



Eetu Salo

Teräsrakennesuunnittelun perehdytysmateriaali

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

18.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Eetu Salo
Otsikko:	Teräsrakennesuunnittelun perehdytysmateriaali
Sivumäärä:	54 sivua
Aika:	18.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Rakennetekniikka
Ohjaajat:	Osastopäällikkö Ville Tanskanen, Sweco Finland Oy Lehtori Jenni Pellinen, Metropolia Ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia teräsrakennesuunnitteluun perehdytysmateriaali, jota voidaan hyödyntää uusien suunnittelijoiden perehdyttämisessä sekä aihealueisiin kertaamisessa. Sweco Finland Oy on tämän opinnäytetyön tilaaja, jolle perehdytysmateriaali jää sisäiseen käyttöön.

Opinnäytetyö käsittelee teräsrakennesuunnittelun perusteita pääpainotteisesti talon rakentamisen näkökulmasta. Teräsrakennesuunnittelu on aihealueiltaan hyvin laaja, joten opinnäytetyössä ei syvennytty tekniseen mitoittamiseen ja muiden teräsrakennesuunnittelualueiden, kuten teollisen teräsrakentamisen aiheita sivuttiin kevyesti.

Opinnäytetyössä käsitellään muun muassa teräksen valmistusta, rakenneterästen teknisiä ominaisuuksia, teräksen ympäristörasituksia ja palomitoittamista sekä käytettäviä profiileja. Työssä keskitytään myös teräsrakennesuunnittelijan tehtäviin ja suunnitteluprosessiin. Työn aihealueiden osittaista ohjausta varten haastateltiin Swecon kokeneita teräsrakennesuunnittelijoita. Opinnäytetyön sisällön laatimisessa on hyödynnetty jo aikaisemmin laadittuja suunnitteluohjeita, alan kirjallisuutta sekä oppimateriaaleja.

Teräksen monipuolisuuden ja käytön yleisyyden vuoksi tarkkoja suunnitteluohjeita on runsaasti, mutta yleisiä materiaaleja on vähemmän. Työn tavoitteena oli koota yhteen teräsrakennesuunnittelun olennaisia aiheita, jotka luettuaan lukija pystyy omatoimisesti syventymään itsellensä merkittäviin aiheisiin. Perehdytysmateriaalissa esitetään aihealueellisesti käytettyjä standardeja.

Työn tuloksena saatiin kattava perehdytysmateriaali teräsrakennesuunnitteluun. Opinnäytetyö käsittelee aiheita pääpainotteisesti talon- ja hallirakentamisen näkökulmasta, joten jatkokehityksenä muiden teräsrakennesuunnittelun osa-alueiden, kuten teollisen rakentamisen perehdytysmateriaalien laadinta olisi hyödyllistä.

Avainsanat: Teräsrakennesuunnittelu, Sweco Finland Oy
rakenneteräs, perehdytysmateriaali, teräs

Abstract

Author: Eetu Salo
Title: Introduction Material for Structural Steel Designer
Number of Pages: 54 pages
Date: 18 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Ville Tanskanen, Department Manager
Jenni Pellinen, Senior Lecturer

The aim of this thesis was to compile an introduction material on structural steel design, which can be used to associate new steel designers with the general topics of steel engineering. Material was written for the client of this thesis, Sweco Rakennetekniikka Oy, for whom it will remain for internal use.

The thesis discusses the basics of steel engineering mainly from the housebuilding point of view. Due to the sheer volume of topics to be discussed when considering steel design for new designers, technical calculations were not examined, and other areas of steel engineering, such as industrial building design were only briefly explained.

This thesis discusses topics including manufacturing of steel, technical properties of engineered steel, environmental stresses as well as fire design and commonly used cross-section profiles. This thesis also focuses on the work of steel designers as well as structural design processes. Experienced steel designers from Sweco were interviewed in order to focus on necessary topics for this material. Previously written design guides, relevant literature and learning material were utilized when writing this thesis.

Due to the material properties and wide use of steel in construction, there are plenty of in-depth guides for structural design. However, relevant general material is not widely available. When studying the material produced during this thesis, new designers can focus on deepening their knowledge in the necessary areas of steel design. Design standards are introduced in this material to guide the reader to extra reading.

As a result, a comprehensive introduction material was written for new steel designers. Due to the limited point of view of this thesis, creating introduction material for other steel design areas, such as industrial steel engineering could be beneficial for new designers.

Keywords: structural steel design, Sweco Finland Oy
construction steel, introduction material, steel

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Teräsrakentamisen historiaa	2
1.2	Teräksen valmistus	2
1.3	Valssaaminen	4
1.4	Konetyöpajat	4
1.5	Asentaminen ja kuljetus	6
2	Teräs rakennusmateriaalina ja käyttöikäsuunnittelu	7
2.1	Rakennusmateriaalina	7
2.2	Poikkileikkausluokat	10
2.3	Teräsrakentamisen erikoisuudet	11
2.4	Korroosio ja rasitusluokat	12
2.4.1	Esikäsittely	14
2.4.2	Kuumasinkitys	15
2.4.3	Korroosionestomaalaus	16
2.5	Palotilanne	16
2.5.1	Palonsuojaus	19
3	Suunnittelun lähtötiedot ja lainsäädäntö	20
3.1	Suomen rakentamismääräyskokoelma	20
3.2	Eurokoodit ja kansalliset liitteet	20
3.3	Standardit ja CE-merkintä	22
3.4	Seuraamusluokat	22
3.5	Suunnittelun vaativuusluokat	24
3.6	Teräsrakenteiden toteutusluokat	25
3.7	Teräsrakenteiden toleranssiluokat	26
3.8	Suunniteltu käyttöikä	26
3.9	Suunnittelun lähtötiedoista	27
4	Suunnitteluprosessi	28
4.1	Rakennushankkeen aloitus	28
4.2	Rakennesuunnittelijan tehtävistä	29

5	Teräsprofiilit ja -runko	31
5.1	Teräsrunko ja jäykistys	31
5.2	Jatkuvan sortuman estäminen	32
5.3	Värähtely	32
5.4	Väsyminen	33
5.5	Profiilit	33
5.5.1	Pilarit	36
5.5.2	Palkit	37
5.6	Ristikot	38
6	Liitokset	41
6.1	Liitosten suunnittelusta	41
6.2	Hitsausliitos	43
6.3	Lamellirepeily ja Z-levy (SFS-EN 1993-1-1 3.2.4)	45
6.4	Ruuviliitos	45
7	Yhteenveto	49
	Lähteet	50

Lyhenteet

AISC: American Institute of Steel Construction

RakMK: Maankäyttö- ja rakennuslaki

RHS: Rectangular Hollow Section

Tekla: Tekla Structures. *3D-mallinnusohjelma, joka on nykyisin hyvin suuressa käytössä rakennesuunnittelussa. Mahdollistaa pilvipohjaisen yhteistyön eri suunnittelijoiden välillä, tarjoten myös lisäosia esim. teräsrakennetietojen lähettämiseen konepajavalmistukseen.*

1 Johdanto

Rakennesuunnittelun onnistuminen perustuu osaavaan rakennesuunnittelijaan. Rakennesuunnittelijan työkuva on laaja ja tehtävät pohjautuvat asiantuntijuteen, joka tarkoittaa usean suunnittelun osakokonaisuuden hallitsemista eri rakennemateriaaleissa. Varsinaisen suunnittelun lisäksi rakennesuunnittelijan tulee osata käyttää alati kehittyviä suunnitteluohjelmia sekä kehittää osaamistaan päivittyvien ohjeistuksien ja lainsäädännön myötä.

Teräsrakennesuunnittelu rakentamisessa käsittelee hyvin useita rakenteita teräksen monipuolisuuden takia. Teräsrakennesuunnittelijan on ymmärrettävä materiaaliikohtaiset heikkoudet ja vahvuudet ja osattava suunnitella rakenteet ne huomioiden. Teräsrakennesuunnittelun ohjeistusta on laajasti saatavilla eri lähteistä, mutta ne ovat usein aihekohtaisia ja täten yleisiä lähteitä ei ole useita. Kuitenkin yksityiskohtaisia ohjeita teräsosien ja liitosten mitoittamisesta sekä aiheeseen liittyvistä asioista on runsaasti lähteitä verkossa.

Tämä insinööri työ tuotetaan Sweco Finland Oy:n rakennetekniikan osastoa varten sen sisäiseen käyttöön. Tämän työn lisäksi yritykselle laaditaan yksityinen, sisäiseen käyttöön tarkoitettu perehdytysmateriaali, joka käytännöllisemmin käsittelee teräsrakennesuunnittelua hyödyntäen yrityksen sisäisiä työkaluja, ohjeistusta ja toimintatapoja.

Insinööriyön tavoitteena on perehdyttää ja auttaa lukijaa teräsrakennesuunnittelun osa-alueisiin kertaamisessa. Olennaistavoitteena on käsitellä teräsrakennesuunnittelun eri aihealueita, pääsääntöisesti liike- ja asuinrakentamisen näkökulmasta, sekä ohjaamalla lukijaa lisälukemista ja perehtymistä varten syventymättä varsinaiseen tekniseen mitoittamiseen. Perehtymisösion luettuaan rakennesuunnittelija voi ohjautua etsimään yksityiskohtaisempaa tietoa työnsä kannalta oleellisista asioista. Työ tulee myös toimimaan taustamateriaalina Sweco Finland Oy:n sisäiseen käyttöön tulevaa perehdytysmateriaalia varten.

1.1 Teräsrakentamisen historiaa

Merkittävä teräksen ja täten teräsrakenteiden tuotanto syntyi maailmanlaajuisen teollistumisen yhteydessä 1850-luvulta lähtien metallien tuotantotekniikan kehityksessä. Itsenäisten rakenneteknisten rautarakenteiden synty ajoittuu aikaisemmin 1700-luvulle, jolloin vasta muodostunut valuraudan riittävän laadukas ja mitattava tuotanto mahdollisti pääsääntöisesti käytössä olleiden puurakenteiden syrjäyttämisen esimerkiksi puristetussa rakenteissa, kuten pilareissa tai kaarirakenteissa. Suomeen terästekniikan tuotannon uutuudet saapuivat viiveellä, mutta 1900-luvun alussa Suomessa oli jo kahdeksan ajallaan hyvin kehittyneitä kierrätysteräksen sulatukseen tarkoitettuja Siemens-Martin-uuneja. 1920-luvulla kehitettiin ruostumaton teräs, joka sopeutuu edeltäjäänsä paremmin ruostealttiin käyttöolosuhteisiin. (1.) Kehittynyt teräksen tuotanto ja aikaisemmat oivallukset materiaali- ja lujuusopissa mekaniikan lisäksi loivat teräsrakennesuunnittelun siten, miten se nykyisin ymmärretään. Vaativampien rakenteiden yksityiskohtaisempi materiaalitietoisuus ja mekaniikan hallitseminen erottivat erilliset teräsrakennesuunnittelijan tehtävät klassisista yleispätevistä arkkitehtitehtävistä.

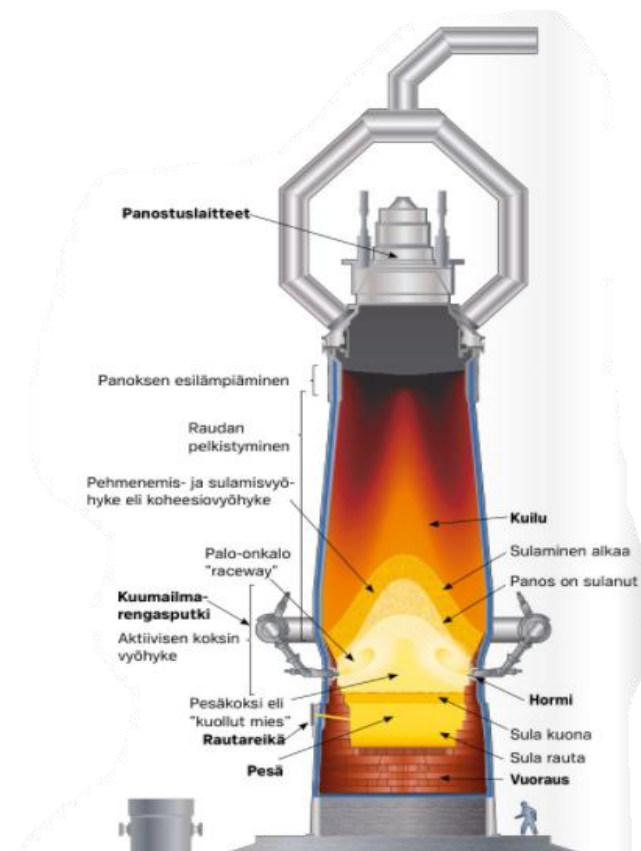
1.2 Teräksen valmistus

Raakateräksen tuotantomäärä on kasvanut jyrkästi 1950-luvulta nykyhetkeen, ja sitä voidaan käyttää yhtenä bruttokansantuotteen kehityksen indikaattorina (2.). Maailmanlaajuisesti raakaterästä tuotetaan vajaa 1900 miljoonaa tonnia, josta EU:n osuus on noin 140 miljoonaa tonnia. (3.)

Uuteen käyttöön terästä tuotetaan pääsääntöisesti kahdella tavalla: jalostamalla rautamalmista tai sulattamalla kierrätysterästä. Maailmanlaajuisesta terästuo- tannosta noin 60 % käyttää raakamalmia raaka-aineenaan. (4.)

Rautamalmista valmistetaan raakarautaa masuuneissa, jotka kuuluvat suurempaan masuunilaitokseen. Masuunit ovat korkeita ja monivaiheisia kuilu-uuneja, joissa tapahtuu niin hapenpoisto kuin raudan pelkistys osana raaka-aineiden jalostusta raakaraudaksi, jota myöhemmin hyödynnetään pääsääntöisesti teräksen valmistuksessa. Tyypillinen masuuni tuottaa raakarautaa vuodessa noin 1 300 000 tonnia. Valmistunut raakarauta käsitellään mellotuksella, parantaakseen sen muokkautuvuusominaisuuksia ja alentaakseen sen hiilipitoisuutta, sekä muilla puhdistus- ja/tai lisäainemenetelmillä, jotta saadaan ominaisuuksiltaan haluttua terästä. (4.)

Kierrätysteräksestä valmistetaan uuteen käyttöön sopeutuvaa terästä valokaariuuneilla, jotka ovat lieriömäisiä ja huomattavasti matalampia kuin masuunit. Niiden toimintaperiaate perustuu kierrätysteräksen sulatukseen ulkopuolisella energialla, kuten sähköenergialla. Sulatuksen jälkeen sula massa tyhjiökäsitellään, täsmäseostetaan ja muuten käsitellään tarpeen mukaisesti, valmistuen sitä valssausta varten. (4.)



Kuva 1. Masuunin toiminta. (4.)

1.3 Valssaaminen

Valssaaminen tarkoittaa teräsmassan muotoilua valssaimilla haluttuun muotoon. Valssaimet ovat paikallaan pyöriviä muottiosia, joiden läpi tunkeuduttua teräs asettuu valssaimien pakottamaan muotoon. Tarvittaessa massaa voidaan käsitellä useamman valssaimen lävitse. Teräsprofiileja ja tankoja muotoillaan uritetuilla valssaimilla, kun taas levyjä valssataan lieriö valssaamalla. (4.)

Valssaaminen jakautuu kahteen tyyppiin: kuuma- ja kylmävalssaukseen, jossa nimiensä mukaisesti pääpoikkeavuutena on valssattavan teräsmassan lämpötila. Kuumavalssauksessa teräksen lämpötila nostetaan tyypillisesti sen uudelleenkiteytymislämpötilan yläpuolelle, jolloin sen muovailtavuus paranee huomattavasti verrattuna kylmempään teräkseen. Viilennettyään kuumavalssatun teräksen pinta on tyypillisesti karkeaa ja väriltään siniharmaata, sillä kuuman teräksen pinta hapettuu ja muodostaa metallioksidikerroksen. Kylmävalssauksessa käsitellään huoneen lämpöistä terästä, joka vastustaa muotoilua huomattavasti enemmän kuin kuuma teräs. Kylmävalssauksen päätarkoituksia ovat teräksen yksinkertaiset muodonmuutokset, teräksen pinnan laadun ja muotoiltavan profiilin mittatarkkuuden parantaminen. Valssausmenetelmä on pääsääntöisesti konepajavalmistajan päätettävissä (4.)

1.4 Konetyöpajat

Teräsrakennesuunnittelun ominaisuutena on se, että pääsääntöisesti kaikki suunniteltavat rakenteet valmistetaan teräsrakenteiden valmistukseen keskittyneillä konepajoilla. Konepajat tuottavat rakennesuunnittelijan määrittelevät rakenteet asentamista varten. Jotta teräsrakenteet saataisiin valmistettua pajoilla suunnitelmien mukaisesti, on rakennesuunnittelijan lähetettävä riittävän tarkka tieto halutusta rakenteesta. Täsmällinen yhteistyö on tärkeää konepajan ja rakennesuunnittelijan välillä. (5.)

Tyypillisesti rakennesuunnittelija saa konepajalle lähetettävät lähtötiedot tai tiedostot suoraan mallinnusohjelmasta, esimerkiksi Teklasta. Nämä tiedostot sisältävät suurimman osan tiedosta, jolla haluttu teräsrakenne saadaan laadittua, kuten geometriatiedot ja reikien sijainnit. Konepajojen työstökoneet ovat pitkälle kehittyneitä ja automatisoituneita laitteita, jotka lähtötiedon avulla voivat muotoilla annetun teräsnauhan halutun muotoiseksi. Tämän yhteydessä konepajoille lähetetään muuta rakenteelle merkityksellistä tietoa, kuten teräsrakenteen viimeistelyaste, hitsausluokka, poikkileikkausluokka, rakenteen pintakäsittely sekä pinnan halutut värisävyt. Konepajoilla voi olla omat ohjeet, joiden mukaan rakennesuunnittelijan on annettava lähtötiedot teräsrakenteiden valmistukseen. (5.) (6.)



Kuva 2. Aihioin leikkaaminen polttoleikkauksella. (KUVA: Metallin jalostajat ry) (4.)

1.5 Asentaminen ja kuljetus

Teräsrakenteita tai elementtejä asentavien työmaiden on laadittava asianmukainen asennussuunnitelma, joka sisältää käytännössä kaiken, mitä asennustyöhön liittyy. Se sisältää muun muassa asennusten aikataulutuksen, alue- ja nostosuunnitelmat, hitsaus- ja muut liitossuunnitelmat sekä muita oheissuunnitelmia/ohjeita, joissa otetaan kantaa esimerkiksi pintakäsittelyihin, palosuojauksiin ja työmaan yleiseen nostotöiden toimintaan kuten varastointiin. Asennussuunnitelman laatiminen on kohteen urakoitsijan vastuulla. (6.)

Asennussuunnitelmaa laaditaan rakennesuunnittelijan laatiman asennusohjeen pohjalta. Asennusohjeet sisältävät tietoa nostoissa huomioitavista asioista, nostoholkkien ja silmukoiden käytöstä sekä tietoa valmistajien ohjeista. Rakennesuunnittelija laatii asennusohjeen lisäksi kokoonpanopiirustuksen sekä siihen liitännäiset piirustukset, kuten osapiirustukset, asennusdetaljit sekä leikkauspiirustukset. Teräsrakenteiden suunnittelussa käytetään useampaa piirustustyyppiä. Kokoonpanopiirustus käsittelee kokonaisen rakenteen kokoonpanoa ja esimerkiksi ahiopiirustus laaditaan monimutkaisille rakenteille, jotka vaativat lisätarkkuutta. (6.) Tietomallintamisen myötä saadaan julkaistua 3D-piirustuksia ja -malleja konepajavalmistusta varten sekä asentamisen helpottamiseksi. (5.)

Teräsrakenteita nostetaan tarpeen vaatimilla nostovälineillä, kuten torninostureilla sekä nostojaneuvoilla. Nostotyön suunnittelussa on tärkeää huomioida nostotyön turvallisuus ja sujuvuus, ottaen kantaa nostovälineitä kannattavan pinnan kestävyteen, nostojen liikeratoihin, laitevalmistajien ohjeistuksiin sekä muun työmaan työturvallisuuden toteutumiseen nostoja tehdessä. Tarvittaessa nostoalueet rajataan esteillä, kuten kaiteilla tai suojaseinillä. (7.)

Työmaalla tehtäviä teräsrakenneosien kiinnittämiseen liittyviä töitä ovat ruuvaus- ja hitsaustyöt. Ruuvikiinnitysten suunnitelmissa tulee esittää muun muassa ruuvattavien kappaleiden kiristysmomentti, ruuviliitosluokka ja liitostyyppi sekä tarvittavat työkalut ja rakenteiden lukitus. Kantaa on otettava myös kiinnityksen tarkastusmenettelyyn ja dokumentointiin. Työmaan hitsaustöiden suunnitelmissa tulee ottaa huomioon liittyvien osien kohdistaminen ja tukeminen, hitsaustyön työturvallisuus ja toteutus sekä rakennetekniset vaatimukset. Vaativimmista tai muuten tärkeimmistä liitoksista laaditaan hitsaustyökohtaiset suunnitelmat. (7.)(8.)

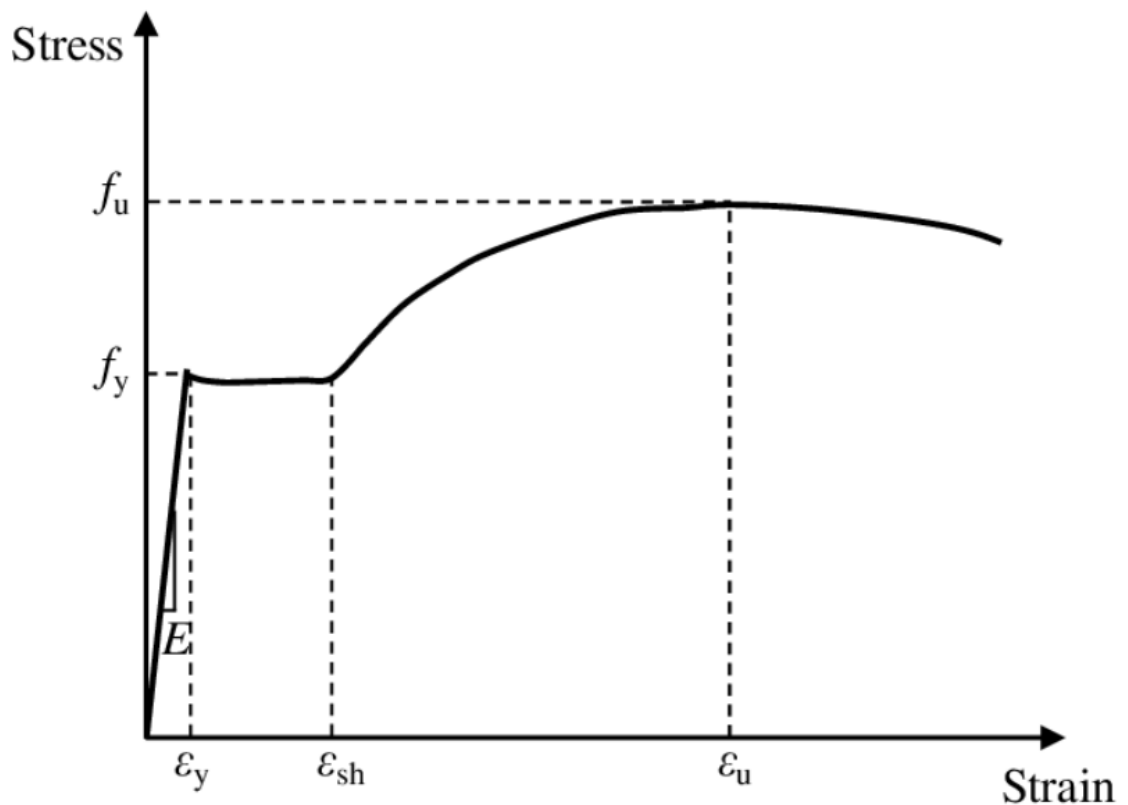
2 Teräs rakennusmateriaalina ja käyttöikäsuunnittelu

2.1 Rakennusmateriaalina

Teräksen selkeitä hyötyjä rakentamisessa ovat sen hyvä lujuus-painosuhte, homogeenisyys, muovailtavuus sekä liitettävyyys toisiin teräsrakenteisiin ruuviliitosten lisäksi hitsaamalla. Teräksen ominaisuuksia voidaan valmistusmenetelmillä muokata halutuiksi sekä pintakäsittelyllä saadaan suojattua korroosiota ja paloa vastaan. Kuitenkin teräs on suhteellisen kallis materiaali ja palosta aiheutuneen kuumen lämpötilan takia se menettää huomattavan osan lujuudestaan, joka usein johtaa palosuojauksen asentamiseen ja täten kasvaneihin materiaalikustannuksiin. Rakennesuunnittelijan tulee tarvittaessa verrata palosuojauksen kustannuksia verrattuna teräsrakenteen poikkileikkauksen kasvattamiseen, jotta voidaan löytää taloudellisempi ratkaisu. (5.)

Rakennuksen käyttöikä ja -olosuhteet sekä esteettiset päätökset liitettyinä geometrisiin rajoituksiin vaikuttavat teräsosien suunnitteluun ja pintakäsittelyyn. Varsinaisen rakenneteknisen rasituksen lisäksi teräsrakenteita sekä muita rakennusosia rasittaa ympäristön olosuhteet, jotka riittävän pitkällä aikavälillä voivat heikentää rakenneosan teknistä toimintaa. Teräsrakenteissa palosuojauksen lisäksi korroosiosuojaus on tärkeä osa-alue, johon suunnittelijan on otettava kantaa. Rakennusten suunniteltu käyttöikä ohjaa monen asian, kuten korroosioneston vaatimuksia. (5.)

Teräksen jännitys-venymäkäyrä kuvaa vetojännityksen aiheuttamaa venymää vetokokeessa (kuva 3). Ennen myötörajatilaa (f_y) teräkselle rasituksesta aiheutuneet geometriset muutokset palautuvat, eli ovat elastisia, jos rasitus poistetaan. Rasituksen ylittäessä myötörajatilan metallin kiderakenne uudelleen järjestyy, ja sillä on usein huomattava määrä lisäkestävyyttä ennen murtumista. Kuitenkin myötörajatilan ylittyessä rasitus aiheuttaa plastisia muutoksia, jotka eivät palaudu rasituksen poistuessa. Teräsrakenteen plastisen kestävyden raja vetomurtolujuus (f_u) määrittää lakipisteen sen jännitys-venymäkäyrällä. Teräsrakenteen poikkileikkausluokka määrittää sen, voiko teräsrakenteen taivutuskestävyyden laskennassa huomioida vetomurtolujuuden suuremman taivutuskestävyyden.



Kuva 3. Tyypillinen jännitys-venymäkäyrä kuumarullatulle rakenneteräkselle. (7.)

Teräs on helposti kierrätettävää rakennusmateriaalia. Noin 40 % uusista teräsrakenteista saadaan tuotettua kierrätetystä teräksestä. Riittävästi korroosiosuojattuna teräksen käyttöikä on pitkä ja teräsrakenteen poikkileikkaus saadaan suhteellisen helposti optimoituun sen vaadittuun rasiinukseen. Masuuniprosessin tuottaman hiilidioksidin lisäksi teräksen tuotanto päästää huomattavasti rikkiä. Teräksen ekologisuus perustuu pitkälle sen kierrätettävyyteen. Rakenteiden hiilijalanjäljen laskenta yleistyy rakennusalalla, mutta on huomioitava, että ekologisuuden kannalta materiaalivaihtoehdot rajataan miltei täysin arkkitehtisuunnittelussa, joka vahvasti ohjaa rakennusprojektia ja sen suunnittelua sen alusta loppuun. (5.)

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f _y [N/mm ²]	f _u [N/mm ²]	f _y [N/mm ²]	f _u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Kuva 4. Ominaisarvoja kuumavalssatuille rakenneteräksille, SFS-EN 1993: taulukko 3.1 (9.)

2.2 Poikkileikkausluokat

Eurokoodi määrittää neljä teräsrakenteiden poikkileikkausluokkaa riippuen poikkileikkauksen lommahduksen ja plastisoitumisen asettamasta rajoituksesta sen mitoituskehteen. Teräsrakenteen poikkileikkauksen geometria määrittää poikkileikkausluokan eurokoodin 3 ohjeistuksen mukaisesti. Rakennesuunnittelijan on määritettävä suunniteltavan teräsrakenteen poikkileikkausluokka, jotta teräsrakenne voidaan suunnitella toimivaksi eurokoodin ohjeistuksen mukaan. (9.)

Poikkileikkausluokka määritetään niin profiilin uumalle kuin laipoille, ja suurin poikkileikkausluokka määrittää koko profiililla käytettävän luokan. Teräsrakenteita mitoittaessa on tärkeää kiinnittää huomiota siihen, voiko laskennassa käyttää vain kimmoista vai myös plastista taivutuskestävyyttä.

Poikkileikkausluokka 1:seen kuuluvien teräsrakenteiden voimasuureet voidaan määrittää plastisuusteorian mukaisesti. Teräsrakenteeseen voi muodostua plastisuusteorian mukainen riittävän kiertymiskyvyn omaava nivel. Kestävyyden laskentamenetelmä voi perustua plastisuusteoriaan.

Poikkileikkausluokka 2:n kuuluvien teräsrakenteiden poikkileikkaukseen voi muodostua plastisuusteorian oletama taivutuskestävyys, mutta kiertymiskyky on rajallinen lommahduksen takia. Poikkileikkauksen kestävyuden laskenta voi perustua plastisuusteoriaan, mutta voimasuureet lasketaan kimmoteorialla.

Poikkileikkausluokan 3 teräsrakenteen voimasuureet ja kestävyys määritetään kimmoteorian mukaisesti, sillä rakenteen puristusjännitys voi aiheuttaa lommahduksen ennen plastista kestävyyttä.

Poikkileikkausluokka 4:n teräsrakenteissa lommahdus saattaa muodostua jo ennen myötörajaa. Tämän luokan voimasuureet tulee laskea kimmoteorian mukaisesti. Poikkileikkausluokka 4:n rakenteet ovat pääsääntöisesti hyvin ohuita ja täten lommahdusalttiita. Tämän vuoksi tähän poikkileikkausluokkaan kuuluvien rakenteiden laskennassa tulee olla hyvin perehtynyt teräsrakenteiden lommahdamiseen (9.)

2.3 Teräsrakentamisen erikoisuudet

Oivallisen muovailtavuuden ja hyvän lujuus-painosuhteen takia teräsrakenteet sopeutuvat rakenneratkaisuiksi useampiin tilanteisiin verrattuna esim. puu- tai betonirakenteisiin. Teräsrakenteita käytetään niin asuin- ja liikerakentamisessa kuin myös massiivisissa teollisuuskohteissa sekä monimuotoisissa hallirakenteissa, kuten varastoissa. Teräsrakenteiden muovailtavuus ja kestävyys mahdollistaa sen, että sitä voidaan käyttää sirona ja esteettisenä julkisivumateriaalina, johon voi yhdistää esimerkiksi lasirakenteita. Erityisrakenteissa suunnittelun tavoitteet ja lähtötiedot ovat erilaisia, jolloin suunnittelijan on tiedostettava suunniteltavan rakenteen mitoittavat arvot, kuten äärimmäiset taipumarajatilat. (5.)

Teollisuusrakenteet ja -rakentaminen poikkeavat liike- ja asuinkerrosrakentamisesta merkittävästi. On yleinen väärinymmärrys, että teräsrakenteet koskevat vain yksittäisiä rakenteita suuremmissa kokonaisuuksissa tai ovat vain hallirakenteiden runkomateriaali. Teollisuuden puolella teräsrakenteet voivat olla massiivisia kokonaisuuksia, joiden suunnittelu poikkeaa tyypillisten liikerakenteiden ratkaisuista. Teollisuuden teräsrakenteissa esiintyy poikkeavia korroosio- ja rasitusolosuhteita, joiden suunnittelu vaatii erityisosaamista. Erityisten teollisuusrakenteiden suunnittelussa voi esiintyä niin vaativia rakenteita, että niiden suunnittelun ohjeet saattavat olla vähissä ja suunnittelijalta odotetaan syvällistä lujuusopillista tietämistä. Myös teollisuuden palotilanteet voivat olla poikkeavia asuinrakentamiseen verrattuna, sillä suurien teollisuuspalojen lämpötilat ovat äärimmäisiä poikkeavan palokuorman ja skaalan takia. (5.)

2.4 Korroosio ja rasiusluokat

Teräksen korroosio tarkoittaa metallin syöymistä ympäröivän olosuhteen aiheuttamien kemiallisten reaktioiden takia. Korroosion kehitys teräksessä riippuu huomattavasti siitä, missä ympäristössä se pääsee kehittymään. Korroosioreaktioissa metallin pinnassa olevat sähkökemialliset potentiaalierot muodostavat korroosiopareja kosteuden mahdollistamana. Potentiaalieron ja kosteuden luoman kulkuväylän takia korroosioparin anodinen alue menettää elektroneja katodiselle alueelle, joka käynnistää elektrolyyttireaktion avulla ruosteen syntymisen anodiselle alueelle. Ruostuminen heikentää teräsrakenteen kantokykyä ja käyttöikä. Rakennesuunnittelijan on huomioitava korroosio-olosuhteet ja suunniteltava teräsrakenteiden pinnoitteet siten, että se kestää annetussa ympäristössä rakennuksen suunnitellun käyttöiän. Yleisimpiä korroosion suojaustapoja on pintojen maalaaminen tai sinkitys. (10.)

Teräsrakenteiden käyttöikäiseen kestävyysvaikutusta oleellisesti sen ilmastorasitusluokka, joka määrittää rakenteen ympäristöstä aiheutuvan korroosiorasituksen. Rasitusluokan määrittämisellä saadaan valikoitua riittävä pinnoitelaatu ja paksuus.

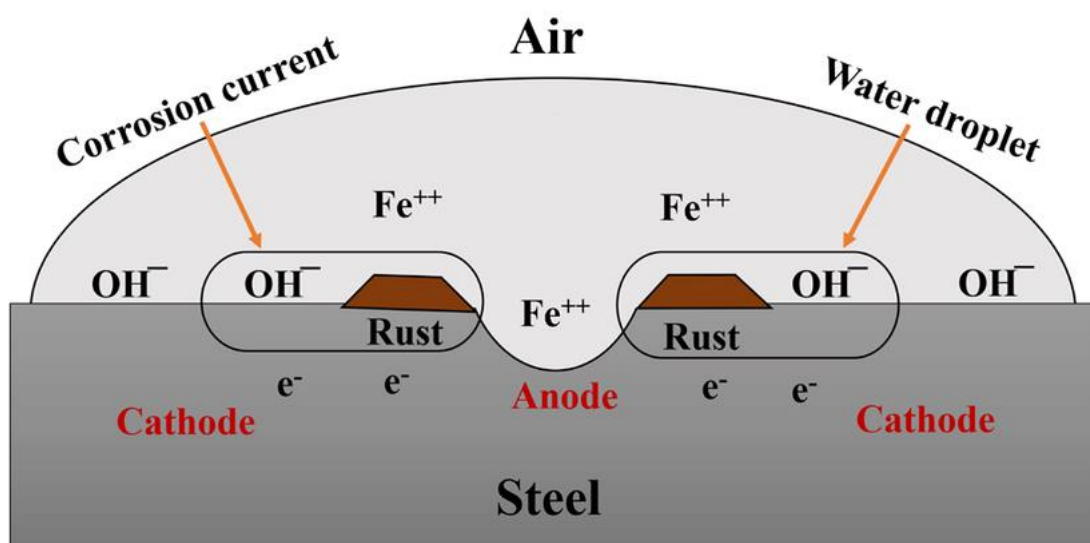
Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelussa tulee huomioida valitun pintakäsittelyn riittävyys rakenteen käyttöiän aikana. Yksittäinen teräsrakenneosa saatetaan suunnitella kestäväksi koko käyttöikänsä ilman erillisiä korjaus/lisäpinnoitus toimenpiteitä. Toisaalta voi olla edullisempaa suunnitella yksittäinen rakenneosa joko uudelleen pinnoitettavaksi tai kokonaan vaihdettavaksi, mutta se riippuu täysin projektikohtaisista suunnittelun valinnoista. (11.) Standardi ISO 12944-2 määrittelee teräsrakenteiden olosuhterasitukset kuuteen eri luokkaan:

Taulukko 10. Teräksen ja sinkin korroosionopeus eri rasisitusluokissa ensimmäisen vuoden aikana standardin ISO 9223 mukaan.

Rasisitusluokka	Korroosionopeus				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa	
	Hiiliteräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	g/m ²	µm	g/m ²	µm		
C1 Hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1		Lämmitettyjen rakennusten sisällä, puhtaassa ilmassa, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit.
C2 Lievä	10 - 200	1,3 - 25	0,7 - 5	0,1 - 0,7	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on alhainen ja ilmasto kuiva. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmittämättömät rakennukset, esim. varastot, urheiluhallit.
C3 Kohtalainen	200 - 400	25 - 50	5 - 15	0,7 - 2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmastot, kohtalainen SO ₂ -kuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantolaitokset, joissa korkea kosteuspitoisuus ja vähän epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.
C4 Ankara	400 - 650	50 - 80	15 - 30	2,1 - 4,2	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla kohtalainen suolapitoisuus.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, uimalat, rannikolla sijaitsevat telakat
C5-I Hyvin ankara	650 - 1500	80 - 200	30 - 60	4,2 - 8,4	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmasto on syövyttävä.	
C5-M Hyvin ankara	650 - 1500	80 - 200	30 - 60	4,2 - 8,4	Rannikkoalueet ja muut alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	

Kuva 5. Korroosionopeuksia eri rasisitusluokissa. ISO 12944-2. (11.)

Teräsrakenteiden sinkitys on menetelmä, jossa terästä epäjalompaa sinkkiä joko kuuma- tai ruiskusinkitetään jalomman teräksen pinnalle. Epäjalompi sinkki suojaa terästä hapen vaikutuksessa ensin muodostaen sinkkioksidikalvon. Kostuden vaikuttaessa sinkkioksidi muuttuu sinkkihydroksidiksi. Ilmakehän hiilidioksidin vaikutuksesta sinkkihydroksidi muuttuu sinkkikarbonaatiksi, joka on melkein veteen liukenematon, tiivis ja hyvin kiinnittynyt suoja. (11.)



Kuva 6. Teräksen korroosiomekanismi. (12.)

2.4.1 Esikäsittely

Teräspintojen maalausvaurioista noin 50–70 % johtuu riittämättömästä esikäsitteystä Tikkurilan metallipintojen teollisen maalausohjekirjan mukaan. Maalauksen esikäsitteyllä viitataan niihin toimenpiteisiin, joilla parannetaan maalin kestävyttä ja tarttuvuutta. Esikäsitteilyn asteita on kolme, P3, P2 ja P1, jotka määräytyvät korroosion eston odotetun käyttöiän ja rakenteen rasitusluokan mukaan. P1 on kevyin esikäsitteilyasteista ja P3 perusteellisin. Maalattut teräspinnat tulee esikäsitellä SFS 8501 & SFS-EN ISO 12944-4 sarjan mukaisesti. (13.)

Korroosioneston odotettu käyttöikä ^a	Rasitusluokka ^b	Esikäsitteilyaste
> 15 vuotta	C1	P1
	C2 - C3	P2
	yli C3	P2 tai P3 jos esitetty
5... 15 vuotta	C1... C3	P1
	yli C3	P2
< 5 vuotta	C1... C4	P1
	C5... Im	P2
^{a,b} Korroosioneston odotetun käyttöiän ja rasitusluokan osalta viitataan standardeihin EN ISO 12944 ja EN ISO 14713-1.		

Kuva 7. Esikäsitteilyasteen valinta rasitusluokan ja käyttöiän perusteella. (13.)

2.4.2 Kuumasinkitys

Kuumasinkitys on teräksen pintakäsittelytapa, jossa teräsosa lasketaan sinkki- kylpyyn, jossa sinkkipinta tarttuu kappaleen pintaan. Standardit EN ISO 14713 & 1461 käsittelevät kuumasinkitys menetelmiä. Kuumasinkitystä suunniteltaessa tulee huomioida sinkin pääseminen jokaiseen pintaan sekä teräskappaleen mahtuminen sinkkipataan. Umpinaisia tiloja ei osassa saisi olla, sillä teräsojan sisälle jäävä kosteus höyrystyy sinkityksen aikana ja mahdollistaa räjähdysten. Tarvittaessa tulee kappaleeseen sijoittaa sinkitysreikiä. Tarvittaessa kuumasinkityksen lisäksi teräsrakenne tulee maalata. Standardi EN ISO 12944-5 käsittelee kuumasinkitylle pinnalle sopivia maaliyhdistelmiä. (14.)

Sinkitettävän teräksen sinkitettävyyteen vaikuttaa myös sen pii- ja fosforipitoisuus (Si + P) sekä itse kasto aika. EN 10025-2 määrittelee kolme kuumasinkittävyysluokkaa (1, 2 & 3), jotka määrittävät piin ja fosforin pitoisuuden teräksessä riippuen teräskappaleen pintalaatu- ja kestävyysvaatimuksista. Korkeammalla piipitoisuudella mahdollistetaan vahvempi sinkkikerros. (14.)

Kuumasinkityissä teräsosissa voi esiintyä harvinaista LMAC-halkeilua, jota ilmiönä kutsutaan myös sulametallihaurausvaaraksi. Teräsosat tulee tarkastaa SFS-EN ISO 14713-2 standardin mukaisesti sen vuoksi. LMAC-halkeiluun vaikuttaa ainepaksuudet ja niiden suhteet, epätasaisen lämpötilan aiheuttamat jännitykset sekä sinkkikylvyn koostumus upotusajan yhteydessä kuumasinkittäessä. (15.)

2.4.3 Korroosionestomaalaus

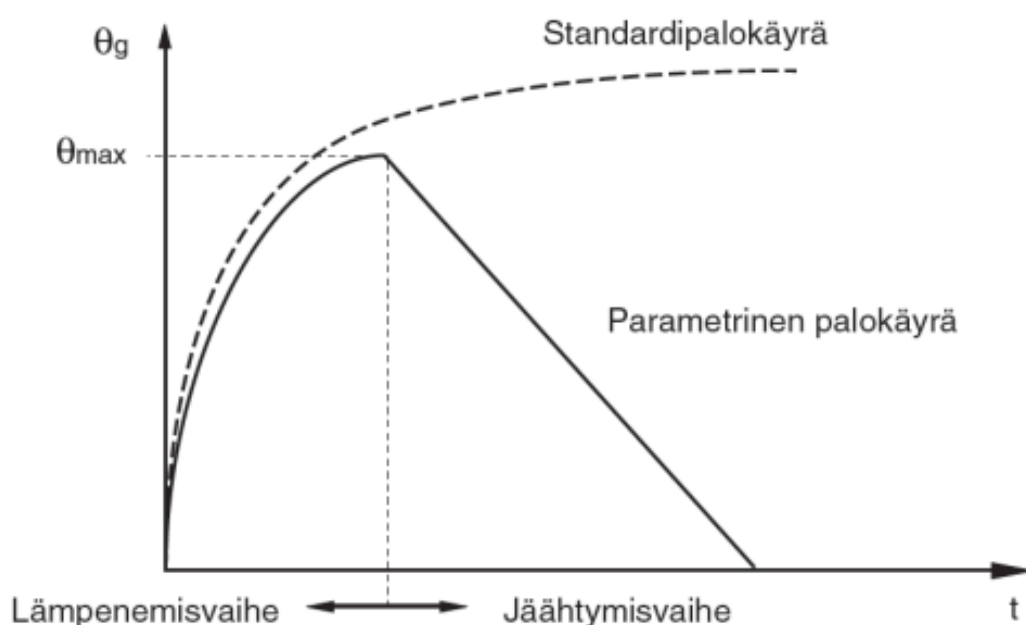
Teräsrakenteiden maalauksella voidaan parantaa sen korroosio- sekä palonkestävyyttä. Teräsrakenteiden maalaaminen on yleisin korroosionestotapa. Rakennesuunnittelijan on huomioitava esteettisen/arkkitehtonisen suunnitelman lisäksi ne olosuhteet, joita varten maalipintaa suunnitellaan. SFS EN-ISO 12944 käsittelee korroosionestomaalien standardeja. Korroosionestomaalien toiminta riippuu niiden koostumuksesta. Korroosionestomaalien koostumus vaikuttaa siihen, millä tavalla ne suojaavat teräspintaa. Varsinainen maalikalvo muodostaa vastusta ionivirralle, mutta maaleissa voi olla korroosionestopigmenttejä tai sinkkipölyä, joka suojaa teräspintaa katodisesti. Standardi ISO 12944-3 sisältää ohjeistusta maalattavien rakenteiden suunnitteluun. (16.)

2.5 Palotilanne

Palotilanteessa rakenteiden kantavuus voi heiketä merkittävästi. Rakenteiden palonkesto aika tarkoittaa määritettyä palonkestovaatimusta, jossa annetun ajan rakenteen tulee säilyttää tarvittava kantavuus. Palonkestoajat ilmaistaan minutteina (15,30...90,120...) ja ne määritetään rakenteille rakennuksen paloluokan ja palokuorman perusteella. Paloluokkia on 3: P1, P2 ja P3, joista P3 on vaatimuksiltaan kevyin ja P1 vaativin. Palonkestoajalla mahdollistetaan rakennuksen käyttäjien turvallinen poistuminen rakennuksesta sen määrittämän ajan puitteissa. Rakenteiden yleiseen palonkestoon liittyy myös tiiveys- ja eristävyystekniset vaatimukset, mutta yksittäisille teräsrakenteille tai teräsrungoille on vain kantavuudella merkitystä.

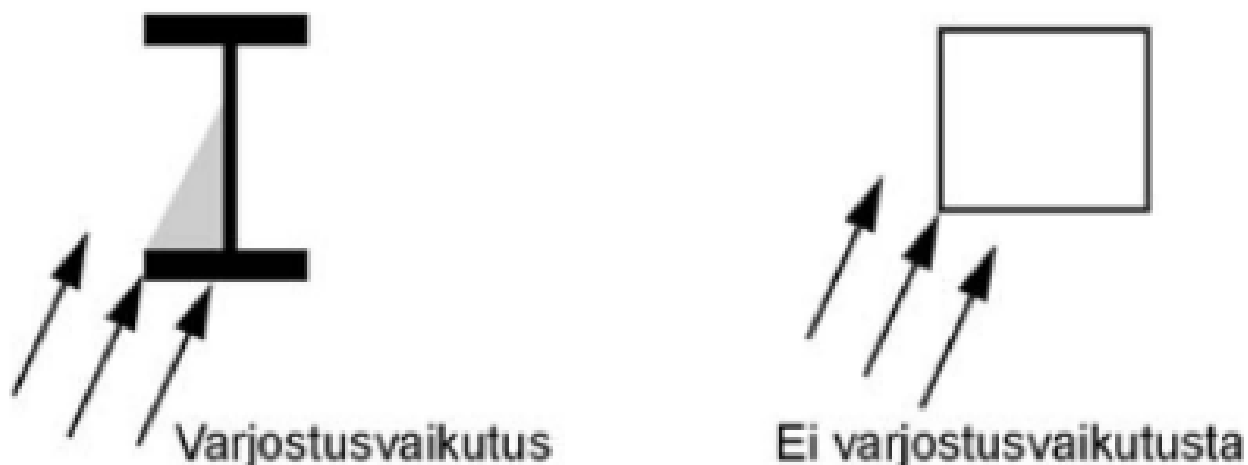
Teräs menettää lujuuttaan huomattavasti lämpötilan noustessa, joten rakennesuunnittelijan on mitoitettava suunniteltavan teräsrakenteen palonkestävyys ja tarvittaessa määritettävä riittävä palonsuojaus täyttämään palonkestovaatimukset teräsrakenteiden mitoituksen prosessissa. (17.) Teräsrakenteen palomitoituksen olennaisin ehto on, että rakenteen palonaikainen kestävyys on vähintään yhtä suuri kuin sen palotilanteen kuormitusyhdistelyn laskennallinen rasitus asetetun palonkestoajan. (18.) EN 1993-1-2 käsittelee teräsrakenteiden palomitoitusta. Palomitoituksessa tulee huomioida myös liitosten heikkeneminen SFS-EN-1-2 mukaisesti.

Suunnittelussa palon oletetaan yleisesti kehittyvän ns. standardipalon kehityksen mukaisesti, joka olettaa, että mitoitettavan rakenteen lämpötila kasvaa riippumatta siitä, onko palokuorma jo palanut tai muusta palonkehityksen kannalta merkittävästä asiasta. Suunniteltu palo-aika määrittää sen, minkä lämpötilan teräsrakenne tulee kestää. Projektista riippuen lämpötilankehitystä voidaan tutkia parametriseen palon kehittymisen kautta, joka ottaa enemmän ympäristövaikutuksia huomioon lämpötilan kehityksessä.



Kuva 8. Standardipalokäyrä verrattuna parametriseen palokäyrään. (19.)

Palosuunnittelussa teräsrakenteen myötörajaa ja kimmokerrointa pienennetään suhteessa lämpötilaan, joka heikentää rakenteiden kestävyyttä ja stabiilisuutta, kuten nurjahdus- ja kiepahduskestävyyttä. (18.) Rakenteen palonkestävyyden kannalta oleelliseksi mitoittamisarvoksi nousee kriittinen lämpötila, joka on se teräsrakenteen lämpötila, jossa profiilin tekninen kestävyys ja stabiilisuus alittaa sen rasituksen ja rakenne pettää tai rakenteen lämpölaajeneminen aiheuttaa esimerkiksi tiiveys- ja eristävyysteknisiä muutoksia. (17.) Teräsrakenteiden palomitoituksessa käytetään usein kappaleen poikkileikkauksen pinta-alan suhdetta tilavuuteen metrin pituudella päättelemään sen kuumentumisen nopeutta, jotka kutsutaan A/V -suhteeksi. Profiilin muodolla on vaikutusta kuumentumiseen varjostusvaikutuksen takia.



Kuva 9. Varjostusvaikutus havainnollistettuna. (19.)

2.5.1 Palonsuojaus

Jos teräsprofiilin poikkileikkauksen lujuus ei riitä kestämään annettua paloluokkaa, tulee teräs rakenne palosuojata tai poikkileikkausta kasvattaa. Teräs rakenteiden pääsääntöiset palosuojaustavat ovat palosuojamaalit ja eristäminen.

Riittävän korkeassa lämpötilassa palosuojamaali paisuu moninkertaiseksi, täten eristäen teräs rakennetta palolta. Paisunut maali hiiltyy palon takia, eristäen terästä hiiltyneellä kerroksella. Palosuojamaalit jakautuvat ohut- ja paksukalvoisiin paljosuojamaaleihin. Ohutkalvoiset palosuojamaalit voivat paisua äärimmillään noin 50 kertaiseksi, kun taas paksukalvoiset palosuojamaalit noin 5–8 kertaiseksi paisumattomaan maaliin verrattuna. Käytettävällä palosuojamaalilla tulee olla voimassa oleva ETA-todistus ja sen tulee olla CE-merkitty. (20.)

Teräs rakenteen palosuojaeristyksessä rakenne suojataan asentamalla rakenteen päälle/ympäri eriste. Eriste voi olla ruiskutettava materiaali, joka muotoilee profiilin poikkileikkausta, levymateriaaleilla tehty kotelo tai poikkileikkausta ympäröivä betonikerros. (17.) On yleistä, että suunnittelija käyttää palotuetteen toimittajan laskentasovellusta/-taulukkoa tuotekohtaiseen palosuojaukseen. Kuitenkin rakennesuunnittelijan tulee ymmärtää käytettävien ohjelmien ja taulukoiden mahdolliset heikkoudet, kuten liian suppeat näkökulmat rasituksiin.



Profiilinmyötäinen
asennus



Kotelointi



Kiinteä
ruiskutettava

Kuva 10: Esimerkkejä palosuojauksen asennuksesta. (17.)

3 Suunnittelun lähtötiedot ja lainsäädäntö

3.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritetään rakentamisen yleisiä edellytyksiä, viranomaisvalvontaa ja rakentamisen lupamenettelyjä sekä rakenteiden olennaisia teknisiä vaatimuksia. Nämä vaatimukset käsittelevät rakenteiden lujuuden lisäksi sen vakautta, paloturvallisuutta, ääniolosuhteita sekä muita käyttömukavuuden ja -turvallisuuden olennaisia asioita. Maankäyttö- ja rakennuslaki muodostaa rakentamismääräyskokoelman, josta käytetään yleistä lyhennettä RakMK. Se sisältää rakentamiseen ja suunnitteluun liittyviä velvoitteita sekä yleisiä koottuja ohjeita hyväksi todetuista rakenteista. (21.)

3.2 Eurokoodit ja kansalliset liitteet

Yhteiseurooppalaiset mitoitusohjeet eli eurokoodit muodostavat standardisarjan, joka tämän opinnäytetyön laatimishetkellä koostuu 58 osasta, jotka ryhmittyvät kymmeneen pääosaan. Eurokoodit ohjaavat suunnittelua siten, että niiden mukaan määritetään rakenteiden varmuuden toteutuminen. Ne kattavat kuormitusten määrittämisen lisäksi eri rakennusmateriaalien suunnittelun yleiseurooppalaiset standardit. (22.) Teräsrakenteiden suunnittelua ohjaa pääsääntöisesti eurokoodi 3. Eurokoodien standardisointi on Suomessa jaettu eri organisaatioille. Teräsrakenteiden suunnittelun eurokoodia standardisoi Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry (23.)

Eurokoodi-järjestelmä sisältää seuraavat pääosat:

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

Kansalliset liitteet ovat eurokoodien lisäksi maakohtaisesti laadittuja dokumentteja, jotka ottavat kantaa eurokoodien sisältöön maakohtaisesta näkökulmasta. Eurokoodeihin on määritetty vapaita kohtia, kuten tietyt varmuusluvut ja paikallisten olosuhteiden kuormitukset, jotka ovat laadittu kansalliseen liitteeseen tarkentamaan esimerkiksi paikallisia rasitusolosuhteita. Eurokoodit on julkaistu SFS-EN standardeina, ja niitä myy Suomessa SFS.

Uuden sukupolven eurokoodeja laaditaan tämän opinnäytetyön julkaisuhetkellä melkein kaikista olemassa olevista eurokoodeista. Niitä tullaan julkaisemaan arviolta vuosina 2025–2027, ja niiden yhtenä tarkoituksena päivittämisen lisäksi on yksinkertaistaa olemassa olevia Eurokoodeja. (24.) (25.)

3.3 Standardit ja CE-merkintä

Rakennustuote- ja toteutusstandardit yhtenäistävät suunnittelua ja rakentamisen laadun johdonmukaisuutta. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry ylläpitää ja laatii lukuisia Suomessa käytettäviä standardeja, joihin lukeutuu pääsääntöisesti kaikki maassa käytettävät standardit.

CE merkintä on EU:n tuotestandardien yleismerkintä, joka osoittaa sen, että merkitty tuote täyttää EU:n harmonisoidut terveys-, turvallisuus- sekä ympäristövaatimukset. Teräskokoonpanojen tekniset vaatimukset kuuluvat CE merkinnän piiriin. Rakenteellisille teräs- ja alumiinikokoonpanoille CE-merkintä on pakollinen, silloin kun rakennustuote lukeutuu standardin soveltamisalaan. Konepajoissa valmistettujen osakokoonpanojen ja teräsrakenteiden tekninen vaatimustenmukaisuus osoitetaan CE-merkinnällä SFS-EN 1090 -standardin mukaisesti (26.) (23.)

3.4 Seuraamusluokat

Rakenteiden seuraamusluokat ovat standardin SFS-EN 1990 kansallisen liitteen taulukossa B1 esitettyjä rakenteiden luotettavuuden hallintaluokkia, jotka koskevat rakennusosia, rakenteita ja itse rakennuksia. Seuraamusluokat jakautuvat nimensä mukaisesti kolmeen luokkaan: CC3 (suuret seuraamukset), CC2 (keskisuuret seuraamukset) ja CC1 (vähäiset seuraamukset). Seuraamusluokka vaikuttaa laskennassa käytettyihin varmuuskertoimiin.

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten <ul style="list-style-type: none"> • yli 8-kerroksiset ²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset • konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot • raskaasti kuormitettut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten <ul style="list-style-type: none"> - matalalla olevat alapohjat ilman kellaritiloja - ryömintätillaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana - standardin SFS-EN 1993-1-3 rakenneluokkien (structural class) II ja III muotolevyrakenteet. - standardin SFS-EN 1993-1-3 rakenneluokan (structural class) I muotolevyrakenteet levyyn taivutusta aiheuttaville pintaa vasten kohtisuorille kuormille ³⁾.
<p>¹⁾ ylä- ja välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2 elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena. Rakennuksen koostuessa erilaisista toisistaan riippumattomista rakennusosista määritetään kunkin osan seuraamusluokka erikseen.</p> <p>²⁾ kellarikerrokset mukaan luettuina.</p> <p>³⁾ ei koske kuormituksia, jotka syntyvät, kun muotolevyrakenteita käytetään siirtämään levytason suuntaisia leikkausvoimia (levyvaikutuksen hyväksikäyttö) tai normaalivoimia.</p>		

Kertoimen K_{FI} arvot:

seuraamusluokassa CC3 $K_{FI} = 1,1$

seuraamusluokassa CC2 $K_{FI} = 1,0$

seuraamusluokassa CC1 $K_{FI} = 0,9$

Kuva 11: Seuraamusluokat. (27.)

3.5 Suunnittelun vaativuusluokat

Kantavien rakenteiden vaativuusluokkia on neljä, ja ne asettavat rakennuskohteen suunnittelijoille tietyt pätevyysvaatimukset. Rakennusten vaativuusluokat määräytyvät arkkitehtonisten, teknisten vaatimusten, käyttötarkoituksen ja moneen vastaavan asian mukaisesti siten, että haastavien ja/tai seuraamuksiltaan huomattavien kohteiden suunnittelijoilta vaaditaan tiettyjä lisäpätevyksiä. Tietyn kohteen suunnittelutehtävien välillä voi olla eroavaisuuksia vaativuusluokien välillä. Suunnittelijan pätevydet perustuvat relevantiin koulutukseen sekä asianmukaisen työkokemuksen määrään. (21.)

TOPTEN –rakennusvalvonnat

Vaativuusluokka	RAKENNESUUNNITTELIJAN KELPOISUUSVAATIMUKSET		
	Koulutusvaatimus ⁽¹⁾ ja kokemusvaatimus ⁽²⁾	Opintopisteet ⁽³⁾ Kantavien rakenteiden suunnittelu	Opintopisteet ⁽³⁾ Rakennusfysikaalinen suunnittelu
Tavanomainen (T)	Teknikko (rakennusmestari), tai tekniikan kandidaatti (180 op.) ja 3 v. avustamista tavanomaisissa suunnittelutehtävissä	Rakennetekniikkaan sekä kyseessä olevien rakenteiden suunnitteluun ja toimintaan liittyviä opintoja vähintään 30 op, joista <ul style="list-style-type: none"> Rakenteiden mekaniikkaa 10 op. Kyseisen materiaalin rakennesuunnittelua 4 op. (bet/puu), 5 op. (teräs) Betonirakentamista 4 op. (bet) 	Rakennusfysiikkaan sekä rakenne- ja materiaalitekniikkaan liittyviä opintoja vähintään 20 op, joista <ul style="list-style-type: none"> Rakennusfysiikkaa 4 op. Rakennetekniikkaa ja rakennesuunnittelua 10 op.
Vaativa (V)	Rakennus- tai konetekniikan insinööri, insinööri (AMK) ja 4 v. tavanomaisia suunnittelutehtäviä + 2 v. avustamista vaativissa suunnittelutehtävissä tai 6 v. avustamista vaativissa suunnittelutehtävissä	Rakennetekniikkaan sekä kyseessä olevien rakenteiden suunnitteluun ja toimintaan liittyviä opintoja vähintään 40 op, joista <ul style="list-style-type: none"> Rakenteiden mekaniikkaa 15 op. Kyseisen materiaalin rakennesuunnittelua 10 op. (teräs/puu), 8 op. (bet) Betonirakentamista 8 op (b) 	Rakennusfysiikkaan, rakenne- ja materiaalitekniikkaan sekä kyseessä olevaan rakennusfysiikan alaan liittyviä opintoja vähintään 30 op, joista <ul style="list-style-type: none"> Rakennusfysiikkaa 5 op. Rakennetekniikkaa ja rakennesuunnittelua 15 op. Kyseisen rakennusfysiikan alan opinnot
	Vaativa+ (V+) Rakennus- tai konetekniikan insinööri, insinööri (AMK) ja 4 v. vaativia suunnittelutehtäviä	<ul style="list-style-type: none"> opintoja jännitettyjen rakenteiden suunnittelusta (mikäli suunnittelutehtävänä normaalin jännitetyn rakenteen suunnittelu) 	<ul style="list-style-type: none"> samat kuin yllä
Poikkeuksellisen vaativa (PV)	Ylempi korkeakoulututkinto Diplomi-insinööri, insinööri (ylempi AMK) tai maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen 41/2014 siirtymäsäännöksen mukainen kelpoisuus ja 6 v. vaativia suunnittelutehtäviä	Rakennetekniikkaan sekä kyseessä olevien rakenteiden suunnitteluun ja toimintaan liittyviä opintoja vähintään 45 op, joista <ul style="list-style-type: none"> Rakenteiden mekaniikkaa 20 op. Kyseisen materiaalin rakennesuunnittelua 10 op. (teräs/puu/betoni) Betonirakentamista 10 op. (bet) 	Rakennusfysiikkaan, rakenne- ja materiaalitekniikkaan sekä kyseessä olevaan rakennusfysiikan alaan liittyviä opintoja vähintään 35 op, joista <ul style="list-style-type: none"> Rakennusfysiikkaa 10 op. Rakennetekniikkaa ja rakennesuunnittelua 15 op. Kyseisen rakennusfysiikan alan opinnot

Kuva 12: Suunnittelun kelpoisuusvaatimukset. (28.)

3.6 Teräsrakenteiden toteutusluokat

Teräsrakennesuunnittelijan keskeisimpiin suunnittelutehtäviin liittyy toteutusluokan valinta ja se määrittää suunnittelun teräsrakenteen tuotannon vaatimuksia. Toteutusluokka voi koskea koko rakennusta tai yksittäistä rakenneosaa. Toteutusluokkia on neljä, ja ne on luokiteltu numeerisesti kasvavasti toteutusluokan vaatimusten mukaan siten, että neljästä EXC1, EXC2, EXC3 ja EXC4, on viimeisin EXC4 vaativin. Toteutusluokan asettamat vaatimukset koskevat pääosin valmistusmenetelmiä, niiden tarkkuusvaatimuksia, henkilöstön pätevyyskiä ja yleistä dokumentointia. Toteutusluokan valinta on rakennesuunnittelun kannalta oleellista, sillä esimerkiksi tietyt mittaepätarkkuudet, jotka sallitaan vähemmän vaativammassa toteutusluokassa voivat kasvattaa rakenteen rasitusta suunnitelmattomasti. (29.) SFS-EN 1090-2 käsittelee teräsrakentamisen toteutusta.

Rakenteen tai rakennuksen toteutusluokka määräytyy tuotantoluokkien, käyttöluokkien ja seuraamusluokkien mukaisesti. (29.)

Seuraamusluokat		CC1		CC2		CC3	
Käyttöluokat		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Tuotantoluokat	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC3 ^a
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3^a	EXC4
^a Toteutusluokkaa EXC4 käytetään kansallisten sääntöjen edellyttämällä tavalla erityisrakenteille tai rakenteille, joiden vaurio voi aiheuttaa äärimmäisiä seuraamuksia.							

Kuva 13: Toteutusluokan valintataulukko. SFS-EN 1090-2. (29.)

3.7 Teräsrakenteiden toleranssiluokat

Standardi SFS-EN 1090-2 (liite A1) jaottelee rakenteiden ja osakokoonpanojen toleranssiluokkia erinäisiin luokkiin, jotka käsittelevät rakenteiden geometria- ja muita asennus- tai mittatoleransseja.

Rakenteiden olennainen toleranssi viittaa suunnittelun oletusarvojen toteutumiseen, jotta liian suuret geometriapoikkeamat eivät oleellisesti vaikuta rakenteen suunniteltuun stabiilisuuteen ja rakenteelliseen kestävyyskykyyn. Rakenteiden toiminnallinen toleranssi viittaa geometriseen toleranssiin, joka määritetään muiden kuin stabiilisuuden tai kestävyyskyvyn asettamien rajoitusten mukaisesti, esimerkiksi useamman rakenteen yhteensovittamiseksi. Valmistustoleranssi on teräsrakenteen valmistusprosessin asettama geometrinen mittojen sallittu vaihtelu. (23.)

3.8 Suunniteltu käyttöikä

Rakenteiden suunniteltu käyttöikä viittaa siihen ajanjaksoon, jonka rakenteet on teknisten vaatimusten mukaan kestävä niille ominainen käyttö ja rasitus. Suunniteltu käyttöikä vaikuttaa teräsrakenteiden kuin muidenkin materiaalien suunnittelussa merkittävästi, esimerkiksi korroosiosuojauksen suunnittelun kautta. Käyttöikää ynnä muita suunnitteluperusteita käsittelee standardi SFS-EN 1990. (30.)

Suunnittelun käyttöikä luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkkejä
1	10	Tilapäisrakenteet ⁽¹⁾
2	10...25	Vaihdettavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit
3	15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet

⁽¹⁾ Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.

Kuva 14: Käyttöikäluokat. SFS-EN 1990. (30.)

3.9 Suunnittelun lähtötiedoista

Kaikkien rakenteiden suunnittelun kulmakivi on suunniteltavan rakenteen lähtötiedot, jotka määrittävät sen, minkälainen rakenne voi olla ja mitä sen tulee kestää. Rakennesuunnittelija saa geometriset lähtötiedot tyypillisimmin arkkitehtisuunnitelmista. Suunnitteluvaiheet ja roolit voivat toimia dynaamisesti siten, että jos rakennesuunnittelija huomaa, että tietty rakenne ei sovi teknisen vaatimuksen mukaisesti arkkitehdin asettamaan tilaan, tulee suunnittelijoiden yhteistyössä päästä toimivaan ratkaisuun. (5.)

Teräsrakenteiden suunnittelussa, kuten muillakin materiaaleilla, tulee huomioida rakenteen toiminta suhteessa sen ympäristöön. Esimerkiksi teräslasijulkisivun taipumarajat ovat niin vaativia, että teräsrakenteen mitoittavaksi tekijäksi nousee yleisimmin sen taipumaraja, eikä varsinainen tekninen murtumiskestävyys. (5.)

Rakennesuunnittelijan on hyvä tiedostaa kohteen suunnitteluvaihe, jotta rakennesuunnitelmat voitaisiin tehdä tilanteen tarvitsemalla tarkkuudella. Voi olla turhaa suunnitella ja tuottaa piirustuksia liian tarkasti luonnossuunnitteluvaiheessa, sillä ne voivat muuttua suunnitteluprosessin aikana oleellisesti. Asiaa läpikäydään seuraavassa kappaleessa lisää. (5.)

4 Suunnitteluprosessi

4.1 Rakennushankkeen aloitus

Rakennushanke jakautuu karkeasti hankekehitys-, suunnittelu- ja rakentamisvaiheeseen. Vaiheet voivat osittain esiintyä samanaikaisesti hankkeen edetessä, mutta tietyt lainsäädännölliset ja hankkeen kannalta olennaiset kohdat, kuten rakennusluvan hakeminen, ryhmittävät suunnittelutehtäviä ja ohjaavat niiden tarkoitusta ja täten tarkkuutta. Hankkeen aloituksessa tehdyt suunnittelu päätökset ja kohteen tarkoitus ohjaa suunnittelutehtäviä. (31.)

Rakennusprojektin aloittaa tarveselvitys, jossa tavoitteena on kartoittaa hankkeen tavoite, määrittää alustavat tilat ja rakenteet sekä verrata ratkaisuvaihtoehtoja. Tarveselvityksen lopuksi laaditaan hankepääätös, joka määrittää sen, käynnistetäänkö rakennusprojekti vai ei. Tyypillisesti tarveselvityksessä on mukana rakennuttaja sekä tarvittaessa suunnittelijoita ja muita konsultteja, kuten esimerkiksi korjausrakentamishankkeessa. (31.)

Hankepääätöksen määrittäessä sen, että rakennushanke aloitetaan, käynnistyy hankesuunnitelman laatiminen. Sen tavoitteena on selvittää hankkeen perustiedot ja niiden toteuttamisvaihtoehdot yksityiskohtaisesti. Hankesuunnitelman laadinnan jälkeen valmistellaan suunnitteluvaihetta suunnittelun organisoinnin selvittämisellä ja suunnittelijoiden valintamenettelyillä, joihin lukeutuu suunnittelukilpailut ja -sopimukset. Rakennushankkeeseen osallistumisen mahdollisuutta varten rakennesuunnittelija laatii tarjouspyyntöasiakirjat (31.)

4.2 Rakennesuunnittelijan tehtävistä

Suunnittelusopimukset sinetöivät rakennussuunnitteluvaiheen aloituksen. Rakennussuunnitteluvaihe jakautuu tyypillisesti kahteen osaan: ehdotus/luonnos- ja toteutussuunnitteluun. Rakennesuunnittelijan tehtävät ja niiden tavoitteet määrittyvät suunnitteluvaiheen sekä sovitun suunnittelusopimuksen mukaan. Ehdotus- tai luonnossuunnittelussa rakennesuunnittelija määrittelee mahdolliset rakennustekniset ratkaisut arkkitehtisuunnittelun pohjalta. Ehdotussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelijan päätehtäviin lukeutuu rakennejärjestelmävaihtoehtojen läpikäynti ja analysointi sekä ennakkolausuntojen laatiminen viranomaisille. Myös eri suunnittelualojen toimivuutta ja yhteensovitusta tarkastellaan. Ehdotussuunnittelun tavoitteena on täsmentää rakennetekniset ratkaisut siten, että ne yhteensopivat eri toimialojen suunnitelmien kanssa ja että viranomais selvitykset ja siihen liitännäiset tehtävät olisivat suoritettu. Ehdotussuunnitelmat tulee hyväksyttää tilaajalla. (32.)

Toteutussuunnittelussa rakennesuunnittelijan tehtävät poikkeavat luonnossuunnitteluvaiheesta siten, että rakennesuunnitelmia ensin täsmennetään projektin hankintoja varten, jonka jälkeen rakenteita suunnitellaan yksityiskohtaisella tasolla. Toteutussuunnittelussa yleisiä rakennesuunnittelijan tehtäviä ovat muun muassa runko- ja ulkorakenteiden suunnittelu, kantavien ja jäykistävien rakenteiden rakennelaskelmien laatiminen ja muiden rakenteiden, kuten katto- ja seinärakenteiden yksityiskohtaisempi suunnittelu sellaisella tarkkuudella, jotta niistä voidaan laatia hankintasuunnitelmia ja -sopimuksia. Rakennesuunnittelija yleisesti osallistuu urakkarajaliitteen sekä työturvallisuusasiakirjojen laatimiseen. (32.)

Teräsrakennesuunnittelun näkökulmasta toteutussuunnitelmien oleellinen tavoite on se, että niiden sisällöstä saadaan pääteltyä rakennusprojektin materiaali- ja työmäärä. Toteutussuunnitelmien tarkkuus riippuu pitkälle sitä varten varatusta ajasta. Niissä teräsrakenteinen runko sekä muut teräsrakenteet mitoitetaan alustavasti, jonka lisäksi laaditaan tyyppirakenteista kokoonpanopiirustuksia ja tyyppidetalleja, jotta saadaan määritettyä projektissa käytettävä teräsmäärä ja saadaan näkökulmaa asennustöiden laajuuteen sekä sisältöön. Tyypillisesti tuotantosuunnitelmat sisältävät teräsrakentamisessa:

- määräluettelon
- toteutuseritelmän
- tyyppikokoonpanot- ja detaljit, joissa esitetään eri rakenteiden valmistuspiirustukset ja liitokset
- mitta- ja tasopiirustukset sekä niiden rakenneleikkaukset (5.)

Rakenteiden tuotantosuunnitelmien laatiminen on oleellinen jatko-osa toteutussuunnittelua. Tuotantosuunnitelmissa rakennesuunnittelija täydentää rakennesuunnitelmat yksityiskohtaisella tasolla, sisällyttäen detaljit ja esim. tarkemmat raudituspiirustukset. Tuotantosuunnittelussa suunnitelmien tavoite on olla tarkkuudeltaan oleellisia ja riittäviä, jotta niitä voidaan käyttää varsinaisessa rakentamisessa. Tuotantosuunnittelussa suunnitellaan rakenteiden valmisosat ja kantavista teräsrakenteista laaditaan osaluettelot ja liitännäiset piirustukset konepajavalmistusta varten. On yleistä, että rakennesuunnittelija saa tarkasti laaditusta tietomallistaan lähetettyä toteutusta varten riittävän tiedon konepajavalmistukseen, ja mahdollisesti liittyy piirustuksia esimerkiksi tarkastusta varten. Suunnitelmien tarkentamisen ja viimeistelyn yhteydessä rakennesuunnittelija osallistuu muiden osapuolien suunnitelmien tarkastukseen. (32.) (5.)

Rakennesuunnittelijan tehtävät jatkuvat rakennusaikana. Tyypillisesti rakennesuunnittelija osallistuu perustus- ja runkotyövaiheen merkittäviin kokouksiin sekä niihin liittyviin yleistarkastuksiin. (32.) (5.)

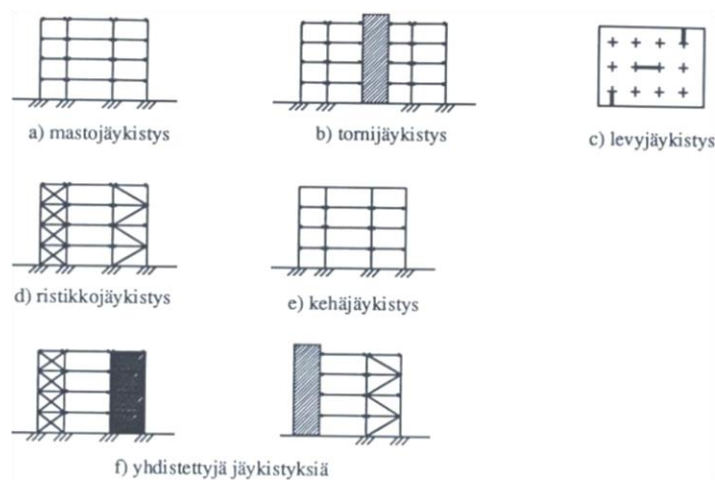
5 Teräsprofiilit ja -runko

5.1 Teräsrunko ja jäykistys

Rungon jäykistys viittaa vaakakuormien, kuten tuulikuorman ohjaamista rakenteista perustuksiin, ettei rakenne pääsisi kaatumaan. Myös pystyrakenteen vinoisuus tai maanpaine aiheuttaa vaakakuormia. Vaakavoimat tyypillisesti siirretään seinärakenteista pystyrakenteille ylä- tai välipohjien välityksellä.

Rakennusten jäykistystapoja on useita, ja teräsrunkoiset rakennukset voidaan jäykistää lukuisilla tavoilla, jotka on esitetty kuvassa 15. Rakennusten jäykistämässä on huomioitava myös työnaikainen jäykistys, sillä rakennus ei työnaikaisena toimi valmiin rakennuksen oletetulla tavalla. Ristikkojäykistystä käytetään yleisesti teollisuuden hallirakenteissa. Torni- ja levyjäykistys ovat tyypillisiä ratkaisuja asuin- ja liikerakennuksissa. Mastojäykistys on harvinaisempaa, ja sitä voidaan yleensä käyttää vain matalissa rakenteissa. (5.) (33.)

Jäykistykseen suunnittelu on tärkeä kokonaisuus, joka hoituu pitkälle hyödyntäen tietomallinnus ja FEM-ohjelmia. Tietomallintaessa ja voimien selvittämisessä on kuitenkin äärimmäisen tärkeää, että liitostyyppit asetetaan oikein, jotta jäykistejärjestelmä toimisi suunnitellulla tavalla ja tulokset olisivat täten tarkoituksenmukaisia. Rakennuksen jäykistysratkaisu ohjaa liitosten suunnittelua. (5.) (33.)



Kuva 15: Jäykistysjärjestelmien kuvaus. (33.)

5.2 Jatkuvan sortuman estäminen

Rakenteiden jatkuva sortuminen tarkoittaa tietyn rakenneosan kantokyvyn poistumisesta johtuvaa ketjureaktiota, jossa muut viereiset rakenteet alkavat sortumaan vaihtuneiden rasitusten ja tukien takia. Esimerkiksi liikennöidyssä hallirakenteessa jatkuvan sortuman voisi synnyttää pilariin törmäävä ajoneuvo, joka vaurioittaa pilaria siinä määrin, ettei se enää kannattele yläpuolista kuormaa. Kuorma täten uudelleen ohjautuu ja mahdollisesti käynnistää ketjureaktion. (34.)

Rakennusten on pystyttävä hallitsemaan jatkuva sortuma joko olemalla riittävän kestävä vaurionsietokyvyltään tai pystymällä ohjaamaan jakautuneet kuormat kantaville rakenteille aiheuttamalla vain paikallisen vaurion. Suomen kansallinen liite eurokoodiin EN1991-1-7 määrittelee vaurionsietokyvyn edellytys menetelmiä riippuen rakennuksen seuraamusluokasta. Pääpainotteisesti kansallisessa liitteessä esiintyy sidevoimamenetelmän hyödyntäminen rakennuksen vaurionsietokyvyn osoittamiseksi. Kansallisen liitteen kappaleessa ”Ohje: Sidejärjestelmien suunnittelu ja sidevoimien laskenta eri seuraamusluokassa” käsitellään aiheeseen liittyvää ohjeistusta ja sääntöjä. Näin ollen teräsrakennesuunnittelussa usein tutkitaan vaurionsietokykyä tarkastelemalla ns. sidevoimia ja liitosten plastista muodonmuutoskykyä riskiarvioinnin lisäksi. (35.)

5.3 Värähtely

Värähtely tarkoittaa kappaleen tai kokonaisuuden jaksottaista liikettä. Värähtelyllä on jokin taajuus ja voimakkuus, amplitudi. Värähtelyä rakenteissa voi aiheuttaa ihmisten kävely ja muu liike, viereiset tärinät, kuten junaradat sekä liikenneväylät. Myös erilaiset koneet voivat aiheuttaa rakenteisiin värähtelyä. Ihmiset ovat hyvin herkkiä värähtelyn havaitsemiseen ja se voi aiheuttaa käyttäjälle epämukavuutta. Myös rakennuksessa sijaitsevat koneet voivat vaatia tietyn värähtelyrajan, jotta ne toimisivat halutulla tavalla. Värähtelymitoitus on kohdekohtaista, ja tämän takia on tärkeää kartoittaa rakenteiden lähtötiedot huolellisesti. (36.) (5.)

Värähtely on teräsrakennesuunnittelun aihealueena vähemmän läpikäyty ja siitä on harvemmassa helposti sovellettavaa kirjallisuutta tai muuta lähteistöä suomen kielellä verrattuna moneen muuhun terässuunnittelun osa-alueeseen. Värähtelymitoitus ei ole kovin harmonisoitua maiden välillä. Suomen kielellä värähtelyohjeistus käsittelee pääsääntöisesti liike- ja asuintilojen välipohjien värähtelymitoittamista, jossa värähtelyn aiheuttaa ihmisten kävely. Tarvittaessa suunnittelijan on osattava hyödyntää muunkielistä ohjeistusta, kuten AISI:n materiaalia erilaisten teräsrakenteiden värähtelymitoitukseen. (36.) (5.)

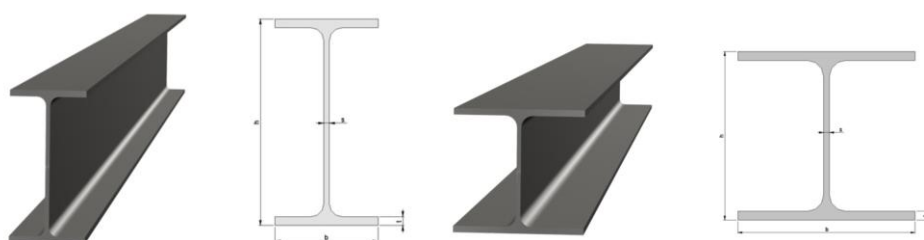
5.4 Väsyminen

Teräsrakenteen väsyminen tarkoittaa siihen muodostuvaa säröilyä ja halkeilua, joka vaihtuvien kuormitusten alaisuudessa leviää ja syvenee ja täten vaikuttaa oleellisesti rakenteen kantokykyyn. Rakenteita, joissa on huomattava määrä vaihtuvaa kuormitusta, kutsutaan väsymisrasitetuiksi rakenteiksi. Tyypillisessä asuin- tai liikerakennuksessa ei yleisesti esiinny väsymisrasitettuja rakenteita, mutta ne ovat yleisiä muussa teräsrakentamisessa, kuten teollisuuden ja silta-suunnittelun puolella. Teräsrakenteiden ja niiden liitosten väsymisen huomioiminen on oleellinen osa käyttöikäsuunnittelua. Kansallinen liite EN 1993-1-9 käsittelee väsymismitoitusta. (18.)

5.5 Profiilit

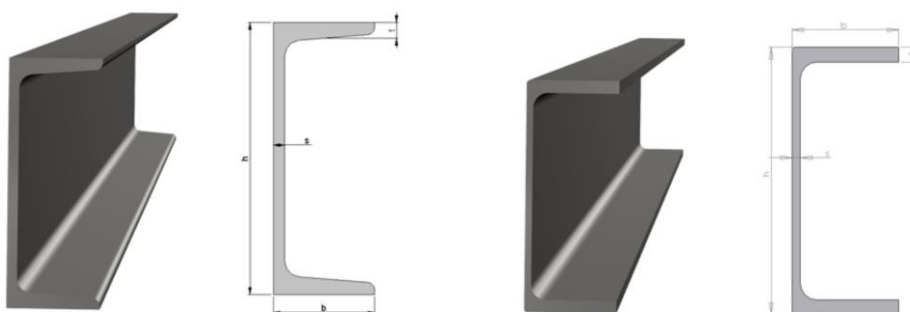
Muovailtavuuden ja kestävyytensä vuoksi terästä käytetään useissa eri rasiitustilanteissa, jonka takia teräsprofiilien kirjo on monipuolinen. Teräsprofiileja luokitellaan niiden poikkileikkauksen mittojen ja geometrian mukaisesti ja niiden nimeäminen on standardisoitua.

Palkeille yleisimpiä profiilin muotoja ovat I- ja H-palkit, jotka saavat nimensä siitä, että palkin poikkileikkaus kuvastaa I- kirjainta tai sivusuuntaista H-kirjainta silloin, kun profiilin laipat ovat leveät. Yleisimpiä palkkiratkaisuja I- ja H-profiileista ovat Europa-Profil I (IPE) ja eurooppalaiset leveälaippaiset HEA palkit. HEB ja HEM palkit ovat paksumpia ja painavampia ratkaisuja HEA palkista. IPE-profiililla on vähemmän vääntöjäykkyyttä kuin HEA-profiililla, mutta sen omapaino on myös pienempi. (37.)



Kuva 16: IPE & HEA -profiilit. (38.)

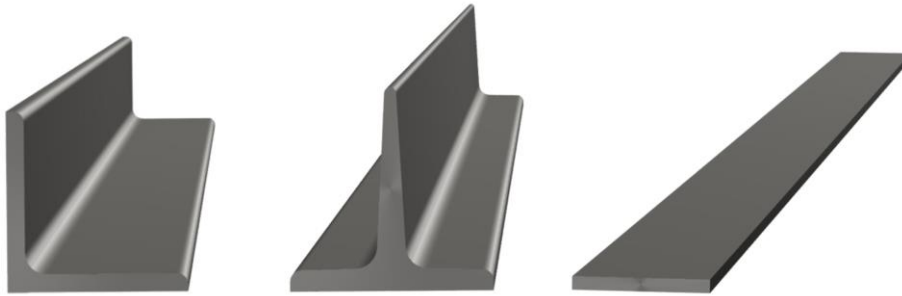
Muita palkkiprofiileita ovat U-profiilit, jotka tunnusomaisesti näyttävät sivusuunnassa lepääviltä U-kirjaimilta. U-palkkia käytetään ruuviliitoksissa, sillä profiilin muoto helpottaa rakenteen ruuvaamista toisiin rakenteisiin. U-palkille yleisimpiä profiileita ovat Normal-Profil U (UNP) ja Europa-Profil U (UPE). UNP-profiilissa laipat ovat kaltevia, kun taas UPE-profiilissa laipat ovat yhdensuuntaiset. (37.)



Kuva 17: UNP & UPE-profiili (38.)

Tangoille, eli palkkia lyhyemmille yksinkertaisille rakenteille yleisiä ratkaisuja ovat esimerkiksi kuumavalssatut neliö-, pyörö- tai lattatangot, sekä kulma- ja T-tangot. Myös U-profiilin muotoista U-tankoratkaisua käytetään. Tankojen hyöty esiintyy esimerkiksi kattoristikoiden valmistuksessa.

Neliötanko on nimensä mukaisesti poikkileikkaukseltaan neliön muotoinen, kun taas pyörötanko on poikkileikkaukseltaan pyöreä ja lattatanko suorakaiteen muotoinen. Kulmateräs on poikkileikkaukseltaan suorakulmion muotoinen, mutta profiilin sivujen pituudet voivat vaihdella. T-profiili muistuttaa poikkileikkaukseltaan T-kirjainta. (37.)



Kuva 18: Esimerkkiprofiileja tasakylkisistä kulmateräksistä. (38.)

Rakenneputket, eli rakenteet, jotka ovat sisäpuolelta onteloita käytetään esimerkiksi hitsattujen rakenteiden yhteydessä. Putkien muotoilu voidaan tehdä kuumissa tai kylmissä olosuhteissa.

Kuumamuovatut neliömäiset tai suorakaideprofiilit valmistetaan yli 800 celsiusasteen lämpötiloissa. Tällöin teräs on helpompaa muotoilla. Kylmämuovatut profiilit muotoillaan huoneenlämmössä, jolloin halkeilun välttämiseksi rakenteen kulmasäteen on oltava kuumamuovattua putkea suurempi. Myös pyöreitä teräsputkia voidaan valmistaa kylmämuovaamalla. Suorakulmaisista sekä neliön muotoisia rakenneputkia kutsutaan myös nimellä RHS-putkiksi. (37.).

5.5.1 Pilarit

Pilarirakenteet ovat tyypillisimmin normaalivoiman rasittamia. Usein seinälinjan pilareita rasittaa myös vaakasuuntainen tuulikuorma, joka taivuttaa pystyrakennetta puristavan normaalivoiman lisäksi. Pilareiden suunnittelussa tulee yleisesti tarkastaa nurjahduskestävyys ja puristavan voiman keskisyyden aiheuttama taivutus. Pilarirakenteen nurjahduskestävyyteen vaikuttaa olennaisesti sen tuenta, joka määrittää koko pilarin tai sen osapituuden nurjahduspituuden. (37.) (33.)

Eurooppalainen leveälaippainen profiili, HEA-profiili on leveä ja täten käytetään usein teräspilarina hyvän nurjahduskestävyyden takia. Muita I ja H profiileja käytetään pilarirakenteissa, kun tarvitaan taivutuskestävyyttä poikkileikkauksen vahvassa suunnassa ja tiedetään, että heikon suunnan nurjahdus on riittävän tuettu. Putkiprofiilien hyöty pilarirakenteissa on se, että ne ovat jäykkiä poikkileikkauksen molemmissa suunnissa, jolloin niitä voidaan käyttää huomattavasti normaalivoimarasitetuissa pilareissa. (33.)

5.5.2 Palkit

Palkit ovat taivutettuja rakenteita, joiden mitoituksessa tulee huomioida sen staabiilisuus ja leikkauskestävyys sekä taipumat. Ohuemmillä, poikkileikkausluokka 4 kuuluvilla palkeilla tulee myös huomioida lommahdus- leikkauslommahdus- sekä pistekuormakestävyys. Teräksen poikkileikkausluokka vaikuttaa kiepahdustarkastelussa teräksen laskenta-arvoihin. Palkkien taipumaraja on myös yleisesti mitoittava kokonaisuus, jonka rakennesuunnittelijan pitää tarkistaa. Tarvittaessa ja liittyvien rakenteiden sen salliessa voidaan palkkia esikorrota taipuman rajoittamiseksi.

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

Kuva 19. Taipumaraja-arvoja. (39.)

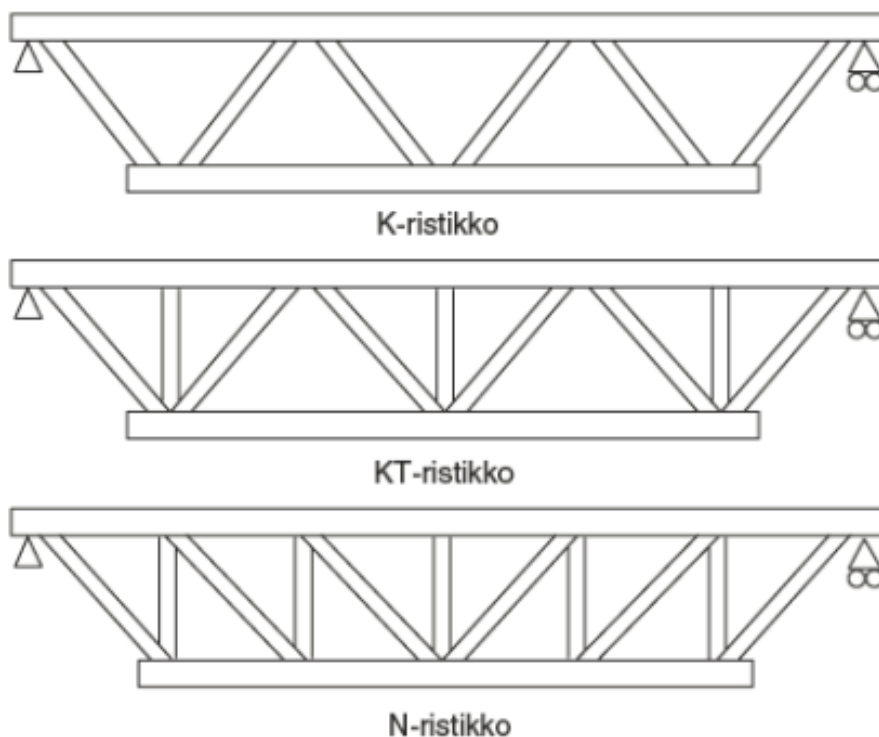
Teräspalkkeina käytetään IPE, UPE, HE ja putkiprofiileja. Profiilin valintaan vaikuttaa tilavaatimukset, palkin tuentatavat, rasitus sekä rakenteen taloudellisuus. Putkiprofiileja tyypillisesti käytetään katto-orsina tai muina tukevina rakenteina, kun taas IPE ja vastaavia kuumavalssattuja profiileja pääpalkkeina. (33.)

Matalapalkit ovat teräspalkkeja, jotka ovat suurimmilta osin upotettu välipohjarakenteeseen, esimerkiksi ontelolaatastoon. WQ- ja deltapalkit ovat esimerkkejä matalapalkeista. Matalapalkit ovat hyvä ratkaisu laataston kannattelemiseen, mutta niiden mitoituksessa tulee huomioida tiukemmat suositukset taipumarajalle käyttörajatilassa. (33.) Matalapalkkien ja ontelolaataston yhteistoiminta tulee varmistaa betoninormikortin 18 mukaisesti. Tiettyjen matalapalkkien, kuten deltapalkkien mitoitusta varten ovat teräsrakennemyyjät laatineet laskentasovelluksia, joita suunnittelija voi työssään hyödyntää tiedostaen niiden toimintatavan.

5.6 Ristikot

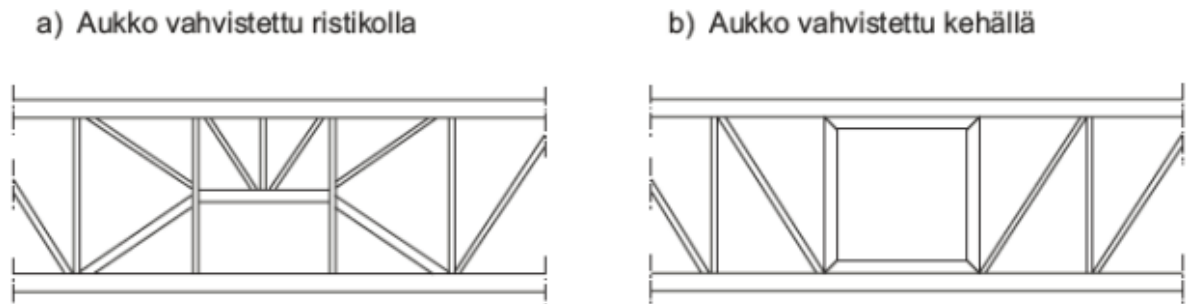
Teräsristikot ovat käytännöllinen ratkaisu hallirakenteiden kattoihin. Teräsristikossa useat sauvat muodostavat kokonaisuuden, jolla voidaan kannatella huomattavienkin jatkosvälien yli rasituksia. Teräsristikoiden voimasuureiden laskennassa kannattaa hyödyntää tietomallinnusta ja vastaavia ohjelmia, mutta suunnittelijan on osattava tulkita tulosten todellisuutta sekä varmistaa tulokset käsin laskennalla. Teräsristikoiden mitoittamisessa tulee huomioida sauvojen voimien suuruudet ja suunnat, sillä putkiprofiilien veto- ja puristusvoimakestävyydet ovat poikkeavia toisistaan. (33.)

Ristikkotyyppejä on kolmea erilaista: K-, N-, ja KT-ristikko. K-ristikoiden väljemmät tilat uumasauvojen välissä mahdollistavat paremmin LVI-tekniikan läpiviennin verrattuna muihin ristikkotyypeihin. Harvemmat uumasauvat voivat kasvattaa yläpaarten nurjahduspituutta, jolloin sen poikkileikkausta tulee suurentaa. K-ristikot sopivat myös suuremmille jänneväleille, jos kuormat saadaan ohjattua uumasauvojen liitoskohtien kohdalle. N-ristikot sopeutuvat hyvin tilanteisiin, joissa tarvitaan lyhyttä ja korkeaa ristikkorakennetta. N-ristikoiden suunnittelussa tulee huomioida alapaarten ja uumasauvojen toteuttaminen siten, että epäkeskisyydet voitaisiin minimoida. KT-ristikossa on tiheämmin uumasauvoja verrattuna K-ristikkoon, joten sen yläpaarten ei tarvitse olla yhtä jäykkä pienentyneen nurjahduspituuden vuoksi. KT-ristikon valmistus voi useampien uumasauvojen takia olla kalliimpaa ja haastavampaa mahdollisen limittämisen takia. (14.) (33.) Muuntojoustavuuden mahdollistamiseksi on alettu käyttää WQ-ristikoita. Ne ovat tyypiltään K-ristikoita, mutta niissä on WQ-palkki yläpaarteena, massiivinen lattateräs alapaarteena ja putkiprofiilit diagonaalisauvoina. (5.)



Kuva 20: Ristikkotyyppejä. (14.)

Jos LVI-tekniikkaa tarvitsee tuoda ristikon uuman läpi, tulee läpikohdan aukkoa vahvistaa ristikolla tai kehällä. Varaukset kannattaa ohjata menemään sieltä, missä on alhaisin leikkausrasitus.



Kuva 21: Detaljeja. (14.)

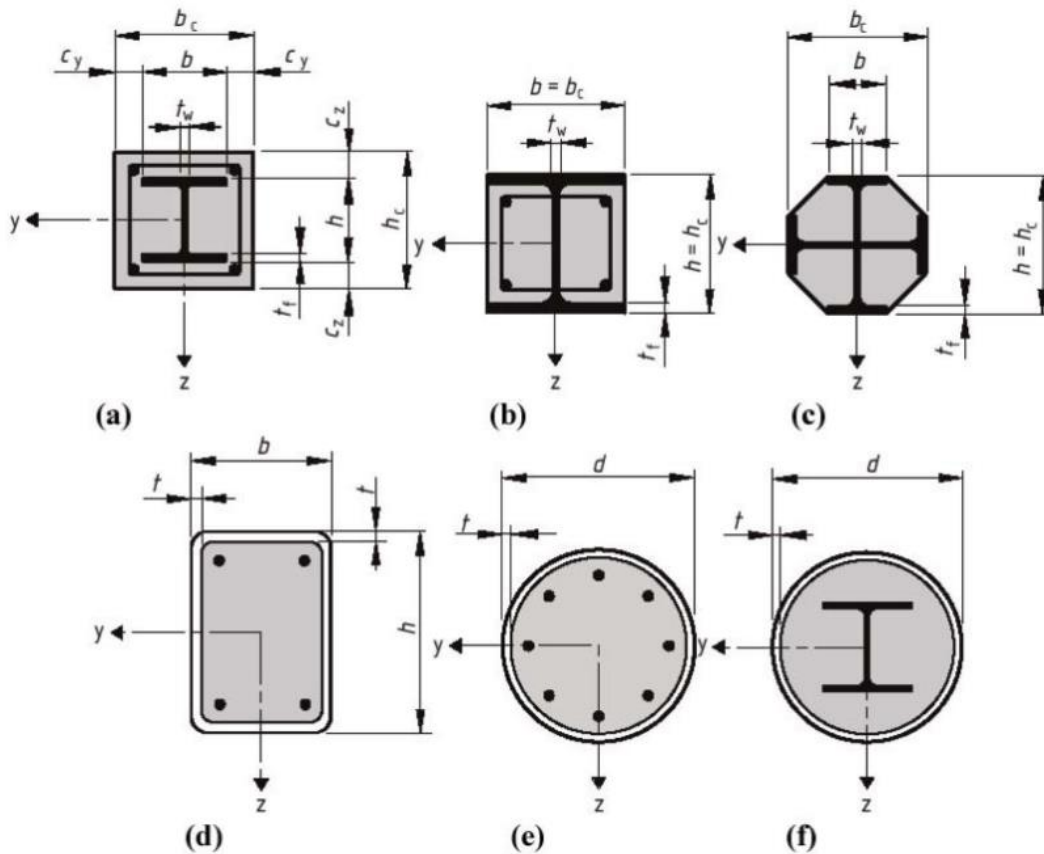
5.7 Teräs-betoniliittorakenteet

Liittorakennneosat ovat betonista ja rakenne- tai kylmämuovatusista teräksestä muodostettuja kantavia kokonaisuuksia, jotka toimivat teknisesti yhdessä riittävästi rajatun liukumisen ja toisistaan irtoamisen takia. Kahden pinnan välinen liukuma ja sen rajallisuus aiheuttaa rakenteiden pintojen väliin leikkausrasituksen. Yleisimpiä liittorakenteita ovat liittolaatat, -palkit ja -pilarit. Liittorakenteiden hyöty liittyy kummankin rakenneosan kestävyyksien hyödyntämiseen sekä siihen, että liittorakenteen teräsosa voi toimia betonille muottipintana, jolloin tehtävä asennustyö vähenee. (40.) Eurokoodi 4 käsittelee teräs-betoniliittorakenteiden suunnittelua.

Tyypillisesti liittopalkki on rakenne, jossa kaksoissymmetrisen teräspalkin päälle valetaan betonilaatta. Liittolaatat ovat rakenteita, joissa poimullisen teräslevyn päälle valetaan betonilaatta. Liittolaatat kantavat poimujen suunnassa. Liittorakenteisilla välipohjilla voidaan toteuttaa matalampi kerroskorkeus, jolloin niiden taloudelliset hyödyt erottuvat esimerkiksi vain betonisista välipohjista. (40.)

Liittopilarit ovat rakenteita, joissa teräksisen pilarin ympärille valetaan betonikerros. Betonikerros suojaa teräspilaria palolta ja tuo rakenteelle puristuskestävyyttä. Liittopilareita käytetään yleisesti asuin-, liike- ja toimistorakentamisessa, mutta myös teollisuuden puolella. Muottityön minimoiminen ja

palonkestovaatimukset ovat tärkeimpiä syitä liittopilareiden käyttöön. (41.) Liittopilareita käytetään hyvin usein delta- ja WQ-palkkien kanssa liike- ja toimitilarakennuksissa.



Kuva 22. Liittopilareiden poikkileikkauksia. (42.)

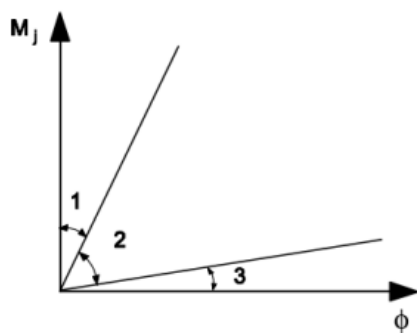
6 Liitokset

6.1 Liitosten suunnittelusta

Tässä opinnäytetyössä ei syvällisesti käsitellä liitosten mitoittamista sen laaja-alaisuuden ja monipuolisuuden takia. Mainittakoon, että SFS-EN 1993-1-8 käsittelee liitosten mitoittamisen sääntöjä. On suositeltavaa, että lukija perehtyy esimerkiksi Teräsrakenneyhdistyksen Eurocode 3 Käsikirjaan EN 1993-1-8 sekä suunniteltavaan liitokseen liittyvään ohjemateriaaliin, kuten verkkojulkaisuihin tai oman yrityksen oppimateriaaleihin.

Teräsrakenteiden liitoksia on useita eri tyyppisiä ja jokainen teräsrakenne tarvitsee jonkinlaisen liitoksen. Liitoksen tarkoituksena osana suurempaa rakennetta on siirtää kuormitusta, kuten leikkaus- ja/tai taivutusmomenttia rakenneosalta toiselle. Teräsrakenteissa liitoksilla on useita eri luokkia, jotka luokitellaan joko lujuuden tai jäykkyyden perusteella. Teräsrakentamisessa tyypillisimmät kaksi liitostapaa ovat hitsausliitos ja ruuviliitos. Yleisesti ottaen nivelelliset liitokset voidaan suunnitella vain ruuviliitoksina, kun taas jäykät liitokset voidaan toteuttaa ruuvi- tai hitsausliitoksilla. Liitoksen mitoittamisessa tulee ottaa huomioon liitoksen kiertymiskyky ja joustavuus, jotta liitos toimii suunnitellulla tavalla. (33.)

Liitosten luokittelu kiertymiskyvyn mukaan nimellisesti nivelelliseksi, puolijäykäksi tai jäykäksi voidaan tehdä tarkastelemalla sen $S_{j,ini}$ arvoa suhteessa liitoksen komponenttien ominaisuuksiin kuvan 22 mukaan. Liitoksia voidaan myös luokittelua perusteella, jota käsittelee SFS-EN 1993-1-8 yhdessä muiden liitosohjeiden kanssa.



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

Missä:

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

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

Alue 2: osittain jäykkä:

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

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

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

Merkinnät:

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

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

I_b on palkin hitausmomentti;

Kuva 23: Liitoksen luokittelu jäykkyyden mukaan. (33.)



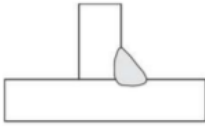

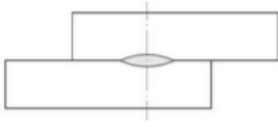
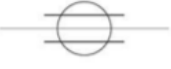


Ruuvikiinnitysten suunnitelmissa tulee esittää muun muassa ruuvattavien kappaleiden kiristysmomentti, ruuviliitosluokka ja liitostyyppi sekä tarvittavat työkalut ja rakenteiden lukitus. Kantaa on otettava myös kiinnityksen tarkastusmenetelyyn ja dokumentointiin. Työmaan hitsaustöiden suunnitelmissa tulee ottaa huomioon liittyvien osien kohdistaminen ja tukeminen, hitsaustyön työturvallisuus ja toteutus sekä rakennetekniset vaatimukset. Vaativimmista tai muuten tärkeimmistä liitoksista laaditaan hitsaustyökohtaiset suunnitelmat. (43.)

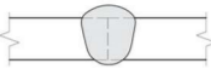











6.2 Hitsausliitos

Hitsausliitoksessa kaksi teräsrakenteen osaa liitetään yhteen korkealämpöisen valokaaren ja muiden lisä- tai apuaineiden avulla (HI). Hitsaamalla voidaan yhteenliittää eri rakenneprofiileja, kuten palkkeja ja pilareita, tai yhdistää rakenneprofiilin laippaosat uumaan. Hitsauksia on haastavaa toteuttaa työmaaolosuhteissa vaihtelevien sää- ja työtilanteiden takia. On siis suositeltavaa, että mahdolliset hitsaustyöt toteutettaisiin tehdas/työpajaympäristössä. Työpajaympäristössä hitsaaminen on taloudellisesti edullisempaa verrattuna ruuviliitosten käyttöön työmailla. (5.)

Hitsien mitoittaminen perustuu niiden lujuustekniseen kantavuuteen. Pienahitsi on rakentamisessa tyypillisimmin käytetty hitsausliitos, jossa kaksi kohtisuoraa kappaletta hitsataan liitoskohdan kyljistä. Pienahitsin mitoitus perustuu eurokoodin 3 ohjeisiin (EN 1993-1-8, 4.3.2). Hitsiliitoksen mitoitukseen on sallittua käyttää eri mitoitusmenetelmiä, jotka ovat komponenttimenetelmä, eurokoodin yksinkertaistettu menetelmä sekä neliöjuuriluokitteluun perustuva menetelmä. Komponenttimenetelmä on lujuusopillisesti tarkin laskentatapa, mutta myös monimutkaisuuden takia epäkäytännöllisin. Neliöjuuriluokitteluun perustuva menetelmä on johdettu komponenttimenetelmästä, mutta se olettaa, että hitsin rasitus on jokin sen kolmesta perustapauksesta. (44.) Hitsausliitoksien mitoituksessa oleellisia asioita ovat muun muassa hitsin a-mitta, sen efektiivinen pituus sekä rasituksen suunta suhteessa hitsiin yhdessä liitettävien osien ja hitsin materiaaliominaisuuksiin.

Kuvissa 24 & 25 on esitetty erilaisia hitsityyppejä ja niiden piirustustunnuksia.

Hitsilaji	Kuva (katkoviiva kuvaa railon muodon ennen hitsausta)	Tunnus
J-hitsi		
Pienahitsi		
Saumakehitsi		
Päällehitsi		

Hitsilaji	Kuva (katkoviiva kuvaa railon muodon ennen hitsausta)	Tunnus
I-hitsi		
V-hitsi		
V-hitsi (osaviistetty V-railo)		
Puoli-V-hitsi		
Puoli-V-hitsi (osaviistetty railo)		
U-hitsi		

Kuva 24 & 25: Hitsausmerkintöjä. (45.)

6.3 Lamellirepeily ja Z-levy

Lamellirepeily ilmiönä tarkoittaa teräksen, yleisimmin levyrakenteen paksuus-suuntaista repeilyä esimerkiksi vedetyn hitsiliitoksen takia. Rakenteen valmistuksessa hitsauksesta aiheutuvat pakkovoimat ja ulkopuoliset kuormitukset vaikuttavat levyyn kohtisuorasti pintaan nähden, jolloin syntynyt vetojännitys riittävässä suuruudessa voi repiä teräksen lamelleja. Lamellirepeily on harvinaista johtuen kehittyneistä teräsmateriaaleista, mutta teräsrakennesuunnittelijan on huomioitava mahdolliset lamellirepeilyn riskit suunnitellessa. SFS-EN 1993-1-1 kohta 3.2.4 käsittelee lamellirepeilyä.

Lamellirepeilylle riskialttiita liitoksia ovat L-, T- ja jäykät ristiliitokset. Lamellirepeilyn riskin minimoimista voidaan edistää huolellisella suunnittelulla lamellirepeilyn riski tiedostaen. Lamellirepeilyn riskiä arvioidaan Z-arvolla. Z-arvo määritetään standardin EN 10164 mukaisesti. Tarvittaessa levyksi tulee valita ns. Z-levy. Ne ovat erikoistuotteita, jotka ovat tutkimuksin todettu sopeutuvan järeämpään teräsrakentamiseen. (46.)

6.4 Ruuviliitos

Ruuviliitos on liitososien lukumäärän mukaan monimutkaisempi kuin hitsausliitos. Ruuviliitokset tyypillisesti muodostuvat itse ruuveista ja muttereista, aluslevystä ja liitettävistä materiaaleista. Ruuviliitokset voivat siirtää voimaa ruuvin suhteen pituus- ja poikittaissuunnassa. Ruuviliitosten puhekielisenä terminä käytetään usein sanaa pulttiliitos. Ruuvit ovat usein leikkaus- ja/tai vetovoiman rasittamia. Ruuviliitokset ovat tyypillisesti helpommin toteutettavissa työmailla, joten rakenteiden kokoonpano on yleisesti nopeampaa. Ruuviliitoksien mitoitus-säännöstöä käsitellään SFS-EN 1993-1-8 luvussa 6.4.

Ruuviliitosten mitoituksessa tulee tarkastella osakomponenttien rasituksia ja kestävyksiä. Ruuviliitoksen moniosaisuuden takia murtumistapoja on useita. Hitsausliitoksia voi esiintyä osana ruuviliitosta. Suunniteltaessa liitoksia tulee huomioida osakomponenttien kestävyksien suhteet, jotta liitos saataisiin suunniteltua halutuksi. Haurasmurtuvien osien, kuten ruuvien kestävyksien suhde taustalevyn/kiinnikelevyn kestävyteen määrittää pitkälle liitoksen sitkeyden ja muodonmuutoskyvyn ennen murtumista. Ruuviliitosten monipuolisuuden vuoksi suunnittelijan tulee ymmärtää liitosten rasitusten suunnat ja niiden vaikutukset rakenteissa, tarvittaessa hyödyntäen ulkopuolista luotettavaksi todistettua ohjeistusta. Ruuviliitosten mitoittamisessa ja suunnittelussa tulee huomioida ruuvien ja reunojen väliset minimietäisyydet sekä niiden asennettavuus. Vedetyissä ruuviliitoksissa esiintyy yleisesti palkin päässä vedetty päätylevy, jonka mitoittamista käsitellään eurokoodeissa nimityksellä vedetty ekvivalentti T-osa. (47.)

Ruuvien kierteiden sijainti liitoksessa vaikuttaa mitoituksessa käytettävään teholliseen poikkipinta-alaan. Eurokoodin 3 osan 1–8 kappalekokonaisuus 3 käsittelee ruuviliitosten mitoittamista. Ruuviliitostyyppinä on useita erilaisia, ja ne poikkeavat liitettävien rakenteiden ja niiden rasitusten mukaisesti toisistaan. Ruuviliitoksia voidaan käyttää palkkien ja pilarien sekä pilarien ja perustusten välisissä liitoksissa.

Ruuvien lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Huom: Kansallisessa liitteessä voidaan jättää jotkut ruuvien lujuusluokat pois.

Kuva 26: Ruuvikestävyksiä. (47.)

Perustusliitoksia tarkastellaan usein jäykkänä. Muun kestävyystarkastuksen ohessa tulee huomioida aluslevyn lamellirepeilyn riski. (33.) Jos pilarin perustusliitos suunnitellaan jäykäksi, tulee sen mitoituksessa käyttää kimmoisaa taivutusvastuksen kestävyyttä, sillä perustusten plastisoituessa koko rakenne voi menettää stabiilisuuden.

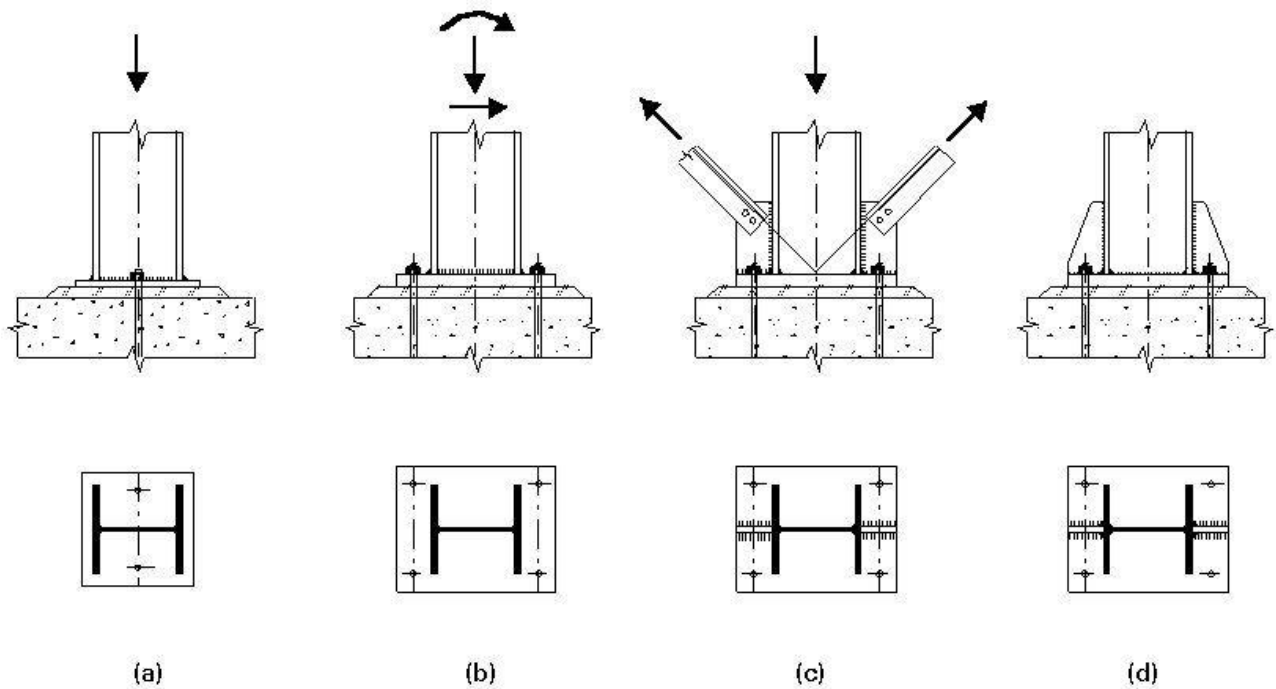
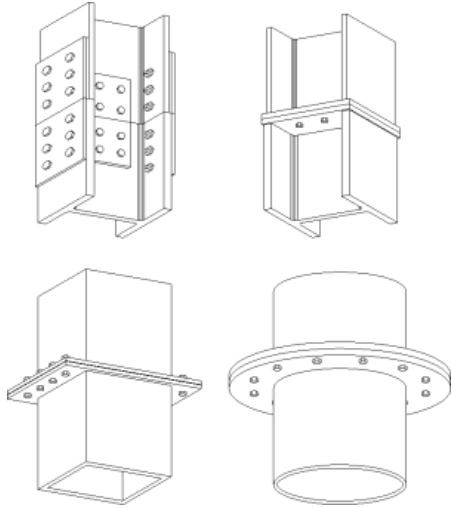


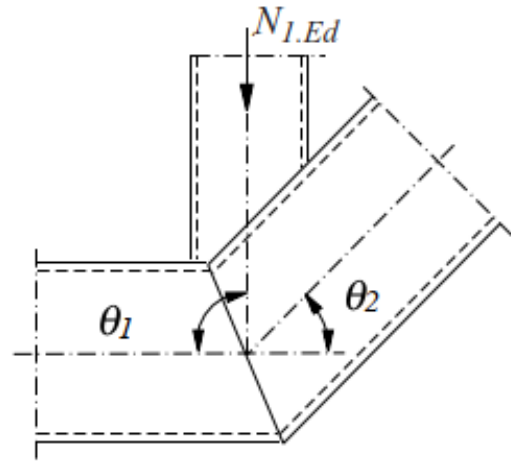
Figure 8 Column bases

Kuva 27: Perustusliitos. (33.)

Tarvittaessa pilareita sekä palkkeja joudutaan jatkamaan, jolloin käytetään jatkosliitoksia. Jatkosliitos tulee käsitellä joko jäykkänä tai puolijäykkänä, ja sen leikkaus- ja vetovoima siirtyy liitosruuvien kautta. (33.)



Kuva 28: Jatkosliitos. (33.)



Kuva 29: Ristikon mitoitus. (14.)

Palkkien ja pilarien välisiä ruuviliitoksia on useita eri tyyppisiä. Näistä yksi yleisimmistä on ripalevyliitos. Ruuviliitosten monipuolisuuden takia niitä tarkasteltaessa on suunnittelijan hyvä lukea ohjeistusta ko. liitoksen suunnittelusta. Ohjeita löytyy niin TRY:n oppikirjoista, nettijulkaisuista kuin myös yritysten sisäisistä opimateriaaleista.

Ristikot koostuvat tyypillisimmin rakenneputkista ja niiden välisistä hitsausliitoksista. Aihealueen mitoittamista käsittelee SFS-EN 1993-1-8 luvussa 7, sisältäen mitoituksessa käytettäviä sääntöjä.

7 Yhteenveto

Teräsrakennesuunnittelu, ohessa muiden materiaalien, on laaja aihekokonaisuus. Työn tavoitteena oli laatia teräsrakennesuunnitteluun kaksiosainen perehdytysmateriaali, joissa käsitellään teräsrakennesuunnittelun kannalta olennaisia asioita syventymättä varsinaiseen tekniseen mitoittamiseen. Haasteen tämän perehdytysmateriaalin koostamiselle aiheuttaa teräsrakentamisen monipuolisuus.

Työn sisältöä osittain ohjasi haastateltujen kokeneiden teräsrakennesuunnittelijoiden näkemys perehdytysmateriaalin sisällöstä, jonka vuoksi materiaali- ja rakennekappaleiden lisäksi työssä käsiteltiin suunnitteluprosessia, sillä sen ymmärtäminen on olennainen osa suunnittelutyötä mitoittamisen lisäksi. Työn lähteistönä toimii jo aiemmin laaditut teräsrakennesuunnitteluun liittyvät suunniteluohjeet, aiheeseen liittyvä kirjallisuus sekä haastattelut.

Teräsrakennesuunnittelun yksityiskohtaisempia ohjeita on runsaasti ja perehdytysmateriaalin luettuaan lukija voi ohjautua syventymään itsellensä olennaisiin aiheisiin. Teräsrakentamisen laajuus ja mitoistekninen monipuolisuus ohjasi tämän työn käsittelemään aiheita yleisesti ottaen vain talonrakentamisen näkökulmasta. Tulevaisuudessa olisi suotavaa, että tätä ja muita perehdytysmateriaaleja päivitetäisiin vastaamaan päivittynyttä ohjeistusta. Näkisin, että tämänkaltaisen perehdytysmateriaalin laatiminen pääpainoltaan muille teräsrakentamisen osa-alueille, kuten teollisuusrakentamiselle olisi hyvin hyödyllistä uutta suunnittelijaa perehdyttäessä.

Lähteet

- 1 Teräs – Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. 2007. TKK Arkkitehtiosasto. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf>. Luettu 1.2.2022
- 2 Ravazzolo, Francesco & Vespignani, Joaquin. 2017. World Steel Production: A New Monthly Indicator of Global Real Economic Activity. University of Tasmania. <https://www.utas.edu.au/__data/assets/pdf_file/0012/995673/2017-08_Ravazzolo_Vespignani.pdf>. Luettu 1.2.2022
- 3 2021 World Steel in Figures. 2021. Worldsteel Association. <<https://aceroplatea.es/docs/StainlessSteelFigures2021.pdf>>. Luettu 2.2.2022
- 4 Teräskirja 9. painos. 2014. Metallin jalostajat ry. <https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/teraskirja_flip/mobile/index.html#p=2>. Luettu 1.2.2022
- 5 Haastattelut ja yhteydenpito Sweco teräsrakennesuunnittelu. 2022. Sweco Finland Oy, teräsrakennesuunnittelun yksikkö. 2.2022–4.2022
- 6 Markku Heinisuo. 2015. Teräsrakenteiden tuotemallinnus. Tampereen teknillinen yliopisto. <http://www.metallirakentamisentutkimuskeskus.fi/site/_files/Tuotemallinnus_HML.pdf>. Luettu 5.2.2022
- 7 Steel Design by Advanced Analysis: Material Modeling and Strain limits. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/A-typical-engineering-stress-strain-curve-for-how-rolled-structural-carbon-steel_fig1_331360007>. Luettu 2.2.2022
- 8 Ilveskoski, Olli. 2014. Teräsrakenteiden Asennus. Opinnäytetyö. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Theseus tietokanta.
- 9 SFS-EN 1993-1-1. 2006. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Sweco Finland Oy:n sisäinen tietokanta. Luettu 8.2.2022
- 10 Metallit Sillankorjausmateriaalina. 2021. Väylävirasto. <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1301_web.pdf>. Luettu 7.2.2022
- 11 Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. 1998. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1998/T1937.pdf>>. Luettu 10.2.2022

- 12 Corrosion mechanism of steel. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/Corrosion-mechanism-of-steel_fig2_347659841>. Luettu 7.2.2022
- 13 Sinkitys. Teräsrakenneyhdistys. <<https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/toiminta-julkaisut/try-pintakasittelyn-asiantuntijaryhma/sinkitys/>>. Luettu 7.2.2022
- 14 SSAB DOMEX TUBE Rakenneputket – EN1993-Käsikirja 2016. 2016. SSAB Europe Oy. Luettu 7.2.2022
- 15 SFS-EN 1090-1 ja -2 pintakäsittelyn kannalta ja CE merkintä. Teräsrakenneyhdistys. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/164/6eb0897/standardit_SFS_EN_1090_1_ja_SFS_EN_1090_2_pintakasittelyn.pdf>. Luettu 8.2.2022
- 16 Korroosionestomaalauksen käsikirja. 2013. Teknos<https://www.teknos.com/globalassets/teknos.fi/teollisuuteen/aineisto/fi_korroosionestomaalauksen_kasikirja_2013.pdf>. Luettu 16.2.2022
- 17 Palosuojausopas 1/Teräs – Kantavat teräspalkit ja -pilarit, profiilipeltikatot ja väliseinät. 2019. Paroc. <<https://www.paroc.fi/kayttokohteet/-/media/F26AFF339E104736AD9ACD4C9508B606.ashx>>. Luettu 13.2.2022
- 18 Eurocode 3 Käsikirja EN 1993-1-2 ja EN 1993-1-9. 2014. Teräsrakenneyhdistys ry. Luettu 18.2.2022
- 19 Tapaninen, Aleks. 2016. Teräsrakenteen lämpötilan kehitys standardi- ja hiilivetyalotilanteessa. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://www.theseus.fi/handle/10024/115059>>. Luettu 19.2.2022
- 20 Koivuniemi, Ville. 2020. Kantavien teräsrakenteiden palosuojamaalauksen suunnittelu ja mitoitus. Tampereen teknillinen yliopisto. <<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/122246/Koivuniemi-Ville.pdf?sequence=2>>. Luettu 20.2.2022
- 21 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 1999. Ympäristöministeriön verkkosivut. <<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>>. Luettu 20.2.2022
- 22 Määräykset – Eurokoodit ohjaavat suunnittelua. Rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Rakennusteollisuus-RT/Maaraykset/Eurokoodit-ohjaavat-suunnittelua/>>. Luettu 21.2.2022

- 23 Teräsrakenteiden toleranssit ja asentaminen. 2012. Suomen standardisoi-
misliitto SFS ry. <[https://metsta.fi/wp-con-
tent/uploads/2020/05/SFSEN1090toleranssit_netti.pdf](https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/SFSEN1090toleranssit_netti.pdf)>. Luettu 21.2.2022
- 24 Toisen sukupolven eurokoodien tilanne nyt. 2021. Rakennustuoteteolli-
suus RTT ry. <https://www.eurocodes.fi/eurokoodien-tilanne-nyt/>>. Luettu
21.2.2022
- 25 Eurokoodit: Eurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit.
2019. Suomen standardisoiimisliitto SFS ry. <[https://sfs.fi/wp-con-
tent/uploads/2020/10/Eurokoodit-Eurooppalaiset-kantavien-rakenteiden-
suunnittelustandardit.pdf](https://sfs.fi/wp-content/uploads/2020/10/Eurokoodit-Eurooppalaiset-kantavien-rakenteiden-suunnittelustandardit.pdf) />. Luettu 21.2.2022
- 26 Teräskokoonpanojen CE-merkintä. Teknologiateollisuus ry.
<[https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Teraskokoonpa-
nojenCE_merkinta2015.pdf](https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Teraskokoonpa-
nojenCE_merkinta2015.pdf)>.Luettu 23.2.2022
- 27 Suunnitteluperusteet. Elementtisuunnittelu.fi. <[https://elementtisuunnit-
telu.fi/Download/23642/Suunnitteluperusteet.pdf](https://elementtisuunnit-
telu.fi/Download/23642/Suunnitteluperusteet.pdf)>.Luettu 23.2.2022
- 28 Tulkintakortit-MRL. TopTenRava. <[https://www.toptenrava.fi/doc/tulkinta-
kortit/MRL-120f02B.pdf](https://www.toptenrava.fi/doc/tulkinta-
kortit/MRL-120f02B.pdf)>. Luettu 24.2.2022
- 29 Saari, Henri. 2014. Kantavien CE-merkintä. Turun Ammattikorkeakoulu. <
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/79728/Saari_Henri.pdf?se-
quence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/79728/Saari_Henri.pdf?se-
quence=1&isAllowed=y)>. Luettu 26.2.2022
- 30 SFS-EN 1990. 2010. Suomen Standardisoiimisliitto SFS. Sweco Finland
Oy:n sisäinen tietokanta. Luettu 26.2.2022
- 31 Kivimäki, Juha. 2016. Projektin hallinta rakennushankkeessa. Vaasan
Ammattikorkeakoulu. <[https://www.theseus.fi/bitstream/han-
dle/10024/120255/YAMK_Juha_Kivimaki_Valmis.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/han-
dle/10024/120255/YAMK_Juha_Kivimaki_Valmis.pdf?sequence=1).Luettu
24.2.2022
- 32 Rakennesuunnittelu - Tehtävät. 2022. Jennacon Insinööritoimisto.
<<https://jennacon.fi/rakennesuunnittelu/tehtavat/>>. Luettu 28.2.2022
- 33 Vaajasaari, Heikki. 2016. Teräsrakenteiden suunnitteluohje. Tampereen
teknillinen yliopisto < [https://trepo.tuni.fi/bitstream/han-
dle/123456789/24414/Vaajasaari.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/han-
dle/123456789/24414/Vaajasaari.pdf?sequence=3&isAllowed=y)>.Luettu
28.2.2022
- 34 Leppänen, Jere. 202. Jatkuvan sortuman estäminen – kustannustehokkain
ratkaisu. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

- <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/338673/Leppanen_Jere.pdf?sequence=2>.Luettu 1.3.2022
- 35 SFS-EN 1991-1-7. 2015. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Sweco Finland Oy:n sisäinen tietokanta. Luettu 1.3.2022
- 36 Somelar, Maksim. 2017. Värähtelevän teräsrakenteen suunnittelu. Satakunnan ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121943/Somelar_Maksim.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.Luettu 1.3.2022
- 37 Teräsrakentajan käsikirja. 2020. BE Group< <https://www.begroup.fi/storage/50DF70DB27B273C31A577A2353FADFC29DA972AEA4D47289A795979393B51158/6d68254c1ffa48348d96d72388782379/pdf/media/c543eac1527f4652b496429bdbd666cf/BE-Group-Terasrakentajan-kasikirja-web.pdf>>. Luettu 3.3.2022
- 38 Rakenneteräkset. Teräsmyynti.fi. <<https://terasmyynti.com/terakset/rakenneterakset/>>. Luettu 4.3.2022
- 39 Rakenteiden lujuus ja vakaus. 2019. Ympäristöministeriö. <<https://www.ym.fi/download/noname/%7BD829E0A3-9D8E-4730-8E6C-EF076B4642F2%7D/126585>>. Luettu 4.3.2022
- 40 Pikkuhookana, Jari. 2021. Liittorakenteisten välipohjien tehokkuustarkastelu teollisuusrakentamisessa. Oulun yliopisto < <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202104217577.pdf>>.Luettu 5.3.2022
- 41 Kielenniva, Kyösti. 2017. Pyöreän betoni-teräs-liittopilarin suunnittelu ja mitoitus murtorajatilassa ja palotilanteessa. Tampereen Teknillinen yliopisto <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25056/Kielenniva.pdf?sequence=4&isAllowed=y>>.Luettu 5.3.2022
- 42 SFS-EN 1994-1-1. 2016. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Sweco Finland Oy:n sisäinen tietokanta. Luettu 6.3.2022
- 43 Ilveskoski, Olli. 2014. Teräsrakenteiden Asennus. Hämeen Ammattikorkeakoulu. < https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/80214/HAMK_Terasrakenteiden_asennus_2014_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.Luettu 4.3.2022
- 44 Eloranta, Jari. 2015. Hitsausliitosten mitoittaminen. Satakunnan ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99154/Eloranta_Jari.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.Luettu 4.3.2022

- 45 Hitsausmerkit. 2020. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
<https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/10/METSTA_Hitsausmerkit_2020.pdf>. Luettu 21.2.2022
- 46 Vanhala, Lauri. 2017. Teräslevyjen paksuussuuntaiset ominaisuudet, z-levyt ja lamellirepeily. Hämeen ammattikorkeakoulu.
<<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130766/z-levyt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Luettu 7.3.2022
- 47 SFS-EN 1993-1-8. 2006. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Sweco Finland Oy:n sisäinen tietokanta. Luettu 13.3.2022