurokoodeihin perehtyminen. Tarkoituksena oli myös tarjota perustietoa värähtelystä, tärinästä ja näiden hallitsemisesta.

Eurokoodit sisältävät useita esimerkkejä eri värähtelytapauksista, joita pystytään soveltamaan teräksisen välipohjan värähtelyn laskennassa. Eurokoodien tarve olla koko Euroopan yhtenäinen normisto aiheuttaa tahattomasti sen, että siitä tulee vaikeasti luettava ja sen läpikotainen tunteminen on välttämätöntä pystyäkkeen suunnittelemaan teräksisen värähtelevän välipohjan. Useimmiten laskennassa joudutaan turvautumaan johonkin FEM -ohjelmaan laskentarutiinien puuttuessa.

Värähtelevän teräsrakenteen onnistuneessa mitoituksessa suunnittelija on ottanut huomioon alimman ominaistaajuuden aiheuttamat suunnittelumenetelmät, jotta resonanssia ei rakenteisiin pääse syntymään. Hän on suunnitellut jäykistyksen olosuhteiden varjossa ja hän ymmärtää valittujen rakenneratkaisujen hyödyt ja haitat sekä osaa hallita näitä. Suunnittelijalle tärkeintä on osata käyttää värähtelyjen mitoitukseen käytettävää FEM -ohjelmaa, joka on käytännössä ainoa taloudellisesti kannattava ratkaisu laskea värähtelyjä. FEM -ohjelman laadukas käyttö vaatii värähtelyihin perehtymistä ja niiden toiminnan ymmärtämistä, jotta saatuja laskentatuloksia voidaan varmuudella hyödyntämään.

Teräksisen välipohjan värähtelyn käyttäytymiseen tarkoitettuja ohjeita Suomessa on vähän ja ne ovat pää osin vanhentuneita uusimpien ollessa 2000 -luvun alkupuolelta ja pääosan ollessa 1990 -luvun loppupuoliskolta. Tästä syystä johtuen jouduin hakemaan paljon perustietoa ulkomaisista lähteistä. Toivon, että tästä opinnäytetyöstä joku asiaan perehtymätön saisi apua värähtelyjen ymmärtämiseen, mutta samalla toivon, että joku ottaisi tehtäväkseen tutkia FEM -laskentaohjelmien käyttöä värähtelymitoituksessa sekä värähtelyjen käsin laskentaa rakenteen materiaalista riippumatta ja laatisi opinnäytetyön aiheista.



## LÄHTEET

- Arksystems in www-sivut. 2016. Viitattu 20.10.2016.  
<http://www.arksystems.fi/tuotteet-rak.htm>
- Autodesk Inc.: n www-sivut. 2016. Viitattu 12.9.2016.  
<http://www.autodesk.com/products/>.
- Betoniteollisuus ry. 2010. Jäykistysjärjestelmät. Viitattu 19.10.2016.  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys>.
- Brown D. G, Iles D. C. & Yandzio E. 2009. Steel Building Design: Medium Rise Braced Frames. Berkshire: The Steel Construction Institute.
- BY 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja –osa 2. 2014. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- Feldmann, M. & Heinemeyer, C. 2007. Background Document for Floor Vibrations. Human Induced Vibration of Steel Structures. [http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/docs/Guideline\\_Floors\\_EN02.pdf](http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/docs/Guideline_Floors_EN02.pdf).
- JRC Report: Eurocodes Scientific and Technical Report by M. Feldmann, Ch. Heinemeyer, Chr. Butz, E. Caetano, A. Cunha, F. Galanti, A. Goldack, O. Hechler, S. Hicks, A. Keil, M. Lukic, R. Obiala, M. Schlaich, G. Sedlacek, A. Smith, P. Waarts. Design of floor structures for human induced vibrations. 2009. Design of floor structures for human induced vibrations. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.  
<http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpublication.php?id=187>.
- Kiviluoma R. 2010. Siltarakenteiden värähtelymitoitus: värähtelymitoituksen periaatteet. Luento siltaeurokoodien koulutuksessa 29.3.2010.
- Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 4 -oppikirja. 2012. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry & Suomen Betoniyhdistys ry.
- Niemi E. 2003. Levyrakenteiden suunnittelu. Tekninen tiedotus 2/2003. Teknologiateollisuus ry. Teknologiainfo Teknova Oy.
- Ongelin, P. & Valkonen, I. 2010. Hitsatut Profilit EN 1993-käsikirja. Rautaruukki Oyj.
- Ongelin, P. & Valkonen, I. 2012. Rakenneputket EN 1993-käsikirja. Rautaruukki Oyj.
- Palolahti, T. 2011. Pienrakentajan betoniopas. Helsinki: Betoniteollisuus.
- Puurakenteiden jäykistyssuunnittelun ohje. 2006. VTT. Viitattu 3.11.2016.  
[www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/jaykistys\\_2006.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/jaykistys_2006.pdf).
- Rakennetuoteollisuus RTT ry/ Betoni. 2009. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Osa 2: Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. Viitattu 16.11.2016. <http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992>.
- Rakennetuoteollisuus RTT ry/ Betoni. 2011. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Osa 6: Perustukset. Viitattu 15.11.2016.  
<http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992>.

Rautaruukki Oyj:n www-sivut. 2016. Viitattu 17.10.2016.  
<http://www.ruukki.com/fin/b2b>.

SFS-EN 1090-2+A1. 2008. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 31.10.2016. <http://www.sfs.fi>.

SFS-EN 1992-1-1+A1+AC. 2015. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 31.10.2016. <http://www.sfs.fi>.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 25.10.2016. <http://www.sfs.fi>.

SFS-EN 1993-1-9. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-9: Väsyminen. Suomen Standardisoimisliitto SFS Helsinki: SFS. Viitattu 1.11.2016. <http://www.sfs.fi>.

SFS-EN 1994-1-1. 2005. Betoni-teräs-liittorakenteiden suunnittelu, Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 1.11.2016. <http://www.sfs.fi>.

SFS-EN 1997-1 + A1 + AC. 2014. Geotekninen suunnittelu. osa 1: Yleiset säännöt. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 16.11.2016. <http://www.sfs.fi>.

Smith A.L, Hicks S.J. & Devine P.J. 2009. Design of Floors for Vibration: A New Approach. Berkshire: The Steel Construction Institute.

Steel construction: Floor vibration. 2016. London: British Constructional Steelwork Association BCSA. [http://www.steelconstruction.info/images/7/7c/Steel\\_construction\\_-\\_Floor\\_vibration.pdf](http://www.steelconstruction.info/images/7/7c/Steel_construction_-_Floor_vibration.pdf)

Steelconstruction.info www-sivut. 2016. Simple connections, fin plates. Viitattu 5.12.2016. [http://www.steelconstruction.info/Simple\\_connections#Fin\\_plates](http://www.steelconstruction.info/Simple_connections#Fin_plates).

Steelconstruction.info www-sivut. 2016. Floor vibrations. Viitattu 15.12.2016. [http://www.steelconstruction.info/Floor\\_vibrations](http://www.steelconstruction.info/Floor_vibrations)

Teklan www-sivut. 2016. Viitattu 20.10.2016.  
<https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>.

Teräsnormikortti N: o 17/2005. 2005. Kävelystä aiheutuvat välipohjien värähtelyt. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.  
<http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/toiminta/normikortit/>.

Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 -oppikirja. 2014. 2. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

## VENÄJÄNKIELISET LÄHTEET

СНиП 2.02.01-83\*. 2011. Основания зданий и сооружений, Актуализированная редакция, (Bases of buildings and structures). Министерство регионального развития Российской Федерации (Ministry of Regional Development of Russia). Moskova: Министерство регионального развития Российской Федерации (Ministry of Regional Development of Russia).

СНиП II-23-81. 2011. Стальные конструкции, (steel structures). Министерство регионального развития Российской Федерации (Ministry of Regional Development of Russia). Moskova: Министерство регионального развития Российской Федерации (Ministry of Regional Development of Russia).

СТО АРСС 11251254.001-2016. 2016. Сталелазобетонные конструкции. Правила проектирования, (Composite steel and concrete structures, Design rules). Ассоциация по развитию стального строительства (Steel Construction Development Association). <http://www.steeldevelopment.ru/upload/iblock/cbc/cbc09762f65d49c3e48246a77f5ffea3.pdf>

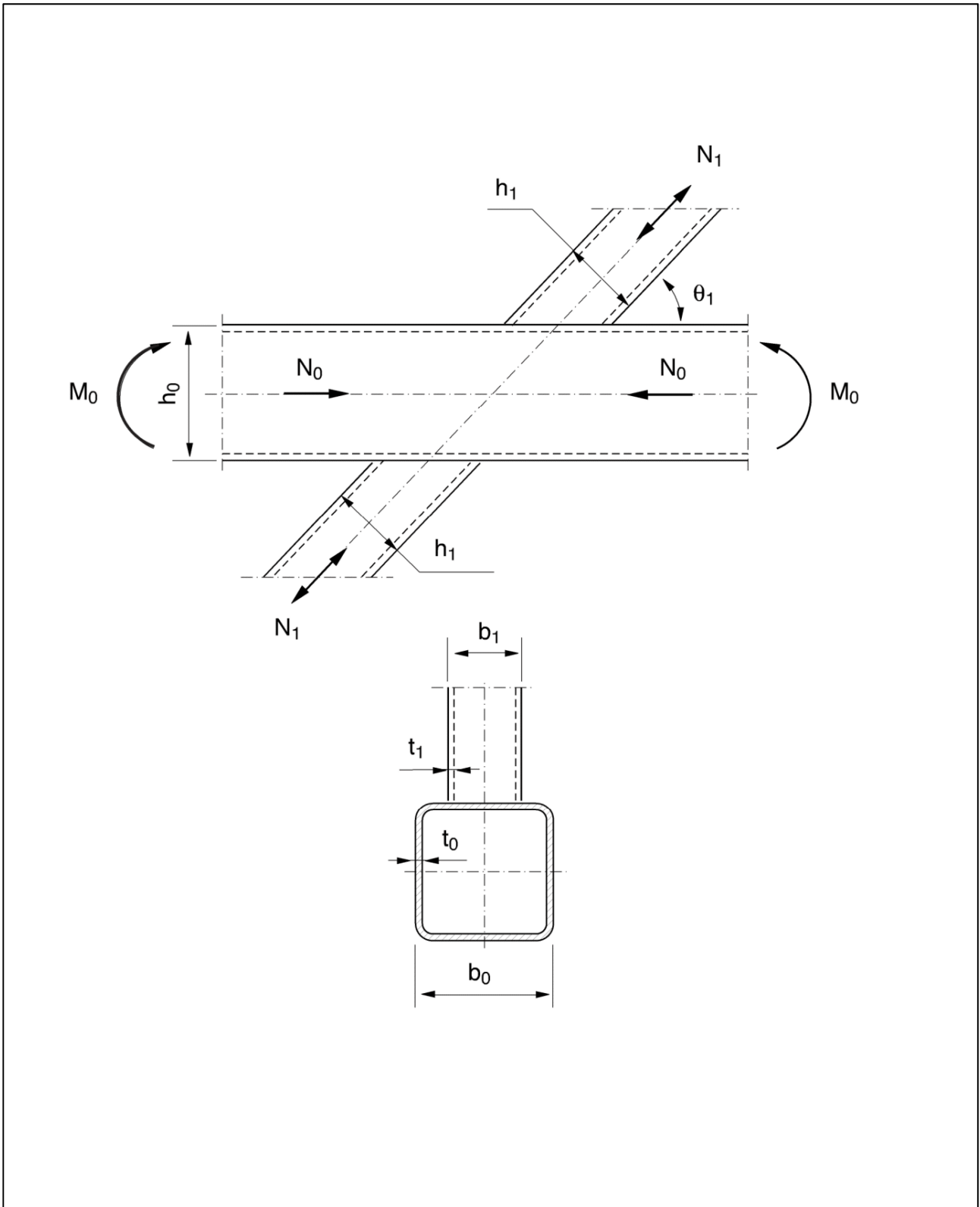
# Liite 1

Mitat												
Ulko- mitat mm	Seinämän paksuus mm / Paino kg/m											
	H x B	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,1	8,0	8,8	10,0	12,5
40 x 20	1,68	2,03	2,36									
40 x 30	1,99	2,42	2,83									
50 x 30	2,31	2,82	3,30	4,20								
60 x 40	2,93	3,60	4,25	5,45	6,56							
70 x 50	3,56	4,39	5,19	6,71	8,13							
80 x 40	3,56	4,39	5,19	6,71	8,13							
80 x 60		5,17	6,13	7,97	9,70							
90 x 50		5,17	6,13	7,97	9,70							
100 x 40		5,17	6,13	7,97	9,70							
100 x 50		5,56	6,60	8,59	10,5	12,3						
100 x 60		5,96	7,07	9,22	11,3	13,2						
100 x 80		6,74	8,01	10,5	12,8	15,1						
120 x 40		5,96	7,07	9,22	11,3	13,2						
120 x 50		6,35	7,54	9,85	12,1	14,2						
120 x 60		6,74	8,01	10,5	12,8	15,1						
120 x 80		7,53	8,96	11,7	14,4	17,0	19,4	21,4	23,1	25,6		
120 x 100		8,31	9,90	13,0	16,0	18,9						
140 x 60			8,96	11,7	14,4	17,0						
140 x 70		7,92	9,43	12,4	15,2	17,9						
140 x 80			9,90	13,0	16,0	18,9						
150 x 50		7,53	8,96	11,7	14,4	17,0						
150 x 100			11,3	14,9	18,3	21,7	24,9	27,7	30,0	33,4		
160 x 70				13,6	16,8	19,8		25,2				
160 x 80			10,8	14,3	17,6	20,8	23,8	26,4	28,6	31,8		
160 x 90			11,3	14,9	18,3	21,7	24,9	27,7	30,0			
180 x 100				16,8	20,7	24,5	28,3	31,4	34,2	38,1		
180 x 120				18,0	22,3	26,4	30,5	34,0	36,9	41,3	48,7	
200 x 80				16,8	20,7	24,5	28,3	31,4	34,2	38,1		
200 x 100				18,0	22,3	26,4	30,5	34,0	36,9	41,3	48,7	
200 x 120					23,8	28,3	32,7	36,5	39,7	44,4	52,6	
220 x 120					25,4	30,2	35,0	39,0	42,5	47,5		
250 x 100					26,2	31,1		40,2		49,1		
250 x 150					30,1	35,8	41,6	46,5	50,8	57,0	68,3	
260 x 140						35,8	41,6	46,5	50,8	57,0	68,3	
260 x 180						39,6	46,1	51,5	56,3	63,2		
300 x 100					30,1	35,8	41,6	46,5	50,8	57,0	68,3	
300 x 150						40,5	47,2	52,8		64,8	78,1	
300 x 200						45,2	52,8	59,1	64,6	72,7	88,0	
400 x 200						54,7	63,9	71,6	78,4	88,4	108,0	

suositussarjat

(Ruukkin www-sivut, 2016.)

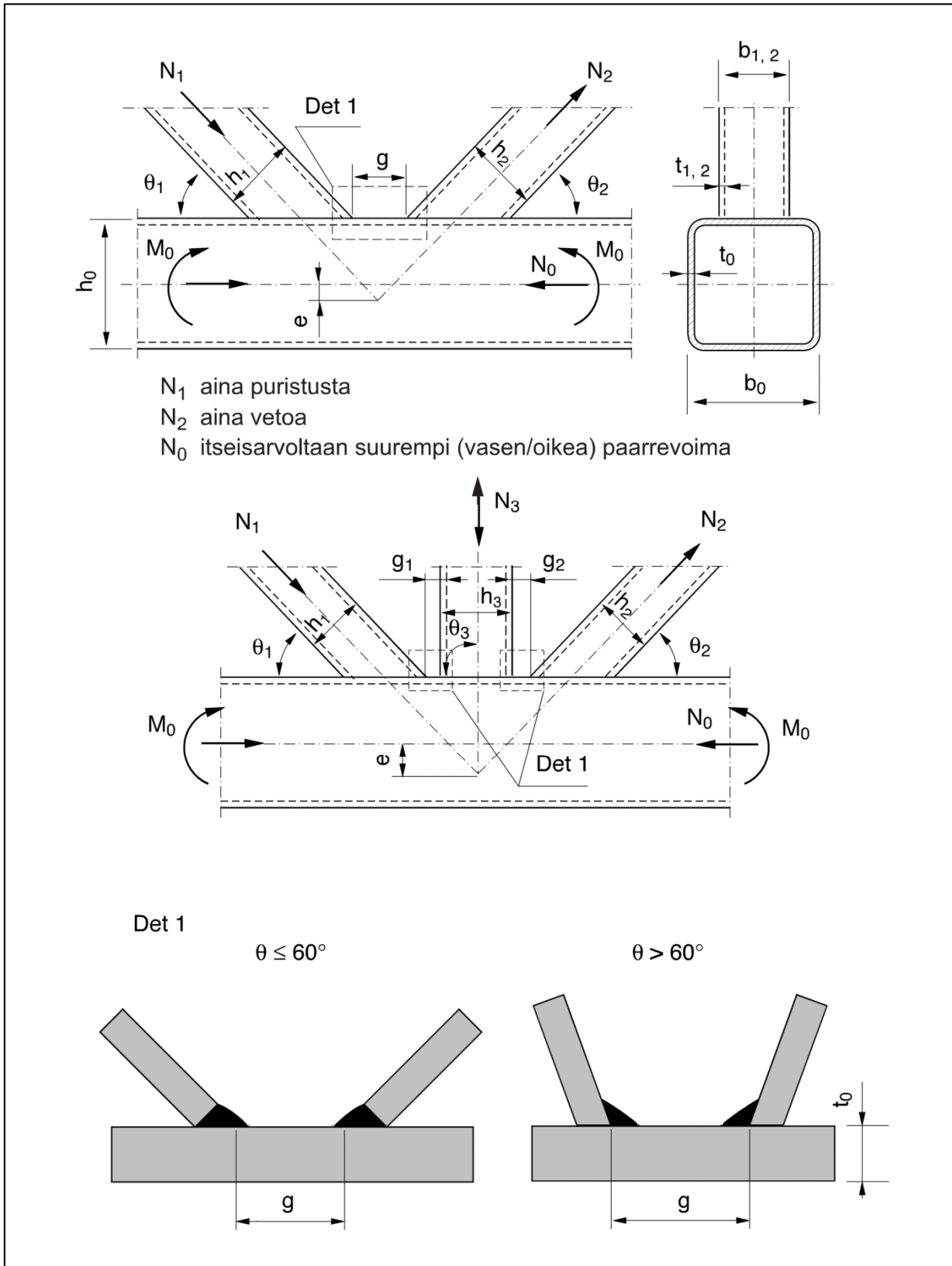
*T-, Y- ja X-liitosten kestävyudet*



- uumasauvat ovat neliön tai suorakaiteen muotoisia tai pyöreitä
- paarteet ovat neliön tai suorakaiteen muotoisia rakenneputkia

Kestävyys [ $i = 1$ ]	Parametrit	Voimassaoloehdot
$\beta \leq 0,85$ , paarteen pinnan myötääminen		Liitokselle yleisesti: $30^\circ \leq \theta_i \leq 90^\circ$ $t_0 \geq 2,5 \text{ mm}$ $t_i \geq 2,5 \text{ mm}$ $L_i \geq 6h_i$ tai $6d_i$  Neliön ja suorakaiteen muotoiset uumasauvat: - uumasauvat yleisesti: $b_i/b_0 \geq 0,25$ $b_i/t_i \leq 35$ $h_i/t_i \leq 35$ $0,5 \leq h_i/b_i \leq 2,0$ - puristettu uumasauva: PL-luokka 1 tai 2 (tasaisen puristuksen mukaan)
$N_{i.Rd} = \frac{k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_i} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$	$\beta = b_i / b_0$ $\eta = h_i / b_0$  vedetty paarre: $k_n = 1,0$  puristettu paarre: $k_n = 1,3 - \frac{0,4 n }{\beta} \leq 1,0$ $n = \frac{N_{0.Ed}}{A_0 \cdot f_{y0} / \gamma_{M5}} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{e1.0} \cdot f_{y0} / \gamma_{M5}}$	
$0,85 < \beta < 1,0$		
Käytetään lineaarista interpolointia seuraavien arvojen välillä: - paarteen pinnan myötääminen kun $\beta = 0,85$ - määrävin seuraavista: paarteen uuman lommahtaminen / myötääminen kun $\beta = 1,0$ , tai taulukossa 11.3.2 esitetty paarteen leikkauskestävyyden mitoitusarvo		
$\beta = 1,0$ , paarteen uuman lommahtaminen tai myötääminen <sup>a)</sup>		Pyöreät uumasauvat: - uumasauvat yleisesti: $0,4 \leq d_i/b_0 \leq 0,8$ - vedetty uumasauva: $d_i/t_i \leq 50$ - puristettu uumasauva: PL-luokka 1 (tasaisen puristuksen mukaan)
$N_{i.Rd} = \frac{k_n \cdot f_b \cdot t_0}{\sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$	vedetty paarre: $f_b = f_{y0}$  puristettu paarre: $f_b = \chi \cdot f_{y0}$ (T- ja Y-liitokset) $f_b = 0,8 \chi \cdot f_{y0} \cdot \sin \theta_i$ (X-liitokset) $\chi$ = nurjahduksen pienennyskerroin nurjahdusluokassa c, kun hoikkuus on: $\bar{\lambda} = 3,46 \cdot \frac{\left( \frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_i}}}{\pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$	
$0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$ , paarteen pinnan lävistysleikkautuminen		
$N_{i.Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 2b_{e.p} \right) / \gamma_{M5}$	$b_{e.p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_i \leq b_i$  $\gamma = \frac{b_0}{2t_0}$	
$\beta \geq 0,85$ , uumasauvan myötääminen		
$N_{i.Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot (2h_i - 4t_i + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i \leq b_i$	
Pyöreillä uumasauvoilla kestävyudet kerrotaan luvulla $\pi/4$ ja suureet $b_i$ ja $h_i$ korvataan halkaisijalla $d_i$ .		
a) X-liitokselle, joille $\cos \theta_i > h_i/h_0$ käytetään pienempää seuraavista arvoista: tämä arvo tai taulukossa 11.3.2 vapaavälisille N- ja K-liitoksille esitetty paarteen leikkauskestävyyden mitoitusarvo.		
Kestävyyden pienennyskerroin:	S235 - S355: 1,0 S420 - S460: 0,9	

*N-, K- ja KT-ristikoiden vapaavälisten liitosten kestävyudet*



- uumasauvat ovat neliön tai suorakaiteen muotoisia tai pyöreitä
- paarteet ovat neliön tai suorakaiteen muotoisia rakenneputkia

Kestävyys [i = 1 tai 2]	Parametrit	Voimassaoloehdot
N- ja K-liitos: Paarteen pinnan myötääminen		
$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^m b_i + \sum_{i=1}^m h_i}{2m \cdot b_0} \right) / \gamma_{M5}$	$\beta = \frac{\sum_{i=1}^m b_i + \sum_{i=1}^m h_i}{2m \cdot b_0}$ <p>m on uumasauvojen lukumäärä  <math>\gamma = 0,5 b_0 / t_0</math>  vedetty parre:  <math>k_n = 1,0</math>  puristettu parre:  <math>k_n = 1,3 - \frac{0,4 n }{\beta} \leq 1,0</math>  <math>n = \frac{N_{0,Ed}}{A_0 \cdot f_{y0} / \gamma_{M5}} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{e1,0} \cdot f_{y0} / \gamma_{M5}}</math></p>	Liitokselle yleisesti: $30^\circ \leq \theta_i \leq 90^\circ$ $t_0 \geq 2,5 \text{ mm}$ $t_i \geq 2,5 \text{ mm}$ $L_i \geq 6h_i$ tai $6d_i$ $-0,55 \leq e/h_0 \leq 0,25$  Neliön ja suorakaitteen muotoiset uumasauvat: - uumasauvat yleisesti: $b_i/b_0 \geq 0,35$ $b_i/b_0 \geq 0,1 + 0,01b_0/t_0$ $0,5 \leq h_i/b_i \leq 2,0$ $b_i/t_i \leq 35$ $h_i/t_i \leq 35$ - puristettu uumasauva: PL-luokka 1 tai 2 (tasaisen puristuksen mukaan)  Pyöreät uumasauvat: - uumasauvat yleisesti: $0,4 \leq d_i/b_0 \leq 0,8$ - vedetty uumasauva: $d_i/t_i \leq 50$ - puristettu uumasauva: PL-luokka 1 (tasaisen puristuksen mukaan)
N- ja K-liitos: Paarteen leikkautuminen		
$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_{v0}}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,gap,Rd} = \frac{(A_0 - A_{v0})f_{y0} + A_{v0}f_{y0} \sqrt{1 - \left( \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2}}{\gamma_{M5}}$	$A_{v0} = (2h_0 + \alpha b_0) t_0$ $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$ <p><math>\alpha = 0</math> kun pyöreät uumasauvat  <math>V_{Ed}</math> on paarteen leikkausvoima vapaavälin kohdalla  <math>V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_{v0}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M5}}</math></p>	- puristettu uumasauva: PL-luokka 1 tai 2 (tasaisen puristuksen mukaan)  Pyöreät uumasauvat: - uumasauvat yleisesti: $0,4 \leq d_i/b_0 \leq 0,8$ - vedetty uumasauva: $d_i/t_i \leq 50$ - puristettu uumasauva: PL-luokka 1 (tasaisen puristuksen mukaan)
N- ja K-liitos: $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$ , paarteen pinnan lävistysleikkautuminen		
$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_i \leq b_i$	- puristettu uumasauva: PL-luokka 1 (tasaisen puristuksen mukaan)
N- ja K-liitos: Uumasauvan myötääminen		
$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i \leq b_i$	Paarteet: $b_0/t_0 \leq 35$ $h_0/t_0 \leq 35$ $0,5 \leq h_0/b_0 \leq 2,0$ PL-luokka 1 tai 2 (tasaisen puristuksen mukaan)
Pyöreillä uumasauvoilla kestävyudet kerrotaan luvulla $\pi/4$ ja suureet $b_i$ ja $h_i$ korvataan halkaisijalla $d_i$ .		
KT-liitos: - Jokaisen kolmen uumasauvan osalta tarkastetaan mitoitusehto: $N_{i,Rd} \geq N_{i,Ed}$ ( $i = 1,2,3$ ) - Uumasauvojen kestävyudet lasketaan tarkastelemalla vierekkäisiä sauvoja pareittain N-liitoksena seuraavasti: A) uumasauvat 1 & 2 B) uumasauvat 2 & 3 Jos uumasauvassa 3 vaikuttaa vetoa, sen kestävyys lasketaan tapauksesta A. Jos uumasauvassa 3 vaikuttaa puristusta, sen kestävyys lasketaan tapauksesta B.		
a) Jos $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ ja $g \geq t_1 + t_2$ liitosta käsitellään kahtena erillisenä T- tai Y-liitoksena.		Vapaaväli: $g \geq t_1 + t_2$ $g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ $g/b_0 \leq 1,5(1 - \beta)$ a) KT-liitoksessa ehdot tarkastetaan erikseen kummankin vapaavälin osalta.
Kestävyyden pienennyskerroin:	S235 - S355: 1,0 S420 - S460: 0,9	



## Liite 3

### Leikkauslujuuden mitoitusarvo

Poikkileikkauksen tyyppi	$\tau_{Rd}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Täysin betonin ympäröimät teräsprofiilit	0,30
Betonitäytteiset pyöreät putkiprofiilit	0,55
Betonitäytteiset suorakaiteen muotoiset putkiprofiilit	0,40
Osittain betonilla ympäröityjen poikkileikkausten laipat	0,20
Osittain betonilla ympäröityjen profiilien uumat	0,00

(SFS-EN 1994-1-1, 64.)

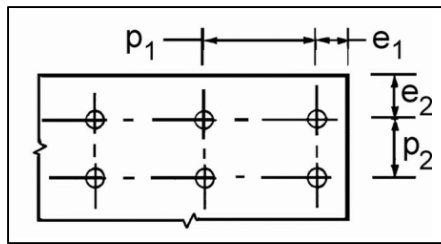
## Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat

Luokan merkintä	Ympäristön kuvaus	Opastavia esimerkkejä paikoista, joissa rasitusluokkia voi esiintyä
<b>1 Ei korroosion tai rasituksen riskiä</b>		
X0	Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni: Kaikkiin ympäristöihin lukuun ottamatta niitä, joissa esiintyy jäädytys-sulatus- tai kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu tai metallia sisältävä betoni: hyvin kuiva	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on hyvin alhainen
<b>2 Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korrosio</b>		
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on alhainen Pysyvästi vedenalainen betoni
XC2	Märkä, harvoin kuiva	Betonipinnat, jotka ovat pitkään kosketuksissa veden kanssa Usein perustukset
XC3	Kohtalaisen kostea	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on kohtalainen tai suuri Ulkona oleva sateelta suojattu betoni
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Betonipinnat, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasitusluokkaan XC2
<b>3 Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio</b>		
XD1	Kohtalaisen kostea	Betonipinnat, jotka ovat alttiina ilman sisältäville klorideille
XD2	Märkä, harvoin kuiva	Uima-altaat Betoni on alttiina kloridipitoisille teollisuusvesille
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Sillan osat, jotka ovat alttiina kloridipitoisille roiskeille Jalkakäytävät Paikoitustalojen laatat
<b>4 Meriveden kloridien aiheuttama korrosio</b>		
XS1	Kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksissa meriveteen	Lähellä rannikkoa tai rannikolla olevat rakenteet
XS2	Pysyvästi veden alla	Merirakenteiden osat
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä	Merirakenteiden osat
<b>5 Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä</b>		
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Tierakenteiden pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina jäätymiselle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi	Jäänsulatusaineille alttiit teiden ja siltojen kannet Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätymiselle alttiit betonipinnat Roiskevyöhykkeellä olevat jäätymiselle alttiit merirakenteet
<b>6 Kemiallinen rasitus</b>		
XA1	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA2	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA3	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi

(SFS-EN 1992-1-1+A1+AC, 2015, 50)

## Liite 5

### Kiinnittimien etäisyyksien merkinnät.



(SFS-EN 1993-1-8, 2005, 25).

### Nimellisvälykset ruuveille

Ruuvien tai niveltapin nimellishalkaisija (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27 ja yli
Normaalit pyöreät reiät <sup>a</sup>	1 <sup>b, c</sup>		2				3	
Ylisuuret pyöreät reiät	3		4				6	8
Lyhyet pidennetyt reiät (pituudelle) <sup>d</sup>	4		6				8	10
Pitkät pidennetyt reiät (pituudelle) <sup>d</sup>	1,5 d							
<sup>a</sup> Torneille, mastoille ja vastaaville sovellutuksille normaalien pyöreiden reikien nimellisvälystä pienennetään 0,5 mm, ellei erikseen toisin esitetä. <sup>b</sup> Pinnoitetuille kiinnittimille 1 mm:n nimellisvälystä voidaan suurentaa kiinnittimen pinnoitteen paksuuden verran. <sup>c</sup> Ruuveille, joiden nimellishalkaisija on 12 tai 14 mm ja uppokantaruuveille voidaan käyttää myös 2 mm:n välystä standardissa EN 1993-1-8 esitettyjä ehtoja noudattaen. <sup>d</sup> Pidennetyissä rei'issä ruuvien nimellisvälyksen tulee leveysuunnassa olla sama kuin normaaleilla pyöreillä rei'illä.								

(SFS-EN 1090-2+A1. 36.)

### Keskiöväliä sekä reuna- ja päätyetäisyydet väsytyskuormitetuille rakenteille

Päätyetäisyys	Reunaetäisyys	Keskiöväli	Keskiöväli
$e_1 \geq 1,5 * d$	$e_2 \geq 1,5 * d$	$p_1 \geq 2,5 * d$	$p_2 \geq 2,5 * d$

(SFS-EN 1993-1-9, 2005, 20.)

Pääty- ja reunaetäisyys sekä keskiöväli

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

1) Keskiöväleillä, pääty- ja reunaetäisyyksillä ei ole ylärajaa paitsi seuraavissa tapauksissa:

- puristetussa rakenneosissa paikallisen lommahduksen ja korroosion välttämiseksi korroosiorasituksen alaisena ja;
- korroosiorasitukselle alttiit vedetyt rakenneosat korroosion välttämiseksi.

2) Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus lasketaan standardin EN 1993-1-1 mukaan olettamalla levy pilariksi ja käyttämällä nurjahduspituutena arvoa  $0,6p_1$ . Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallista lommahdusta ei tarvitse tarkistaa, jos  $p_1/t$  on pienempi kuin 9ε. Reunaetäisyys saa olla enintään ulokkeelliselle puristetulle taso-osalle esitetyn arvon suuruinen paikallisen lommahduksen estämiseksi, ks. standardi EN 1993-1-1. Tämä vaatimus ei koske päätyetäisyyttä.

3)  $t$  on uloimman liitettävän osan pienempi paksuus.

4) Pidennettyjen reikien raja-arvot esitetään kohdan 1.2.7 mukaisessa viitestandardiryhmässä 7.

5) Limitetyille kiinnitinriveille voidaan käyttää minimiarvoa  $p_2 = 1,2d_0$ , jos kahden limityksessä olevan kiinnittimen välinen minimietäisyys  $L \geq 2,4d_0$ , ks. kuva 3.1b).

(SFS-EN 1993-1-8. 24.)