



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

PETRA SANDBERG

Teräsrakenteiden suunnitteluperusteet

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA
2021

Tekijä Sandberg, Petra	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Huhtikuu 2021
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Teräsrakenteiden suunnitteluperusteet		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda tehdasympäristön teräsrakenteiden suunnitteluperusteet. Asiakirjan tavoitteena oli luoda yleinen ohje teräsrakenteiden suunnittelulle Suomessa voimassa olevien lakien, ohjeiden ja teräsrakenteisiin käytettävien standardien mukaisesti sekä selventää teräsrakenteiden suunnittelijoille, millä tiedoilla ja lähteillä suunnittelu yleisesti toteutetaan.</p> <p>Opinnäytetyö suoritettiin tutkimalla voimassa olevia lakeja, ohjeita ja standardeja sekä teräsrakenteiden suunnitteluun perehtyneitä teoksia niin sähköisessä, kuin painetussakin muodossa. Näistä lähteistä kerätyistä tiedoista koottiin järjestelmällinen kokonaisuus suunnittelun ja suunnittelijoiden tueksi Suomessa toimivalle yritykselle.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> rakenteet, rakenneteräs, suunnittelu</p>		

Author Sandberg, Petra	Type of Publication Bachelor's thesis	April 2021
	Number of pages 49	Language of publication: Finnish
Title of publication Design specifications of the steel structures		
Degree program Construction and municipal engineering		
<p>The purpose of this thesis was to create a design specifications for steel structures in a factory environment. The goal of this document was to create a general guide for the design of steel structures in accordance with the laws, guides and standards valid in Finland, and to demonstrate designers of steel structures how and with which specific guides the designing is implemented.</p> <p>This thesis was created by researching valid laws, specifications and standards as well as books about designing steel structures, both in digital and paper format. Facts which were collected from these sources were put together to an organized totality to support designing and designers for the company operating in Finland.</p>		
<u>Key words</u> structures, structural steel, planning		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 YLEISTÄ	7
3 LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEET	8
4 RAKENTEIDEN LUOKITUS JA TERÄSLAADUN VALINTA.....	10
4.1 Teräs materiaalina	10
4.2 Teräsrakenteiden luokitus	12
4.3 Terästuotteen alustava valinta	15
5 RAKENTEIDEN SUUNNITTELU	20
5.1 Rakenteisiin vaikuttavat kuormitukset.....	20
5.1.1 Oma paino	22
5.1.2 Hyötykuorma	22
5.1.3 Palokuorma	22
5.1.4 Lumikuorma.....	23
5.1.5 Tuulikuorma.....	24
5.1.6 Toteuttamisen aikainen kuorma	24
5.1.7 Onnettomuuskuorma	25
5.1.8 Muut kuormat.....	25
5.2 Teräsrakenteiden mitoitus	26
5.2.1 Rakennemalli.....	27
5.2.2 Murto- ja käyttörajatila	28
5.2.3 Liitokset	33
6 SUUNNITTELUN ASIAKIRJAT	36
6.1 Kirjalliset asiakirjat	36
6.2 Laskelmat	37
6.3 Luettelot	38
6.4 Piirustukset.....	39
7 LAADUNVARMISTUS.....	42
7.1 Laadun määritelmä.....	42
7.2 Laadunvarmistuksen toimenpiteet	43
8 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

γ	on osavarmuusluku
G	on pysyvä kuorma
Q	on muuttuva kuorma
Ψ	on pienennyskerroin
K_{FI}	on kuormakerroin
σ_{Ed}	on normaalijännitys
τ_{Ed}	on leikkausjännitys
f_y	on teräksen myötölujuus
f_u	on teräksen vetomurtolujuus
f_{ub}	on ruuvin vetomurtolujuus
A	on poikkileikkauksen bruttoala
A_{eff}	on tehollisen poikkileikkauksen ala
A_v	on leikkautumispinta-ala
W	on taivutusvastus
W_{el}	on kimmoteoriassa käytettävä taivutusvastus
W_{pl}	on plastisuusteoriassa käytettävä taivutusvastus
χ	on kestävyuden pienennystekijä
α_v	on kiinnikkeen lujuusluokasta määräytyvä kerroin
α_b	on apusuure
k	on apusuure
β_w	on korrelaatiokerroin pienahitsille

1 JOHDANTO

Teräsrakenteiden suunnittelu toteutetaan Suomessa seuraamalla voimassa olevia lakeja ja määräyksiä, jotka mahdollistavat suunnittelun toteuttamisen hyvää rakentamistapaa noudattaen. Näiden lähtötietojen perusteella on mahdollista luoda kestävä ja toimiva teräsrakenne, joka kestää siihen kohdistuvat rasitukset Suomessa vallitsevissa olosuhteissa. Nämä olosuhteet voivat toisinaan olla haastavia ja vaativatkin siksi asiantuntevaa suunnittelua kestävyuden varmistamiseksi. Tämän takaamiseksi luodaan suunnitteluperusteet asiakirja.

Suunnitteluperusteet on asiakirja, johon kootaan hankkeen suunnittelussa käytettävät tiedot ja lähtökohdat työn sujuvoittamiseksi. Asiakirjaan kootaan yleisesti tiedot siitä, mitä suunnittelun aikana on huomioitava ja miten. Tämän tarkoituksena on antaa hankkeen kaikille osapuolille lähtökohtaisesti samat tiedot ja tavoitteet jo hankkeen alkumetreillä. Ja koska teräsrakenteiden suunnittelussa seurataan suurelta osin standardien määrittelemiä ohjeita, jotka voivat olla vaikeaselkoisia ja oikeaa ohjetta voi olla hankalaa löytää, on suunnitteluperusteiden tarkoitus selventää suunnitteluprosessia yleisellä tasolla.

Teräsrakenteiden mitoitus toteutetaan yleisesti standardisarjan SFS-EN 1993 ohjeiden mukaisesti, koska sen määrittelemät tavat on todettu luotettaviksi ja niiden perusteella päästään lakien ja asetusten vaatimiin lopputuloksiin.

2 YLEISTÄ

Tässä opinnäytetyössä tehdyn asiakirjan tavoitteena oli luoda yleinen suunnitteluohje teräsrakenteille, mistä selviää mitä lakeja ja ohjeita suunnittelun jokaisessa vaiheessa tulee noudattaa, hyvää rakentamistapaa noudattavan lopputuloksen saavuttamiseksi. Tässä noudatettava laki on maankäyttö- ja rakennuslaki. Ohjeita ovat pääsääntöisesti ympäristöministeriön asetukset ja asiakirjat sekä teräsrakenteiden suunnittelulle tarkoitetut standardit.

Yleisesti teräsrakenteiden suunnittelun tavoitteena on luoda kokonaisuus, joka varmistaa rakenteiden käyttökelpoisuuden ja kestävyuden koko sille suunnitellun käyttöiän ajan. Tämän kokonaisuuden varmistamiseksi opinnäytetyön tavoitteena oli koota samaan asiakirjaan suunnitteluun tarvittavat yleiset tiedot ja lähteet. Ohjeessa perehdytään kuitenkin suunnittelun toteutukseen vain yleisellä tasolla, koska jokaisella teräsrakenteiden suunnitteluun perehtyneellä taholla on omat tapansa toimia Suomessa voimassa olevien velvoitteiden puitteissa.

3 LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEET

Aina ensimmäiseksi rakennettaessa ja suunniteltaessa on noudatettava Suomessa käytössä olevia maankäyttö- ja rakennuslakia ja -asetusta, joiden tavoitteina on edistää ekologisempaa, taloudellisempaa, sosiaalisempaa, turvallisempaa ja kestävän kehityksen mukaista rakentamista viihtyisän ja turvallisen elinympäristön luomiseksi. Lain ja asetuksen tarkoitus on myös mahdollistaa jokaiselle osallistuminen rakentamisen ja suunnittelun valmisteluun, laatuun ja vuorovaikutteisuuteen hyvää rakentamistapaa noudattaen. Laissa esitetään yleisellä tasolla edellytyksistä, vaatimuksista, lupamenetelyistä ja viranomaisvalvonnasta rakentamisen osalta, joissa teknisiin vaatimuksiin kuuluvat olennaisesti rakenteiden ominaisuudet, turvallisuus ja terveellisyys sekä esteettömyys ja energiatehokkuus. (Ympäristöministeriö, 2021)

Maankäyttö- ja rakennuslain sekä -asetuksen lisäksi käytetään ympäristöministeriön määrittelemää Suomen rakentamismääräyskokoelmaa, jonka tarkoitus on tarkentaa laissa annettuja yleisiä edellytyksiä suunnittelulle. Rakentamismääräyskokoelma sisältää tarkemmassa määrin säännökset ja ohjeet olennaisille teknisille vaatimuksille rakenteiden lujuudesta, turvallisuudesta, rakennuksen olosuhteista ja energiatehokkuudesta. Kokoelmassa on myös esitetty määräyksen kohdepiiri, eli koskeeko asia uudisrakennusta vai korjaus- tai muutostyötä jo olemassa olevalle rakennukselle.

(Ympäristöministeriö, 2021)

Suomessa käytetään myös standardeja, joihin on koottu erilaisia vaatimuksia, suosituksia ja tuotteiden ominaisuuksia suunnittelun ja rakentamisen sujuvoittamiseksi. Suomessa standardeihin vaikuttava osapuoli on SFS, jonka mukaan ”standardi on kirjallinen julkaisu, jossa määritetään esimerkiksi tuotteiden ja palvelujen ominaisuuksia ja vaatimuksia tai järjestelmien toimintaa.” (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2020) Standardien tarkoituksena on toimia vakiintuneena asiakirjana suunnittelun toteuttamiselle ja luoda yhtenäinen verkosto toisiinsa, jolloin voidaan taata kohteesta ja paikasta riippumatta samankaltaisia, varmoja tuloksia.

(Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2020)

Taulukko 1: Teräsrakenteiden suunnittelussa käytettävät standardit

Rakennusmateriaalista riippumattomat standardit
Yleiset SFS-EN 1990 Eurokoodi
Rakenteiden suunnitteluperusteet
Rakenteiden kuormat SFS-EN 1991 Eurokoodi 1
Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, omapaino ja rakennusten hyötykuormat
Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset
Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat
Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat
Osa 1-5: Yleiset kuormat. Lämpötilakuormat
Osa 1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat
Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat
Osa 2: Siltojen liikennekuormat
Osa 3: Nostureiden ja muista koneista aiheutuvat kuormat
Osa 4: Siilot ja säiliöt
Teräsrakenteisiin liittyvät standardit
Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus SFS-EN 1090
Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin
Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset
Teräsrakenteiden suunnittelu SFS-EN 1993 Eurokoodi 3
Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteen palomitoitus
Osa 1-3: Yleiset säännöt. Lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille
Osa 1-4: Yleiset säännöt. Ruostumattomia teräksiä koskevat lisäsäännöt
Osa 1-5: Tasomaiset levyrakenteet
Osa 1-6: Kuorirakenteiden lujuus ja stabiilius
Osa 1-7: Levyrakenteet, joihin kohdistuva kuormitus ei ole levyn tason suuntainen
Osa 1-8: Liitosten suunnittelu
Osa 1-9: Teräsrakenteiden väsyminen
Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet
Osa 1-11: Vedettyjä rakenneosia sisältävien rakenteiden suunnittelu
Osa 1-12: EN 1993 laajennus teräslajeihin S 700 asti
Osa 2: Terässillat
Osa 3-1: Mastot ja savupiiput. Mastot
Osa 3-2: Mastot ja savupiiput. Savupiiput
Osa 4-1: Siilot
Osa 4-2: Säiliöt
Osa 5: Paalut
Osa 6: Nosturia kannattavat rakenteet

4 RAKENTEIDEN LUOKITUS JA TERÄSLAADUN VALINTA

4.1 Teräs materiaalina

Teräsrakenteen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista rakennusmateriaalina on sen lujuus. Lujuus määritellään vetokokeella, jossa teräkselle määritellään myötöraja sekä murtovenymä, joista ylemmän myötörajan mukaisesti rakennesuunnittelija saa lasketua rakenteen kestävyden. Toisena tärkeänä ominaisuutena on sen monipuolisuus, sillä terästä on helppo muovata niin, että saadaan aikaan tarvittavan kokoisia, kestäviä ja luotettavia rakenteita sekä liitoksia. Muovattavuus sallii myös monimutkaisempienkin poikkileikkausten toteuttamisen niin, ettei teräkseen synny sen ominaisuuksiin vaikuttavia repeämiä, mutta yleisesti käytetään vakiomittoja kustannusten minimoimiseksi. Teräksen ominaisuudet sallivat tämän lisäksi osien suunnittelun millien tarkkuudella, joka mahdollistaa nopean asennuksen tarkkojen piirustusten avustuksella. Huonoja puolia teräksessä materiaalina ja rakenteena on sen kallis hinta, huono kestävyys korkeissa lämpötiloissa – joka on huomioitava suojaamalla rakenne tulipalotilanteiden varalta – sekä teräksessä kosteudesta aiheutuva korroosio, jota vastaan myös tarvitaan suojausta. (Rakennustieto, 1996, s. 36–39, s. 153–154)

Myös teräsrakenteiden osalta käytettävillä rakennustuotteilla ja niissä käytetyille materiaaleille tulee pääsääntöisesti olla niille määritelty tuotestandardi, jolla varmistetaan tuotteen luotettavuus ja yhdenmukaisten tietojen saanti käyttäjille. Tuoteryhmäkohtaisella harmonisoidulla tuotestandardilla (hEN) esitetään vaatimukset tuotteelle selvitetävistä tiedoista valmistajalle, jolloin tuotteelle tulee hakea CE-merkintä, jonka määrittelee erikseen ilmoitettu laitos. CE-merkintä ei kuitenkaan ole pakollinen, jos tuotteen ei luokitella olevan harmonisoitujen tuotestandardien piirissä. Tällaisissa tapauksissa tuotteelle voidaan hakea valmistaja- ja tuotekohtaista eurooppalaista teknistä arviointia (ETA), joka on vapaaehtoinen. (Ympäristöosaava, 2020)

CE-merkintä on vakiintunut tapa todistaa tuotteen vaatimustenmukaisuus ja taata näin tuotteelle vapaa kulku EU:n alueella. Tästä huolimatta on kuitenkin huomioitava, että vaikka CE-merkinnällä todistetaan tuotteen vaatimustenmukaisuus, se ei takaa tuotteelle yleistä turvallisuutta, laatua tai paremmuutta, tai että kyseinen tuote olisi valmistettu Euroopan talousalueella. (TUKES, 2020) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 31–35)

Suomessa CE-merkinnällä varustettujen tuotteiden vaatimustenmukaisuutta valvotaan ympäristöministeriön valtuuttaman markkinavalvojan, Turvatekniikan keskuksen TUKES:in toimesta. Tämä siksi, että tuotteiden vaatimustenmukaisuudet ovat maakohtaisia, jolloin muualla CE-merkinnällä merkityllä tuotteella ei välttämättä ole tarvittavia ominaisuuksia Suomessa vallitseville olosuhteille, kuten pakkaselle, ja jos CE-merkinnässä esitetään tuotteelle rakenteellisia tuotearvoja, on vaatimustenmukaisuutta arvioitaessa varmistettava myös mitoitustapojen toimivuus. (TUKES, 2020) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 31–35)

Tuotestandardin lisäksi käytettävälle teräkselle ja siitä valmistetuille tuotteille on oltava ainestodistus, jolla varmistutaan lain mukaisen aineksen käytöstä tuotteen valmistuksessa. Ainestodistus määritellään standardin SFS-EN 10204 mukaisella tavalla – kiinnittimille voidaan käyttää vaihtoehtoisesti standardia EN ISO 16228 – ja se sisältää vakuutuksen laadusta, tulokset tehdyistä kokeista ja asiakirjat materiaalin vastaanotosta. Teräsrakentamisessa käytössä on pääsääntöisesti kolme ainestodistustyyppiä, jotka ovat laatuvakuutus, koetodistus ja vastaanottotodistus, joiden tarkoituksena on varmentaa tuotteen täyttävän sille asetetut vaatimukset erilaisin kokein ja tarkastuksin. (Ympäristöministeriö, 2019, s. 8) (SFS-EN 1090-2:2018, 2018, s. 26) (Rakennustieto, 1996, s. 48)

4.2 Teräsrakenteiden luokitus

Teräsrakenteet tulee luokitella hankkeen lähtötietojen mukaisesti toteutusluokkaan, seuraamusluokkaan, laatuluokkaan sekä luotettavuusluokkaan varman ja turvallisen suunnittelun sekä toteuttamisen takaamiseksi selventämällä vaadittavia ominaisuuksia rakenteille. Tarvittavien luokitusten lisäksi suunnittelijan tehtävänä on määritellä rakenteelle suunniteltu käyttöikä ja rakenteet tulee suunnitella niin, että ne kestävät tämän määritellyn ajanjakson toimintakuntoisina. Tavanomaisesti tehdasympäristössä teräsrakenteiden suunniteltuna käyttöikäenä käytetään 50:tä vuotta. (Ympäristöministeriö, 2016, s. 12)

Teräsrakenteille valitaan standardin SFS-EN 1993-1-1, sen kansallisen liitteen ja standardin SFS-EN 1090-2 vaatimusten perusteella toteutusluokat, joiden mukaisesti määritellään vaatimukset työn suoritukselle sekä siihen liittyville tarkastuksille, testauksille ja hyväksymiskriteereille. Toteutusluokkia on neljä, EXC1 – EXC4, ja sen valitsee suunnittelija seuraamusluokan, käyttöluokan ja valmistusluokan perusteella tai standardin SFS-EN 1993-1-1 mukaisesti luotettavuus- tai seuraamusluokan ja kuormituksen tyyppin perusteella. Seuraamusluokka määräytyy rakenteen vaurion tai vian seuraamusten suuruudesta, käyttöluokka rakenteeseen kohdistuvien kuormitusten perusteella ja valmistusluokka teräksen hitsauksen mukaisesti.

(Ympäristöministeriö, 2019, s. 6) (Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 42)

Taulukko 2: Toteutusluokan valinta standardin SFS-EN 1993-1-1 liitteen C mukaisesti

Toteutusluokan valinta		
Luotettavuusluokka (RC) tai Seuraamusluokka (CC)	Kuormituksen tyyppi	
	Staattinen, kvasi-staattinen tai seisminen DCL	Väsyttävä tai seisminen DCM tai DCH
RC3 / CC3	EXC3	EXC3
RC2 / CC2	EXC2	EXC3
RC1 / CC1	EXC1	EXC2
Seismiset sitkeysluokat: Matala = DCL; keskimääräinen = DCM; korkea = DCH		
Toteutusluokka EXC4 voidaan esittää rakenteille, joiden rakenteellinen vaurio voi aiheuttaa äärimmäiset seuraamukset		

(SFS-EN 1993-1-1/A1, Teräsrakenteiden suunnittelu, s. 10)

Taulukko 3: Seuraamusluokat

Seuraamusluokkien määrittely		
Seuraamusluokka	Kuvaus	Esimerkkikohteita
CC3	Suuret tai hyvin suuret seuraamukset	Julkiset rakennukset
CC2	Keskisuuret tai merkittävät seuraamukset	Asuin- tai liikerakennukset
CC1	Vähäiset tai pienet seuraamukset	Varistorakennukset

(SFS-EN 1990, Rakenteiden suunnitteluperusteet, s. 136)

Taulukko 4: Käyttöluokan ja valmistusluokan valinta Eurocode 3 – oppikirjan mukaan

Kriteerit käyttöluokille	
Luokka	Kriteerit
SC1	Rakenteet ja rakenneosat, jotka on suunniteltu vain staattisille kuormille
SC2	Rakenteet ja rakenneosat, jotka on suunniteltu väsytkuormille standardin EN 1993 mukaan Rakenneosat, jotka on suunniteltu maanjäristysvoimille standardin EN 1998-1 mukaan
Luokkaa SC1 käytetään tapauksille, jotka eivät kuulu luokkaan SC2	
Kriteerit valmistusluokille	
Luokka	Kriteerit
PC1	Hitsaamattomat rakenneosat Hitsatut rakenneosat, joissa teräksen lujuusluokka on alempi kuin S355
PC2	Hitsatut rakenneosat, joissa teräksen lujuusluokka on S355 tai ylempi

(Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3 – oppikirja, s. 42)

Taulukko 5: Toteutusluokan valinta Eurocode 3 – oppikirjan mukaan

Toteutusluokan valinta							
Seuraamusluokka		CC1		CC2		CC3	
Käyttöluokka		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Valmistus- luokka	PC1	EXC1	EXC1	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4
Erikoisrakenteille tai rakenteille, joiden sortumisella on äärimmäiset seuraamukset on kuitenkin valittava toteutusluokka EXC4							

(Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3 – oppikirja, s. 42)

Standardien mukaisesti teräkset jaetaan laatuluokkiin sen perusteella, missä lämpötilassa kyseisille teräksille voidaan vielä todentaa riittävä iskutkeys. Tämä lämpötila määrittelee sen, missä lämpötilassa terästä voidaan käyttää, eli mitä matalampi lämpötila, sen kylmempään teräs soveltuu käytettäväksi ja sen parempi sen hitsattavuus on. Laatuluokan valintaan vaikuttaa painoluku, joka määrittää rakenneluokan, käyttölämpötilan, ainepaksuuden sekä vetojännityksen perusteella. Laatuluokkaa valittaessa on myös huomioitava siihen vaikuttavat muut osatekijät, kuten rakenneluokka, kuormitukset, tuotteen valmistustapa ja muoto, mahdolliset pintakäsittelyt sekä teräksen hinta. Laatuluokat esitetään taulukoituina standardeissa SFS-EN 10025-2...SFS-EN 10025-6 kemiallisten ja mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Laatuluokat jakautuvat teräslajien mukaisesti niin, että lujuusluokan S235 ja S275 teräslajit voidaan luokitella laatuluokkiin JR, J0 ja J2, S355 ja S460 luokkiin JR, J0, J2 ja K2 sekä S500 luokkaan J0. Laatuluokan tarkoitus on selvittää suunnittelijalle millaisia rasituksia valittu lujuusluokka kestää. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry RIL, 1988, s. 56) (Rakennustieto, 2001, s. 21) (SFS-EN 10025-2:2019, 2019, s. 9)

Luotettavuusluokka määritetään rakenteista, joihin kohdistuu toteuttamisen aikaisia kuormituksia ja sen tarkoitus on varmistaa rakenteelle riittävä luotettavuus koko sille suunnitellulle käyttöiälle. Eli rakenteen luotettavuuden tarkoituksena on todentaa rakenteen toteutuksen aikaisen luotettavuuden olevan vähintään sama, mitä rakenteen luotettavuus on käytön aikana. Yleisesti luotettavuusluokat ovat verrattavissa seuraamusluokkiin. Tämän luokan perusteella määräytyy kuormituskerroin K_{FI} , jota käytetään kuormituksia määriteltäessä riittävän varmuuden takaamiseksi. Riittävän luotettavuuden takaamiseksi K_{FI} -kerrointa tulee käyttää vain normaalisti sekä tilapäisesti vaikuttavien kuormien mitoitusilanteessa, ei onnettomuusilanteita, väsytyks- tai käyttörajatiloja tarkasteltaessa. (Ympäristöministeriö, 2016, s. 6–7, 19)

Taulukko 6: Kuormakerroin K_{FI}

Kuormakerroin K_{FI}	Luotettavuusluokka		
	RC1	RC2	RC3
K_{FI}	0,9	1,0	1,1

(SFS-EN 1990, Rakenteiden suunnitteluperusteet, s. 138)

4.3 Terästuotteen alustava valinta

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti rakentamiseen tarvittavan ja rakenteen pysyväksi osaksi jäävän rakennustuotteen tulee olla turvallinen, terveellinen sekä sellainen, että se toimii suunnitellusti ja suunnitelmien mukaisesti rakennetusti säilyttäen olennaiset ominaisuutensa suunnitellun käyttöikänsä ajan. Koska materiaalien ja rakennustuotteiden oikeanlainen valinta on oleellinen osa onnistunutta suunnittelua ja hyvää rakennustapaa, on tuotteiden valinnassa myös huomioitava, etteivät ne menetä ominaisuuksiaan valmistuksen, siirron, kuljetuksen, varastoinnin tai asennuksen aikana. Teräsrakenteiden osalta tämä tarkoittaa huolellista konepajasuunnittelua, jolloin valmiit teräselementit saadaan mahdollisimman huolettomasti kuljetettua, varastoitua ja asennettua. (SFS-EN 1993-1-4, 2006, s. 25–34) (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 20 luku 152 §) (Ympäristöministeriö, 2020)

Rakenteessa käytettäviä teräsprofiiileja ja -levyjä valittaessa mitoitetaan ensimmäiseksi vaadittava lujuusluokka, jonka on oltava S235 – S460 välillä, jotta rakenteen mitoituksessa voidaan hyödyntää Eurocode 3:n (EN 1993) mukaisia mitoitusapoja. Näistä lujuusluokista yleisimmin on käytössä teräsluokka S355, sillä se soveltuu rakennusaineeksi lähes kaikille käytössä oleville profiileille. Valittaessa teräksen lujuusluokkaa on huomioitava teräksen lujuus-/hintasuhde, mahdolliset stabiliteettiongelmat sekä muodonmuutosten suuruus, kuormitukset, kulutus, mahdollinen hitsaus sekä eri teräslaatujen mittavalikoimat ja toimitusajat. Kun rakenteen mitoitus tapahtuu staattisesti kuormitetusti, eli lujuuden perusteella, voi olla edullisempaa valita korkeamman myötörajan omaava teräs, kun taas taivutetuissa rakenteissa lujuudella ei yleensä ole niin suurta merkittävää vaikutusta. Teräsosissa, joissa rajoittavana tekijänä on lommahdus, ei teräksen lujuudella ole niin suurta merkitystä, kuin myös puristetuissa rakenteissa, joissa mitoittavana tekijänä on nurjahdus tai lommahdus. (Pellosniemi, s. 1) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 23) (Rakennustieto, 2001, s. 21) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry RIL, 1988, s. 137)

Yleisesti käytössä olevat terästuotteet, joita käytetään rakenteina, valmistetaan kuumavalssaamalla tai siitä jatkojalostamalla eli kylmämuovaamalla. Kuumavalssattuja levyjä ovat nauhatuotteet, jotka ovat suuntaa antavasti paksuudeltaan 1,5–15 mm ja leveydeltään 800–2500 mm sekä levytuotteet, jotka voivat olla paksuudeltaan 5–300

mm ja leveydeltään 800–5000 mm. Kuumavalssattujen levyjen lisäksi kuumavalssamalla tuotetaan muototankoja, kuten I-, L-, U-, T- ja Z-profiilit, jotka ovat yleisesti käytössä teräsrakenteissa. Näistä profiileista INP- sekä IPE-palkit soveltuvat kantaviksi rakenteiksi silloin, kun kuormitus vaikuttaa vain pääjähyyden suunnassa. Tämä siksi, että näiden profiilien ominaisuudet heikommassa suunnassa ovat vähäiset, jolloin taipuman sekä kiepahduksen riski kasvavat. Sen sijaan HEA, HEB ja HEM soveltuvat vaativampiinkin rakenteisiin, koska ne ovat jäykkiä molempiin suuntiin. L-teräkset, joiden paksuus vaihtelee 3 mm ja 28 mm välillä sekä sivujen mitat 15 mm ja 200 mm välillä sen sijaan sopivat huonosti taivutettuihin tai puristettuihin rakenteisiin, mutta niitä käytetään usein liitoksissa, jolloin ruuviliitoksia saadaan sommiteltua paremmin – myös U-muototangoilla on samantapaiset ominaisuudet kuin L-teräksissä, jolloin nekin ovat yleisiä liitoksissa. (Rakennustieto, 1996, s. 44–48) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 19)

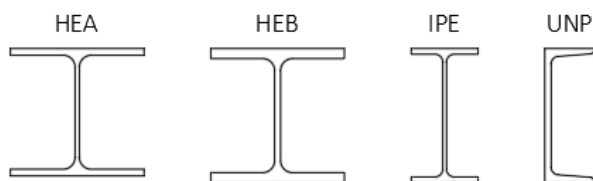
Kylmämuovattut profiilit, L-, U-, C-, Z-, hattuprofiilit ja putkiprofiilit – jotka soveltuvat moniin erilaisiin rakenteisiin – ovat sen sijaan edullisia kohteissa, joissa rakenteen muodolla on väliä, kuten kaiteissa, portaissa ja ristikoissa. Näiden lisäksi kylmävalssatut ohutlevytuotteet, joiden loppupaksuus on 0,4 mm – 3 mm ovat profiloituina laajassa käytössä vesikatteissa sekä julkisivuissa. (Rakennustieto, 1996, s. 45–47) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 19)

Tarvittaessa voidaan myös suunnitella ja valmistaa hitsattuja profiileja, joita on mahdollista valmistaa miltei minkä kokoisena tahansa, mutta sille on määritelty joitain suosituskokoja. Rakenteissa käytettävien levyjen paksuuksien suositellaan olevan 6, 8, 10, 12, 15, 16, 18, 20, 22, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 80 tai 100 mm, kun taas 5 mm levypaksuutta voidaan käyttää pääasiassa vain WQ-profiileissa. Uuman maksimikorkeudeksi suositellaan 3250 mm ja laipan leveydeksi 700 mm konepajavalmistuksen kannalta. Hitsatut palkit ovat usein käytössä suurissa rakenteissa, koska niistä voidaan suunnitella materiaalimenekiltään paras poikkileikkaus. (Teräsrakenneyhdistys ry, 2000, s. 11–19)

Taulukko 7: Yleisesti käytössä olevia teräsprofileja tehdasympäristössä

Yleisesti käytettävät teräslajit ja profiilit				
Tuote	Merkintä	Toleranssit, mitat	Materiaalistandardi	Teräslaji
Kuumavalssatut I- ja H-profiilit	HEA200, IPE200	SFS-EN 10034 SFS-EN 10365	SFS-EN 10025	S355J2
Kuumavalssatut U-profiilit	UNP65, UPE300	SFS-EN 10279 SFS-EN 10365	SFS-EN 10025	S355J2
Kuumavalssatut L-profiilit	L10*100	SFS-EN 10056	SFS-EN 10025	S355J2
Kuumavalssatut levyt	PL10*65	SFS-EN 10029	SFS-EN 10025	S355J2
Kylmämuovattut putkiprofiilit	CFRHS 150x150x5	SFS-EN 10219	SFS-EN 10219	S355J2H
Kaideputket	CFCHS 48,3x2,6			1.4404

Kuva 1: Kuumavalssattuja teräsprofileja



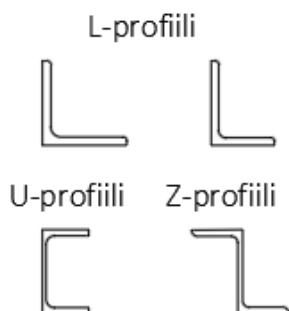
(Rakennustieto Oy, 1996, s. 44)

Kuva 2: Putkiprofiileja



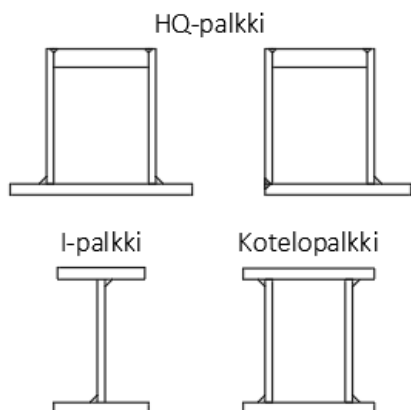
(Rakennustieto Oy, 1996, s. 45)

Kuva 3: Kylmämuovattuja teräsprofileja



(Rakennustieto Oy, 1996, s. 46)

Kuva 4: Hitsattuja teräsprofileja



(Rakennustieto Oy, 1996, s. 47)

Oikeanlaiset kiinnikkeet – yleisesti ruuvikokoonpanot ja hitsit – ovat profiilien lisäksi olennainen osa onnistunutta rakennetta. Niiden valinnassa on huomioitava muun muassa se, että kiinnike ja kiinnitettävät osat ovat korroosionkestävyydeltään samaa luokkaa ja, että valittu kiinnike kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Lujuusluokkana käytetään yleisesti 8.8 tai 10.9, jolla valtaosa käytettävistä tuotteista saadaan kiinnitettyä. Kiinnikkeitä valittaessa on myös huomioitava, että normaalisti käytössä olevia pultteja sekä muttereita ei saa hitsata, ellei käytössä ole siihen tarkoitettuja erityisosia, jotka ovat standardin EN ISO 21670 mukaisia hitsaukseen tarkoitettuja muttereita tai vaarantappeja. Hitsausaineiden sekä ruuvien, muttereiden ja aluslaattojen vaatimukset esitetään standardissa SFS-EN 1993-1-8. (SFS-EN 1090-2:2018, 2018, s. 32, 58)

(Pellosniemi, s. 5)

Ruuvikokoonpanot ovat ruuveista, aluslevyistä ja muttereista muodostettuja kokonaisuksia, joista ruuvit ovat yleisesti täyskierteisiä, jolloin pulttien pituuksia ja aluslevyjä ei tarvitse sovittaa liitettävien osien vahvuuksiin, tai osakierteisiä, jolloin pituudet ja aluslevyjen määrät tulee sovittaa liitettävien osien vahvuuksiin. Oleellisena erona osa- tai täyskierteisen ruuvien valitsemisessa on osakierteisen käytöstä aiheutuva lisääntyvä työmäärä, mutta samalla lisääntyvä kapasiteetti. Yleisesti pienissä rakenteissa voidaan käyttää vain täyskierteisiä ruuveja, kun taas suuremmissa rakenteissa suositetaan käytettävän täyskierteisiä M12 – M20 koon ruuviliitoksiin ja osakierteisiä tästä suurempiin. Pulttiliitoksissa käytettävien ruuvien nimellishalkaisijan tulisi olla

vähintään 12 mm sekä pituus valita niin, että yksi kierteistä jää kiristämisen jälkeen mutterin ulkopuolelle. Yleisesti käytössä olevien kuusioruuvien koot ovat M12, M16, M20, M22, M24 sekä M27. Yleensä on suositeltavaa käyttää työmaalla ruuvikokoonpanoja hitsaamisen sijaan, sillä ne ovat helpompi ja varmempi tapa kiinnittää kokoonpanoja. (SFS-EN 1090-2:2018, 2018, s. 58, 60–62) (Pellosniemi, s. 5) (Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 89) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 479)

Ruuvikokoonpanoa valittaessa tulee myös huomioida niiden kiristäminen. Esijännittämättömiä ruuvikokoonpanoja kiristettäessä tulee huolehtia siitä, että kiinnitys on tiivis, jolloin sallitaan enintään 4 mm raot, ellei kiinnitykselle ole määritelty täyttä kosketuspainetta. Kiristuksen tulee olla vähintään tiukka ja esijännittämättömien kokoonpanojen kiristäminen tulee aloittaa liitoksen jäykimmästä kohdasta ja edetä vähiten jäykkään kohtaan. Esijännitettävissä ruuvikokoonpanoissa tulee määrittää nimellinen minimiesijännitys standardissa SFS-EN 1090-2 esitetyn taulukon 18 tai luvun 8.5.1 esitetyn kaavan mukaisesti ja kiristysmenetelmät määritellään käyttäen k-luokkaa. Yleisesti kiristäminen tulee suorittaa mutteria kiertämällä ja standardin SFS-EN 1090-2 luvun 8 mukaisesti. (SFS-EN 1090-2:2018, 2018, s. 58, 60–62)

Hitsit määritellään mitoituksen perusteella riittäviksi kiinnitettävien osien mittojen sekä lujuusluokkien perusteella, niin että sen kestävyys on vähintään sama, kuin rakenteen heikoin osa. Valittuja profiileja hitsatessa on myös varmistettava tuotteelle sopiva hitsaustapa valmistajan ohjeiden perusteella. Konepajasuunnittelussa suunnittelija määrittelee myös käytettävän hitsausluokan standardin SFS-EN ISO 5817 mukaisesti, jolloin luokan valinta perustuu standardissa SFS-EN 1090-2 esitettyyn toteutusluokkaan. (SFS-EN 1993-1-8, 2005, s. 41) (SFS-EN 1993-1-4, 2006, s. 11)

Taulukko 8: Yleisesti käytössä olevat ruuvikokoonpanot tehdasympäristössä

Yleisesti käytettävät pultit, aluslevyt ja mutterit				
Tuote	Merkintä	Standardi	Luokka	
Ruuvit	M16x35	DIN933*, DIN931*, DIN7990	8.8	SFS-EN ISO 898-1
Mutterit	M16	DIN934	8	SFS-EN ISO 898-2
Aluslevyt	M16	DIN125, DIN7989	8	
*DIN933 Täyskierteiset ruuvit				
*DIN 931 Osakierteiset ruuvit				

5 RAKENTEIDEN SUUNNITTELU

5.1 Rakenteisiin vaikuttavat kuormitukset

Kuormitukset ovat rakenteisiin kohdistuvia rakennuksen käytöstä, luonnonilmiöistä ja mahdollisista onnettomuuksista aiheutuvia rasituksia, jotka pyrkivät muuttamaan rakenteen stabiiliutta ja toimivuutta. Nämä kuormitukset jaetaan aikariippuvuutensa mukaisesti pysyviin kuormiin, eli rakenteen omaan painoon ja siihen kiinteästi liitettäviin laitteiden painoon, muuttuviin kuormiin, eli hyöty-, lumi- ja tuulikuormiin sekä onnettomuuskuormiin, johon lukeutuvat erilaiset onnettomuustilanteista johtuvat kuormat, kuten palokuorma. Rakenteisiin kohdistuvien kuormitusten ei saa aiheuttaa rakennuksen käyttöön tai ominaisuuksiin vaikuttavia muutoksia, kuten sortumaa, rajatiloja ylittäviä muutoksia, liitettyjen osien ja laitteiden muutoksia tai mitään vastaavaa, joka voisi olennaisesti vaikuttaa rakenteen kestävyYTEEN ja käyttötarkoitukseen. Rakenteisiin vaikuttavat kuormitukset tulee aina huomioida, tarvittaessa kuormitusyhdistelmin, rakennetta mitoitettaessa niiltä osin, mitä rasituksia rakenteeseen voidaan olettaa syntyvän, jotta voidaan varmistua rakenteen kestävyYdestä. Rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset määritellään pääsääntöisesti alla esitetyn standardisarjan SFS-EN 1991 osien sekä ympäristöministeriön ohjeiden mukaisesti tai vastaavaan lopputulokseen päätyvillä laskentatavoilla. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 17 luku 117a §) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 383) (SFS-EN 1990, 2006, s. 58)

Taulukko 9: Rakenteiden kuormien määrittämiseen liittyvät standardit

Standardit kuormien määrittämiseksi	
Kuorma	Standardi
Oma paino	SFS-EN 1991-1-1
Hyötykuorma	SFS-EN 1991-1-1
Palokuorma	SFS-EN 1991-1-2
Lumikuorma	SFS-EN 1991-1-3
Tuulikuorma	SFS-EN 1991-1-4
Lämpötilakuorma	SFS-EN 1991-1-5
Toteuttamisen aikainen kuorma	SFS-EN 1991-1-6
Onnettomuuskuorma	SFS-EN 1991-1-7
Nosturi- ja konekuorma	SFS-EN 1991-3
Siilot ja säiliöt	SFS-EN 1991-4

Rakenteiden kuormat mitoitetaan murtorajatilassa niin, että alla olevista kaavoista epäedullisempaa käytetään laskelmissa:

$$1,35 * K_{FI} * G_{kj.sup} + 0,9 * G_{kj.inf}$$

$$1,15 * K_{FI} * G_{kj.sup} + 0,9 * G_{kj.inf} + 1,5 * K_{FI} * Q_{k.1} + 1,5 * K_{FI} * \Sigma \psi_{0.i} * Q_{k.i}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 35)

Käyttörajatiloiille kuormat määritellään kolmen eri yhdistelmän perusteella.

Ominaisyhdistelmällä, jota käytetään palautumattomille rajatiloille:

$$\Sigma G_{k.j} + Q_{k.1} + \Sigma \psi_{0.i} * Q_{k.i}$$

Tavallisella yhdistelmällä:

$$\Sigma G_{k.j} + \psi_{1.1} + Q_{k.1} + \Sigma \psi_{2.i} * Q_{k.i}$$

Ja pitkäaikaisella yhdistelmällä pitkäaikaisvaikutuksille ja ulkonäölle:

$$\Sigma G_{k.j} + \Sigma \psi_{2.i} * Q_{k.i}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 36)

$G_{kj.sup}$ on rakenteisiin epäedullisesti vaikuttava pysyvä kuorma

$G_{kj.inf}$ on rakenteisiin edullisesti vaikuttava pysyvä kuorma

$Q_{k.1}$ on määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k.i}$ on muu samanaikaisesti vaikuttava muuttuva kuorma

$\psi_{0.i}$ on kuormien pienennyskerroin

K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 35)

Taulukko 10: Kertoimien ψ suositusarvot rakennuksille

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa			
Luokka A: Asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: Toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: Kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: Myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: Varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: Liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: Liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: Vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat Suomessa	0,7	0,5	0,2
Rakennusten tuulikuormat	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila	0,6	0,5	0
Huom. Kertoimen ψ arvot voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä			

(SFS-EN 1990 + A1 + AC, Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet, s. 86)

5.1.1 Oma paino

Oma paino on rakenteiden nimellispainojen ja tilavuuspainojen – teräsrakenteilla 78,5 kN/m³ – perusteella muodostuva rasitus. Omaan painoon luokitellaan kuuluviksi niin kantavat kuin ei-kantavatkin rakenteet, kiinteät laitteet sekä maan paino. Oma paino luokitellaan yleensä kiinteänä kuormana, ellei rakenteen voida olettaa jossain vaiheessa liikkuvan, jolloin se tulee luokitella lisähyötykuormana. Kuormaa määriteltäessä on tärkeää myös huomioida tekijät, jotka lisätään vasta rakentamisen jälkeen, kuten pinnoitteet ja erilaiset kanavat, jolloin oman painon määrä saattaa kasvaa. (SFS-EN 1991-1-1, 2002, s. 18) (Huuhtanen, s. 3)

5.1.2 Hyötykuorma

Hyötykuormia ovat liikkuvat ja muuttuvat kuormat, kuten henkilö-, tavara- ja laitekuormat sekä oleskelu-, kokoontumis- ja tungoskuorma, joiden oletetaan vaikuttavan rakenteissa kohteen valmistumisen jälkeen. Näiden lisäksi myös rakentamisesta aiheutuvien kuormien voidaan luokitella olevan hyötykuormia. Hyötykuormat tulee huomioida tapauskohtaisesti kohteen mukaisten tilojen perusteella. Rakenteissa vaikuttavat hyötykuormat on jaoteltu eri luokkiin ja niiden alaluokkiin, joiden perusteella on määritely vakioiksi lattioiden hyötykuormat, joita käytetään rakenteen mitoituksessa. (SFS-EN 1991-1-1, 2002, s. 20) (Huuhtanen, s. 3)

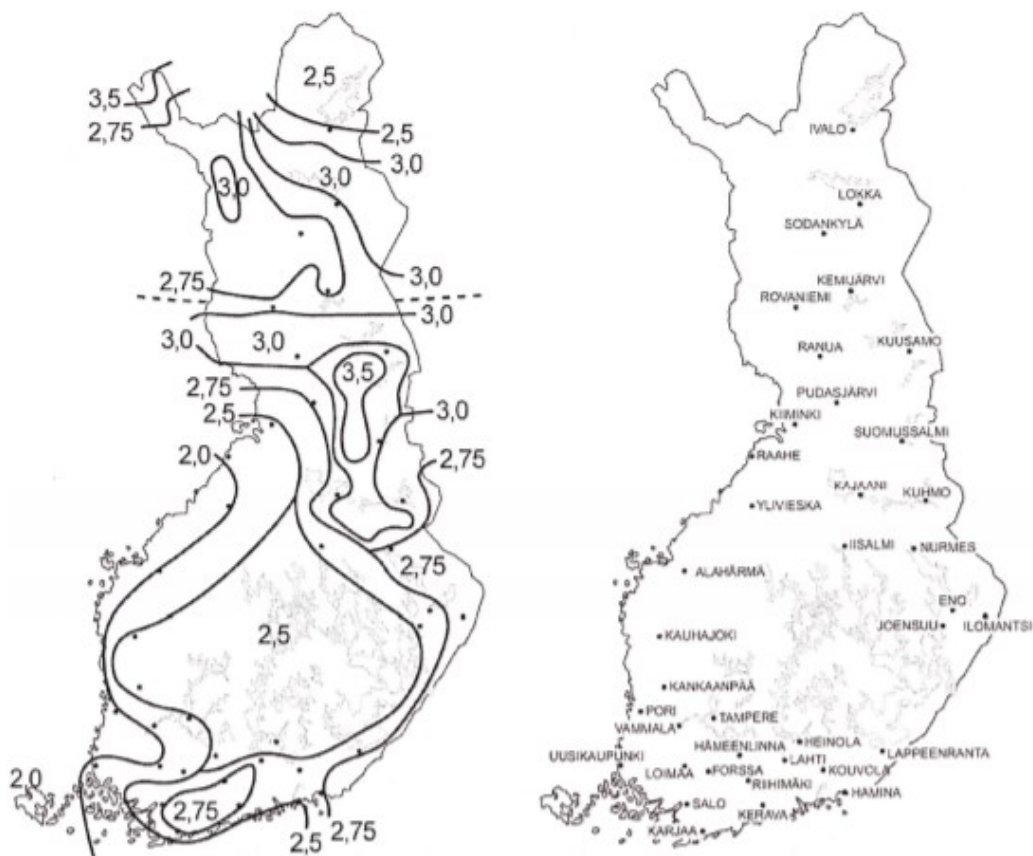
5.1.3 Palokuorma

Palokuormat aiheutuvat palotilanteen aikaisista muutoksista ja ne on aina huomioitava mitoitusstilanteessa, ellei niiden voida todeta olevan merkityksettömiä tai edullisia rakenteen kannalta. Palokuormaksi luokitellaan rakenneosan pinta-alayksikköön kohdistuva lämpömäärä kokonaisuudessaan, kun kyseinen rakenneosa palaa täydellisesti. Rakenteeseen vaikuttavat palokuormat määritellään osan kestävyyksien perusteella, materiaaliominaisuuksien tai kriittisen lämpötilan mukaan. Palotilanne voi aiheuttaa myös välillisiä kuormia, jotka aiheuttavat rasituksia viereisiin rakenteisiin. (SFS-EN 1991-1-2, 2003, s. 44–46) (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 1 luku 2 §) (Rakennustieto, 2001, s. 158)

5.1.4 Lumikuorma

Lumikuormat ovat lumen vaikutuksesta aiheutuvia muuttuvia tai kiinteitä rasituksia rakenteille, jotka huomioidaan kinostuneena tai kinostumattomana. Lumikuorman määrittämiseen ei riitä pelkästään lumikerroksen paksuus, koska lumen tiheys voi muuttua lumen laadun perusteella. Tämän vuoksi lumikuormaa määriteltäessä käytetään vakioina toimivia ominaisarvoja rakennuspaikan perusteella. Kuorman kokoon vaikuttavat myös sijainnin lisäksi rakenteen muoto ja mahdolliset esteet. (SFS-EN 1991-1-3, 2015, s. 22–24) (Taloon.com, 2020) (Huuhtanen, s. 6)

Kuva 5: Lumen ominaisarvot maan pinnalla



(Ympäristöministeriön asetus lumikuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-3, 2016, s. 2)

5.1.5 Tuulikuorma

Tuulikuormat ovat tuulen aiheuttamista paineista muodostuvia muuttuvia kiinteitä kuormituksia, johon vaikuttavat oleellisesti maaston tyyppi (maastoluokat esitetty seuraavassa taulukossa), rakennuksen sijainti, muoto sekä korkeus. Tuulikuormia määriteltäessä on huomioitava myös muut kuormat, johon tuuli voi aiheuttaa muutoksia sekä yleinen turvallisuus, energiatehokkuus ja tilojen viihtyvyys, jotta tuulesta aiheutuvat negatiiviset vaikutukset saataisiin minimoitua. (SFS-EN 1991-1-4, 2011, s. 42–48) (Ilmatieteenlaitos, 2020) (Huuhtanen, s. 6)

Taulukko 11: Maastoluokat

Maastoluokka
0 Avomeri tai merelle avoin rannikko
I Järvet tai tasanko, jolla on enintään vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä
II Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisintaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus
III Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)
IV Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15% on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m

(SFS-EN 1991-1-4, Tuulikuorma, s. 36)

5.1.6 Toteuttamisen aikainen kuorma

Toteuttamisen aikaisia kuormia ovat rakentamisesta aiheutuvat muuttuvat kuormat, kuten varastoinnista ja erilaisista töistä aiheutuvat rasitukset. Toteuttamisen aikaisia kuormia määriteltäessä on huomioitava myös muut vaikuttavat, ei rakentamisesta johdettavat kuormat, kuten tuuli- ja lumikuorma, jotka voivat aiheuttaa toimenpiteitä työmaalla. Kuormia määriteltäessä huomioidaan myös se, että rakenteen tulee kestää vähäisiä törmäyksiä ja iskuja, jotka voivat aiheutua työnteosta, menettämättä stabiiliutta tai ominaisuuksiaan. (SFS-EN 1991-1-6, 2005, s. 18–20)

5.1.7 Onnettomuuskuorma

Onnettomuuskuormat aiheutuvat onnettomuuksista, kuten törmäyksistä, räjähdyksistä ja paikallisista vaurioista. Kuormat määritellään tapauskohtaisesti, jolloin huomioidaan kaikkien mahdollisten onnettomuustilanteiden vaikutukset mitoitettavaan rakenteeseen. Mitoitus tulee tehdä niin, että rakenne saadaan kestämään määritellyn ajan aiheuttamatta enempää vahinkoa, jotta kaikki ehtisivät poistumaan rakennuksesta turvallisesti. Onnettomuuskuormia määriteltäessä rakennukselle ja sen rakenteille määritetään seuraamusluokka CC1 – CC3 käyttötarkoituksen mukaisesti.

(SFS-EN 1991-1-7, 2014, s. 14) (Huuhtanen, s. 7)

5.1.8 Muut kuormat

Muita mahdollisesti vaikuttavia kuormia ovat siiloista ja säiliöistä, nostureista ja koneista sekä lämpötilojen vaihteluista aiheutuvat kuormat. Nämä tulee huomioida tapauskohtaisesti siilojen ja säiliöiden kohdalta varastoitavan aineen sekä rakenteen materiaalin perusteella sekä lämpötilakuormien kohdalta lämpötilan vaihtelusta ja niiden aiheuttamien rakenteiden muutosten perusteella. Nosturi- ja konekuormat aiheutuvat rakennuksessa käytettävistä laitteista ja niiden kuormat määräytyvät yleisesti valmistajan antamien tietojen perusteella. (SFS-EN 1991-1-5, 2004, s. 12)

(SFS-EN 1991-3, 2007) (SFS-EN 1991-4, 2006, s. 16) (Huuhtanen, s. 7)

5.2 Teräsrakenteiden mitoitus

Rakennus tulee suunnitella maankäyttö- ja rakennuslaissa esitettyjen vaatimusten mukaisesti, käyttäen apuna standardien sekä ympäristöministeriön ohjeita ja määräyksiä pyrkien hyvän rakennustavan ja resurssitehokkaan rakentamisen luovaan lopputulokseen. Käytettävät rakenteet tulee suunnitella niin, että ne kestävät niihin kohdistuvat rasitukset ja muutokset koko käyttöikänsä ajan menettämättä käyttökelpoisuuksiaan. Yleisesti rakenteen määräävät mitoitusperusteet ovat riittävä lujuus ja jäykkyys sekä palotilanteessa rakenteiden tulee kestää riittävän luotettavasti ja riittävän pitkään sortumatta ja aiheuttamatta vaaraa. Kestävyydet rakenteelle tutkitaan aina poikkileikkausten ainelujuuksien suhteen ja tarvittaessa stabiiliuden suhteen, jos rakenteen hoikkuus tai reunaehdot sen vaativat. (Rakennustieto, 2001, s. 36)(Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 2 luku 11 §) (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014, 2 §) (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 17 luku 117a §)

Käytettävillä materiaaleilla ja tuotteilla on lisäksi niille määritellyjä toleransseja, joita käyttämällä varmistetaan onnistuneen rakenteen toteuttaminen valmistus- ja asennusvaiheessa. Toleransseja ovat geometriset toleranssit, jotka on jaoteltu olennaisiin ja toiminnallisiin toleransseihin niiden käyttötarkoituksen mukaan. Olennaisia toleransseja käytetään rakenteen riittävän lujuuden ja stabiiliuden varmistamiseen, kun taas toiminnalliset toleranssit varmistavat rakenteen riittävän toimivuuden ja käytettävyyden. Nämä toleranssit ja niiden raja-arvot määritellään standardin SFS-EN 1090-2 perusteella. Geometrinen toleranssin lisäksi on huomioitava asennustoleranssit, jotka ovat rakennesuunnittelijan määrittämiä vaatimuksia. Nämä määritellään kohteelle tapauskohtaisesti tai mikäli asennustoleransseja ei ole erikseen määritelty, noudatetaan rakentamismääräyskokoelman mukaisia vaatimuksia. (SSAB Europe Oy, 2016, s. 22) (SFS-EN 1090-1 + A1, 2012, s. 16) (SFS-EN 1090-2:2018, 2018, s. 77) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry RIL, 1990, s. 69)

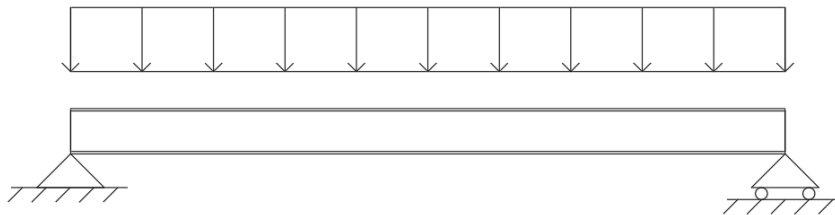
5.2.1 Rakennemalli

Standardin SFS-EN 1990 mukaisesti rakenteita mitoitettaessa tulee käyttää rakennemalleja, jotka on valittu kohdekohtaisesti rakenteen toimintaan sopiviksi. Lisäksi rakennemallin tulee olla yleisesti tunnettuun rakennetekniikkaan perustuva niin teorian kuin käytännönkin osalta. Rakennemallin valintaan vaikuttavat oleellisesti valmistustekniset ominaisuudet sekä mahdollisuudet ja sen valinnassa tulee huomioida myös toiminnalliset vaatimukset, jotka voivat olla viranomaisten määrittämiä yleisiä vaatimuksia tai rakennukseen tulevan käyttäjän erityisvaatimuksia tai toiveita. Rakennemalli täytyy luoda tarkasteltavaan rajatilaan sopivaksi ja sen tarkoitus on kuvata rakenteiden käyttäytymistä riittävällä tarkkuudella.

(SFS-EN 1993-1-1, 2005, s. 29) (Rakennustieto, 1996, s. 76–77)

(SFS-EN 1990, 2006, s. 66)

Kuva 6: Esimerkki palkin rakennemallista



Teräsrakenteissa runkoratkaisua suunniteltaessa on tärkeää kiinnittää huomiota myös statiikkamalliin eli rakenteen jäykistämiseen, jonka tarkoituksena on huolehtia, ettei rakenne sorru, vaikka yksi sen osista menettäisi kantokykynsä. Teräsrungot jäykistetään yleisesti kehä-, ristikko-, levy-, masto-, sydän- tai putkijäykistyksellä. Tehdasympäristössä teräsrakenteiset rakennukset jäykistetään yleisesti vinosidemenetelmällä eli ristikkojäykistyksellä tai mahdollisesti korkeammissa rakennuksissa teräsbetonisella hissi- tai porraskuilulla. (Rakennustieto, 1996, luku 6.3) (Rakennustieto, 2001, s. 148) (Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 117)

5.2.2 Murto- ja käyttörajatila

Rakenteet suunnitellaan murto- ja käyttörajatilassa niin, että niiden asettamat rajatilojen vaatimukset täyttyvät. Murto- tai käyttörajatilan vaatimustenmukaisuuden voi jättää osoittamatta, jos voidaan varmistaa toisilla tavoin riittävä varmuus siitä, että toisen rajatilan toteutuminen varmistaa toteutumisen myös toiselle. Rajatilat liitetään mitoitustilanteisiin, jotka voivat olla normaaleja, tilapäisiä tai onnettomuustilanteita ja ne lasketaan standardisarjan SFS-EN 1993-1-1 esitettyjen tapojen mukaisesti. Tarkasteltaessa näitä rajatiloja, käytetään osavarmuuskertoimia tarvittavan varmuuden saavuttamiseksi. (SFS-EN 1990, 2006, s. 52, 56) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 49)

Murto-rajatiloiksi tulee luokitella kaikki ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen liittyvät rajatilat ja tarvittaessa myös varastoitavien aineiden tai tavaroiden suojelemiseksi liittyvät rajatilat. Teräsrakenteen murto-rajatiloja voivat olla muun muassa aineen murtuminen kriittisestä kohdasta, stabiiliuden menettäminen, liian suuret siirtymät kuten taipuminen, rakenteen siirtyminen tai kaatuminen. Rakenne voi murtua myös vaihtoplastisoitumalla, joka syntyy rakenteen toistuvasta edestakaisesta myötäämisestä vaihtuvan rasituksen vuoksi. Kun rakenteen staattisen tasapainon menetys, rakenteiden tai maan vaurioituminen tai liian suuri siirtymätila, rakenteen väsymismurtuminen tai hydraulinen maapohjan tasapainotilan menettäminen on kyseessä, tulee nekin tarkastaa murto-rajatiloina. Murto-rajatilassa huomioidaan kestävyys muun muassa vedolle, puristukselle, taivutukselle ja väännölle sekä nurjahdus- ja kiepahduskestävyydelle, eli varmistetaan, ettei rakenne murru missään tapauksessa. Murto-rajatilaa laskettaessa käytetään kuormakerrointa, joka määräytyy rakenteen tai sen osan luotettavuusluokan (RC1 – RC3) ja seuraamusluokan (CC1 – CC3) perusteella.

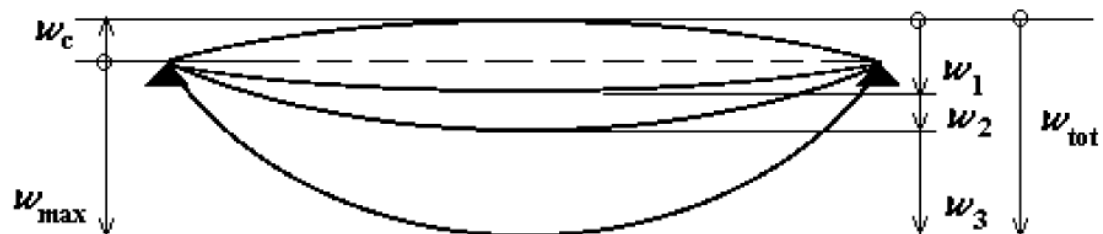
(Rakennustieto, 2001, s. 24) (Teräsrakenneyhdistys ry, 2014, s. 33) (Huuhtanen, s. 2) (SSAB Europe Oy, 2016, s. 49) (SFS-EN 1990, 2006, s. 52–54, 76–78)

Käyttörajatiloiksi luokitellaan kaikki rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai sen osan käyttöön normaalisti, ihmisten mukavuuteen tai rakennuksen ulkonäköön, eli sen kriteereitä ovat siirtymät, värähtelyt ja rakenteiden ulkonäköön, toimivuuteen tai säilyvyyteen liittyvät kriittiset tekijät. Teräsrakenteiden käyttörajatiloja ovat muun muassa taipuminen, värähtely, kiihtyvyys sekä rakenteessa tapahtuvat pysyvät muodonmuutokset. Taipumaa tarkasteltaessa suunnittelijan on huomioitava ohjeellisesti annetun

rajan sopivuus kohdekohtaisesti, sillä toisinaan rakenne voi vaatia tiukempaa tai se voi toimia löyhemmälläkin vaatimuksella. Korkeissa rakenteissa, kuten porrastorneissa, on huolehdittava värähtelymitoituksesta, jottei värähtely aiheuta epämiellyttäviä tunteita kohdetta käyttäville henkilöille. Käyttörajatilassa varmistetaan kestävyys taipumiselle ja dynaamisille vaikutuksille niin, että rakenne pysyy käyttökelpoisena ja ulkonäöllisesti tyydyttävänä suunnitellun käyttöikänsä ajan. (SFS-EN 1990, 2006, s. 54) (Rakennustieto, 2001, s. 24–25) (Teräsrakenneyhdistys ry, 2014, s. 34) (Huuhtanen, s. 2)

Tavanomaisesti käyttörajatilassa määrääviksi rasituksiksi lukeutuvat taipuma ja siirtymä, joille on annettu suositeltuja raja-arvoja. Pääasiallisesti teräsrakenteille käytetään raja-arvoja standardin SFS-EN 1993-1-1 mukaisesti niin, että pääkannattajien taipuman tai siirtymän rajana on $L/300$ tai $L/400$. Tehdasympäristössä on kuitenkin yleistä, että rakennuksissa on nosturirata, jonka raja-arvot määritellään poikkeuksellisesti standardin SFS-EN 1993-6 ja sen kansallisen liitteen perusteella. (Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 34–35)

Kuva 7: Rakenneosan taipumien määritelmät



(SFS-EN 1990 + A1 + AC, Rakenteiden suunnitteluperusteet, s. 94)

Missä:

w_c on esikorotus kuormittamattomassa rakenteessa

w_1 on taipuman alkuarvo pysyvillä kuormilla

w_2 on taipuman pitkäaikaisosuus pysyvillä kuormilla

w_3 on muuttuvista kuormista aiheutuva lisäosuus taipumalle

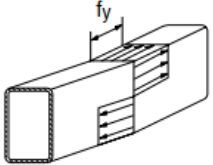
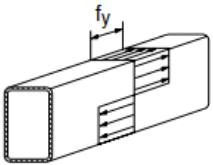
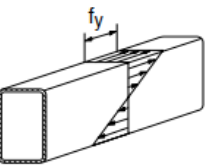
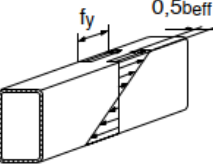
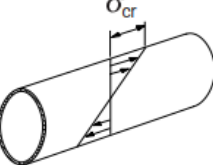
w_{tot} on kokonaistaipuma

w_{max} on kokonaistaipumasta näkyvä osuus, kun esikorotus huomioidaan

(SFS-EN 1990 + A1 + AC, Rakenteiden suunnitteluperusteet, s. 94)

Rajatilojen mitoitusmenetelmien määrittämiseksi rakenteet jaetaan poikkileikkausluokkiin 1–4, jotka määräytyvät rakenteen mittojen suhteista ja niihin vaikuttavista jännityksistä. Rakenteiden kestävyksiä laskettaessa voidaan käyttää plastisuusteoriaa poikkileikkausluokissa 1–2 ja kimmoteoriaa kaikissa poikkileikkausluokissa. Voimasuureita laskettaessa plastisuusteoriaa voidaan käyttää vain poikkileikkausluokassa 1, kun taas kimmoteoriaa kaikissa luokissa. (SSAB Europe Oy, 2016, s. 54)

Kuva 8: Putkiprofiilien poikkileikkausluokkien mitoitusmenetelmät

Poikkileikkausluokka	Kestävyyden laskentatapa	Voimasuureiden laskentatapa	Jännitysjaakauma, kun kestävyys on saavutettu
1 neliön ja suorakaiteen muotoiset sekä pyöreät rakenneputket	plastisuusteoria	plastisuusteoria	
2 neliön ja suorakaiteen muotoiset sekä pyöreät rakenneputket	plastisuusteoria	kimmoteoria	
3 neliön ja suorakaiteen muotoiset sekä pyöreät rakenneputket	kimmoteoria	kimmoteoria	
4 neliön ja suorakaiteen muotoiset rakenneputket	tehollinen poikkileikkaus	kimmoteoria	
4 pyöreät rakenneputket	täyden poikkileikkauksen lommahdusjännitys	kimmoteoria	

(SSAB Europe Oy, 2016, s. 54–55)

Rajatiloja tarkasteltaessa käytetään riittävän varmuuden saavuttamiseksi osavarmuuslukuja γ_M , joiden suositellut arvot rakennuksille ovat:

$\gamma_{M0} = 1,00$ poikkileikkausten kestävyyksille

$\gamma_{M1} = 1,00$ sauvojen kestävyyksille stabiiliuden suhteen ja

$\gamma_{M2} = 1,25$ poikkileikkausten kestävyyksille vetomurtumisen suhteen (SFS-EN 1993-1-1, 2005, s. 48)

Poikkileikkauksen kestävyys lasketaan von Mises'n myötöehdolla:

$$\sqrt{\sigma_x \cdot Ed^2 + \sigma_z \cdot Ed^2 - \sigma_x \cdot Ed * \sigma_z \cdot Ed + 3 * \tau Ed^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \text{ tai}$$

$$\gamma_{M0}^2 * \left[\left(\frac{\sigma_x \cdot Ed}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_z \cdot Ed}{f_y} \right)^2 - \frac{\sigma_x \cdot Ed * \sigma_z \cdot Ed}{f_y^2} + 3 * \left(\frac{\tau Ed}{f_y} \right)^2 \right] \leq 1$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 47)

Sauvojen vetokestävyys $N_{t,Rd}$ on seuraavaksi esitettyjen kaavojen pienempi arvo:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} \text{ tai } N_{u,Rd} = \frac{0,9 * f_u * A_{net}}{\gamma_{M2}}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 48)

Poikkileikkauksen kestävydet mitoitetaan poikkileikkausluokkien mukaisesti.

Puristuskestävyys lasketaan poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3 kaavalla:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Ja poikkileikkausluokassa 4 kaavalla:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff}}{\gamma_{M0}}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 48)

Taivutuskestävyys lasketaan poikkileikkausluokassa 1 ja 2 kaavalla:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Poikkileikkausluokassa 3 kaavalla:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Ja poikkileikkausluokassa 4 kaavalla:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 49)

Leikkauskestävyys lasketaan poikkileikkausluokasta riippumatta kaavalla:

$$V_{pl.Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 49)

Vääntökestävyys lasketaan profiilien mukaisesti.

I- ja H-profiileille kaavalla:

$$V_{pl.T.Rd} = V_{pl.Rd} * \sqrt{1 - \frac{\tau t.E_d}{1,25 * \frac{f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}}}}$$

U-profiileille kaavalla:

$$V_{pl.T.Rd} = V_{pl.Rd} * \left(\sqrt{1 - \frac{\tau t.E_d}{1,25 * \frac{f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}}} - \frac{\tau w.E_d}{\frac{f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}}}} \right)$$

Ja suljetuille koteloprofiileille kaavalla:

$$V_{pl.T.Rd} = V_{pl.Rd} * \left(1 - \frac{\tau t.E_d}{\frac{f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}}} \right)$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 50)

Sauvojen kestävyys lasketaan poikkileikkausluokkien mukaisesti.

Nurjahduskestävyys mitoitetaan poikkileikkausluokissa 1, 2 ja 3 kaavalla:

$$N_{b.Rd} = \chi * \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

Ja poikkileikkausluokassa 4 kaavalla:

$$N_{b.Rd} = \chi * \frac{A_{eff} * f_y}{\gamma_{M1}}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 54)

Kiepahduskestävyys mitoitetaan poikkileikkausluokasta riippumatta kaavalla:

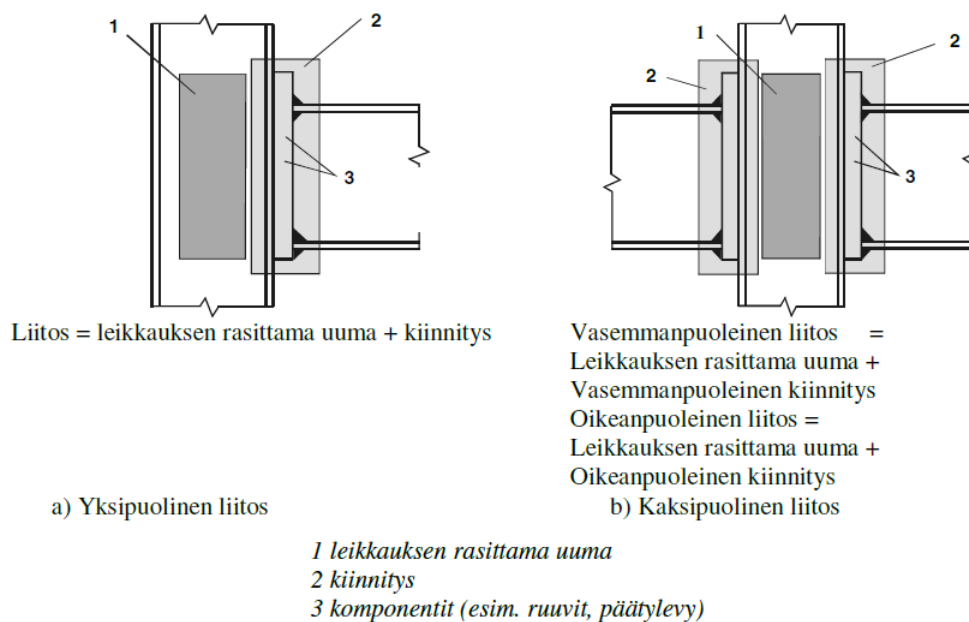
$$M_{pl.Rd} = \chi_{LT} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

(Teräsrakenneyhdistys, 2014, s. 57)

5.2.3 Liitokset

Käytännössä liitosten mitoittamisessa on kyse valitun liitostavan kestävyuden varmistamisesta ja sen sopivuuden todentamisesta. Teräsrakenteiden suunnittelussa yleisesti käytettäviä liitostapoja ovat hitsaus- ja pulttiliitokset. Liitoksen mitoitus voi olla kimmoiseen tai kimmoplastiseen materiaalmalliin perustuva ja sen kestävyys määritellään liitoksessa käytettävien komponenttien perusteella. Kaikki liitokset tulee suunnitella niin, että niiden kestävyuden mitoitusarvon perusteella rakenne täyttää kaikki vaatimukset, mitä standardeissa SFS-EN 1993-1-8 ja SFS-EN 1993-1-1 on esitetty. (SFS-EN 1993-1-8, 2005, s. 19–20) (Rakennustieto, 2001, s. 91)

Kuva 9: Palkki-pilariliitosten osat



(SFS-EN 1993-1-8, Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1–8: Liitosten mitoitus, s. 12)

Ruuviliitokset suunnitellaan standardien SFS-EN 1090-2 ja SFS-EN 1993-1-8 asetettujen vaatimusten mukaisesti niin, että ruuvien halkaisijat pysyvät vaadittujen arvojen sisällä ja nimellisvälykset toteutuvat. Liitokset tulisi suunnitella niin, että kuormitukset saataisiin siirrettyä mahdollisimman keskeisesti käytettävään profiiliin nähden ja niin, että liitoksessa käytettävillä osilla olisi mahdollisimman tasainen jäykkyys. Pulttiliitosta laskettaessa laskelmien helpottamiseksi oletetaan ruvin ja perusaineen kesken syntyvän reunapuristusjännityksen ja leikkauksjännitysten jakautuvan tasaisesti.

Tavallisen pulttiliitoksen tarkoituksena on siirtää siihen kohdistuvia voimia. Perustusliitosta suunniteltaessa suositellaan käytettävän minimissään ruuvikokoa M20, jotta liitos kestäisi asennuksen aikaiset rasitukset. Liitoksessa käytettävä pohjalevyn koko määräytyy perustuksessa käytettävän betonin ominaisuuksien mukaisesti ja perustusruuvit joko leikkaus- tai vetokestävyuden perusteella. (SSAB Europe Oy, 2016, s. 251–253) (Rakennustieto, 2001, s. 92–93)

Kiinnittimien leikkauskestävyys lasketaan kaavalla:

$$Fv.Rd = \frac{\alpha v * fub * A}{\gamma M2}$$

(SFS-EN 1993-1-8, Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1–8: Liitosten mitoitus, s. 28)

Reunapuristuskestävyys kaavalla:

$$Fb.Rd = \frac{k1 * ab * fu * d * t}{\gamma M2}$$

(SFS-EN 1993-1-8, Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1–8: Liitosten mitoitus, s. 28)

Ja vetokestävyys kaavalla:

$$Ft.Rd = \frac{k2 * fub * As}{\gamma M2}$$

(SFS-EN 1993-1-8, Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1–8: Liitosten mitoitus, s. 28)

Liitosten osavarmuusluvut γ_M ovat:

$\gamma_{M2} = 1,25$ kiinnikkeiden kestävyyksille

$\gamma_{M3} = 1,25$ ja $\gamma_{M3,ser} = 1,1$ liukumiskestävyydelle

$\gamma_{M4} = 1,0$ injektioruuvien reunapuristuskestävyydelle

$\gamma_{M5} = 1,0$ rakenneputkien liitosten kestävyydelle ristikoissa ja

$\gamma_{M7} = 1,1$ ruuvien esijännitykselle

(SFS-EN 1993-1-8, Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1–8: Liitosten mitoitus, s. 19)

Hitsauksen tarkoitus on liittää osat toisiinsa kuumentamalla liitoskohtaa niin, että sen olomuodosta tulee sula, eli hitsauksessa syntynyt liitos on sulasta materiaalista muodostunut sauma. Liitettävät kappaleet voidaan muotoilla suhteellisen vapaasti sijainnin, menetelmien ja ainepaksuuksien perusteella. Hitsausta ja sen tekomenetelmää valittaessa tulee huomioida se, että teräkseen syntyy jännityksiä hitsauksen lämmöstä, jolloin ennen hitsausta teräksen sopivuus toimenpiteeseen tulee varmistaa. Hitsausluokkaa määriteltäessä tulee huomioida myös se, mitä tapahtuu hitsauksen jälkeen, kuten rakenteen pintakäsittely, siihen kohdistuva kuormitus, olosuhteet kohteessa sekä mahdollisesta vaurioista johtuvat seuraukset. Hitsiliitosta määriteltäessä tulee varmistaa sen kestävyys ja hitsaussauman paksuus sekä valita hitsin muoto, joista yleisin käytössä on pienahitsi. (Rakennustieto, 2001, s. 101–108)

Pienahitsin leikkauslujuus määritetään kaavalla:

$$F_{vw} \cdot d = \frac{f_u}{\sqrt{3}} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}$$

(SFS-EN 1993-1-8, Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1–8: Liitosten mitoitus, s. 47)

Pienahitsin vaadittava a-mitta lasketaan kaavalla:

$$a \geq \sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{f_y}{f_u} \cdot t$$

(SSAB Europe Oy, 2016, s. 204)

6 SUUNNITTELUN ASIAKIRJAT

6.1 Kirjalliset asiakirjat

Rakennusurakan läpiviemiseksi tarvitaan useita asiakirjoja, joilla todennetaan suunnitelmien pätevyys ja joiden avulla rakentaminen saadaan suoritettua suunnitelmien mukaisesti. Yksi näistä asiakirjoista on teräsrakenteiden työselostus, jossa selostetaan projektikohtaisesti kohteen tiedot, noudatettavat määräykset ja ohjeet, käytettävät materiaalit sekä niiden valmistus, piirustukset, kuljetukset, varastointi ja rakenteiden asennus sekä toimenpiteet laadun varmistamiseksi. Nykypäivänä suunnitteluun tarvittavat asiakirjat laaditaan yleisesti tietoteknisiä apuvälineitä käyttäen erilaisilla piirustus-, mallinnus- ja mitoitusohjelmilla. Tämän lisäksi suunnittelu on yhä suuremmassa määrin siirtymässä tietomallipohjaiseksi, sillä tämä havainnollistaa kohdetta paremmin, tehostaa suunnittelua sekä saattaa parantaa hankkeiden tiedonhallintaa.

(RIL 229-1-2020, 2020, s. 25) (Rakennustieto, 1996, s. 81–83)

Yleisesti rakenteille määritellään materiaalienkohtaisesti runkotyöselostukset, mutta teräsrakentamisessa on siirrytty toteutuseritelmän käyttöön. Teräsrakenteiden toteutuseritelmissä kuvataan kohde, selvennetään kohteessa käytettävä rakennejärjestelmä ja siihen liittyvän työn laajuus, suunnittelutehtävät teräsrakenteiden osalta, tiedot asiakirjoista sekä esitetään rakenteiden luokkavaatimukset. Näiden lisäksi asiakirjassa ilmoitetaan yleisesti kuljetukseen, varastointiin ja asennukseen liittyvät vaatimukset ja laadunvarmistuksen toimenpiteet. Toteutuseritelmissä esitetään myös toimitettavat asiakirjat, perustiedot suunnittelusta ja asentamisesta, valmistusta koskevat toteutusluokkavaatimukset sekä toteuttajalta vaadittavat asiakirjat, käytettävät tuotteet, asentaminen, toleranssit ja niiden vaatimukset sekä tarkastusta, testausta ja dokumentointia koskevat vaatimukset. Näihin toimitettaviin asiakirjoihin kuuluvat muun muassa tarjouspyyntöaineistot, suunnitelmat ja pätevyystodistukset, menettelytapaohjeet, työturvallisuussuunnitelmat, asennussuunnitelmat sekä käytettävien rakenteiden ja kiinnitysten todistukset. (RIL 229-1-2020, 2020, s. s. 86–88 (Ympäristöministeriö, 2016, s. 11) (SFS-EN 1090-2:2018, 2018, s. 24)

Toteutuseritelmän lisäksi laaditaan yleensä rakennusselostus, jossa esitetään käytettävät rakenteet, niiden vaatimukset sekä ohjeet ja suunnittelun ja toteutuksen perusteet asiakirja, jossa esitetään käytettävät laskentamenetelmät, kuormitukset sekä ominaisuudet materiaaleille. Kantavien rakenteiden asetuksessa määritellylle toteutuseritel-mälle voidaan käyttää myös nimitystä toteutusasiakirjat, sillä nämä sisältävät käytän-nössä kaikki suunnittelijan laatimat asiakirjat, kuten työselostukset ja selvitykset, ra-kennepiirustukset, luettelot ja mitoitukset. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 77–84)

Teräsrakenteiden rakennesuunnitelmissa tulee esittää seuraamus- ja rasitusluokka, suunniteltu käyttöikä, palonkestävyys- ja kuormaluokka, täydelliset tiedot rakenteiden mitoista ja sijainnista, toteutusluokka, sallitut mittapoikkeamat standardien mukai-sesti, tunnistetiedot, suojausmenetelmät, hitsaukseen liittyvät tiedot sekä mahdolliset erityisvaatimukset. (Ympäristöministeriö, 2019, s. 5–6)

6.2 Laskelmat

Laskelmat ovat yksi oleellisimmista osista rakennesuunnittelussa ja niiden tarkoituk-sena on varmistaa, että rakenteet kestävät niihin kohdistuvat rasitukset riittävällä var-muudella sekä täyttävät teknisesti niille asetetut vaatimukset. Eniten huomiota laskel-missa on kiinnitettävä turvallisuuden ja laadun kannalta kriittisiin osiin sekä liitoksiin. (Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä 216/2015, §11) (RIL 229-1-2020, 2020, s. 67)

Rakennelaskelmiksi luokitellaan kuormitus- ja stabiileettilaskelmat sekä rakenne-osien ja niiden välisten liitosten mitoituslaskelmat, eli rajatilalaskelmat sekä palotilan-teiden kannalta suoritettava mitoitus. Rakennelaskelmista tulee selvittää riittävässä laa-juudessa rakennushankkeen vaativuus ja koko huomioiden tieto kuormista, kantavien rakenteiden kestävyydestä sekä rakenteiden oleellisista mitoista. Muita laskelmia ovat rakennusfysikaaliset laskelmat, kuten erilaisten eristysten laskelmat sekä elinkaari ja suuremmat palotekniset laskelmat. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 67)

Laskelmat suoritetaan kohteen vaatiman tason mukaisesti ja riittävässä laajuudessa projektin tehtävien mukaisesti. Yleisesti rakennelaskelmat tulee esittää viranomaisille ympäristöministeriön asettamien vaatimusten mukaisesti. Pätevä rakenteellinen suunnittelu osoitetaan laskelmilla ja mahdollisilla testauksilla, jotka tukevat laskelmien tuloksia. Laskelmat suoritetaan teräsrakenteiden osalta standardien sekä niihin perustuvien ohjeiden ja määräysten perusteella murtorajatiloiissa sekä käyttörajatiloiissa esitettyjen vaatimusten perusteella. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 68)

Ulkoasultaan laskelmien tulee olla johdonmukaisia sekä selkeästi luettavia, jotta muutkin vaadittavan pätevyyden omaavat henkilöt voivat lukea ja tarkastaa laskelmia vaihatta. Tärkeät huomiot tulee olla merkitty selkeästi ja laskelmasta tulee esittää viittaus käytettyyn standardiin tai muuhun laskentaohjeeseen. Sisällöllisesti laskelmissa saa käyttää kaikkia yleisesti käytössä olevia merkintätapoja – näistä poikkeavat merkinnät tulee selventää. Nykyään laskelmat tehdään pääasiassa tietokoneohjelmilla, jolloin laskelmassa tulee esittää lisäksi käytetyn ohjelman nimi ja versiot, vähintään viittaus ohjelman käyttämään laskentateoriaan sekä rakenteen ja sen laskelmien suorittamiseen olennaiset tiedot, kuten rakenneosan pituudet ja kuormien suuruudet. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 68–70)

6.3 Luettelot

Rakennushankkeeseen tehdään luetteloita sopimusten mukaisessa määrin rakentamisen sekä suunnittelun selventämiseksi. Luetteloita ovat muun muassa piirustus-, määrä-, kokoonpano-, osa- sekä kiinnikeluettelot. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 178)

Piirustusluettelossa esitetään toimitettavien piirustuksien tunnisteet sekä sisällöt, jotka jaotellaan esimerkiksi asiakirjoihin, rakennetyyppeihin, detaljeihin, tasopiirustuksiin, leikkauspiirustuksiin, tuoteosapiirustuksiin ja asennuspiirustuksiin. Tämä luettelo ja piirustusten numerointi toteutetaan yleisesti suunnittelevan tahon tai tilaajan ohjeiden mukaisesti.

Määräluetteloita ovat tarjous- ja toteutusvaiheen määräluettelot, jotka toteutetaan projektin vaiheen vaatimassa tarkkuusasteessa ja niissä esitetään joko alustavat tai lopulliset tuotteiden määrät ja profiilit.

Kokoonpano- ja osaluettelot ovat osa konepajalle lähetettäviä asiakirjoja, joissa eritellään piirustusten numerot ja niissä esiintyvät profiilit sekä osien tai kokoonpanojen lukumäärät. Kiinnikeluetteloissa esitetään käytettävät kiinnikkeet nimikkeineen, kokotietoineen ja käytettävät standardit osille.

6.4 Piirustukset

Rakenteiden suunnittelussa esitetään piirustuksissa tarvittavat tiedot toteutustavasta, rakenteiden tiedoista ja kestävyyksistä. Teräsrakenteiden suunnittelussa tarvittaviin piirustuksiin kuuluvat normaalisti yleispiirustukset, asennuspiirustukset ja konepajapiirustukset tarvittavassa mittakaavassa. Urakkalaskentavaiheessa piirustukset ovat vielä karkeita ja pintapuolisia, jolloin niissä esitetään vain hankesuunnitelmavaiheen kannalta olennaiset tiedot, kun taas lopullisissa piirustuksissa vaaditaan tarkempaa jälkeä. Karkeasti piirustusten tarkoitus on siirtää tieto suunnittelijalta valmistajalle. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 165–166) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry RIL, 1990, s. 84) (Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä 216/2015, §11)

Yleispiirustuksia ovat muun muassa tasopiirustukset, leikkauspiirustukset ja rakennetyyppidetallit, joissa esitetään rakenteet mittoineen tarvittavassa mittakaavassa niin, että rakennuksen toteutus onnistuu niiden mukaisesti. Yleispiirustuksissa tulee esittää päämitat rakenteille ja niissä käytettyjen osien poikkileikkauksille, tiedot käytetyistä materiaaleista sekä mahdolliset lisätiedot projektikohtaisten vaatimusten mukaisesti. (Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä 216/2015, §11) (Rakennustieto, 1996, s. 83)

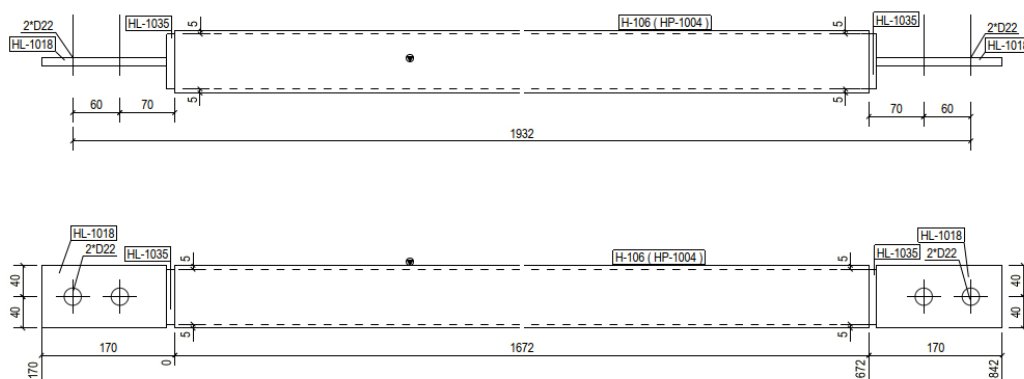
Asennuspiirustukset varmistavat rakentamisen sekä kokoonpanojen asennuksen toteutumisen suunnitelmien mukaisesti. Asennuspiirustuksista esitetään kaikki tarvittavat tiedot asennuksen toteuttamiseksi, kuten rakennusten sijainti, kokoonpanot

numeroineen sekä mitat, joiden perusteella tarkistetaan lopputulos. Asennustaso- tai linjapiirustuksessa tulee esittää kaikki tarvittavat tiedot rakennuksen kokoamiseksi teräsrakenne-elementeistä. Asennusdetaljeissa ja -leikkauspiirustuksissa esitetään yksityiskohtaisemmat tiedot, kuten liitosten ja leikkausten toteuttaminen. Tämän lisäksi asennuspiirustuksiin lukeutuvat erilaiset kaaviot, joissa esitetään tiedot esimerkiksi ritilöiden tai askelmien asentamiseksi sekä niissä tarvittavat tiedot pinnoitteista sekä pituuksista (Rakennustieto, 1996, s. 83–84) (RIL 229-1-2020, 2020, s. 190)

Tuotantopiirustuksiksi eli konepajapiirustuksiksi luokitellaan kaikki konepajan vaatimat suunnitelmat rakenteiden toteuttamiseksi. Konepajapiirustuksia ovat kokoonpanopiirustukset, joiden perusteella kokoonpano saadaan koottua, osapiirustukset, joiden perusteella kokoonpanoon liittyvät osat saadaan valmistettua sekä mahdolliset aihiopiirustukset ja leikkauskaaviot. (Rakennustieto, 1996, s. 84)

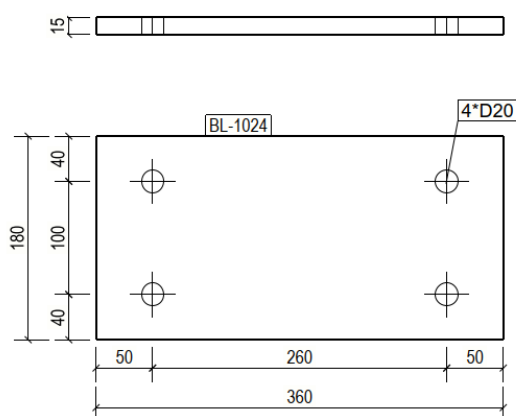
Konepajalle lähtevissä kokoonpanopiirustuksissa tulee esittää kaikki tarvittavat tiedot ja mitat kokoonpanon kokoamiseksi sekä kokoonpanoon liittyvät osat tunnuksineen eli siinä esitetään valmis teräselementti, johon merkitään käytettävien osien sijainti ja liitântätapa. Kokoonpanopiirustuksissa esitetään myös valmistuksessa noudatettavat standardit ja luokat, hitsausluokka ja hitsien vakiokoko, pintakäsittelyyn liittyvät tiedot sekä kokoonpanoon kuuluvien osien tiedot. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 191) (Rakennustieto, 1996, s. 84)

Kuva 10: Esimerkki kokoonpanopiirustuksesta



Konepajalle lähetettävissä osapiirustuksissa tulee esittää kaikki tarvittavat tiedot sekä mitat osista ja niissä mahdollisesti olevista rei'istä osien valmistamiseksi eli piirustuksessa esitetään kokoonpanoon kuuluva yksittäinen osa ja tarvittavat tiedot osan valmistamiseen, kuten päämitat ja reikien sijainnit. Osapiirustuksissa esitetään myös osan tiedot sekä luettelo siitä, mihin kokoonpanoon kyseinen osa liittyy. Arkikielessä osapiirustuksista käytetään myös nimitystä ”lappukuvat”. (RIL 229-1-2020, 2020, s. 191) (Rakennustieto, 1996, s. 84)

Kuva 11: Esimerkki osapiiruksesta



7 LAADUNVARMISTUS

7.1 Laadun määritelmä

Laatu on käsite, joka voidaan esittää monella eri tapaa eikä sille ole suoraan yhtä oikeaa vastausta. Rakentaessa laatu voi tarkoittaa monia asioita, kuten suunnitelmien, rakentamisen tai projektikohtaisen toiminnan laatua, jolloin voi yksiselitteisesti olla hankalaa määrittää, mikä on laadukas rakennus. Teräsrakenteiden laaduksi voidaan kuitenkin luokitella rakenteen toimivuus teknisesti, esteettisesti ja asiakkaan toiveiden mukaisesti, rakenteen helppo kunnossapidettävyys ja turvallisuus sekä toivottavat käyttöominaisuudet. (Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, 2020, s. 145) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1990, s. 100) (Rakennustieto, 1996, s. 91)

Suunnittelijan näkökulmasta onnistuneen ja laadukkaan lopputuloksen voidaan olettaa olevan asiakkaan toiveiden mukainen ja yleisellä tasolla toimiva sekä hyvin toteutettu suunnitelma. Eli tarvitaan selkeää yhteistyötä suunnittelijan ja asiakkaan välillä sekä riittävä ammattitaito suunnittelijalta, jotta asiakkaan toiveet voidaan toteuttaa määräyksiä, ohjeita ja hyvää rakentamistapaa noudattaen. Tämän takaamiseksi asiakkaan tarpeet sekä vaatimukset tulee priorisoida ja näiden perusteella suunnittelijan tulee luoda teknisesti toimiva ratkaisu ja varmistaa, että tuotteiden valmistus on laadukasta ja kohteen tarpeisiin soveltuva. (Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, 2020, s. 145) (Rakennustieto, 1996, s. 184) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1990, s. 100)

7.2 Laadunvarmistuksen toimenpiteet

Suunnitelmia, sen vaatimuksia ja laatua vastaavan lopputuloksen takaamiseksi hankkeessa tulee huolehtia laadunhallintatoimenpiteistä, eli luotettavuusvaatimuksista ja niiden määrittämisestä, organisaatiota koskevista vaatimuksista sekä tarvittavista valvontatoimista rakentamisen kaikissa vaiheissa standardien SFS-EN 1990...1999 mukaisesti. (Rakennustieto, 1996, s. 91) (SFS-EN 1990 + A1 + AC, 2006, s. 50)

Vaatimustenmukaisuuden tarkoitus on osoittaa, että käytettävät materiaalit ja työtavat vastaavat suunnitelmia, jotta rakennus toimisi sille tarkoitettulla tavalla eli tuote on laadultaan tavoitteiden ja toiveiden mukainen. Rakenteiden vaatimusten täyttyminen osoitetaan suunnittelemalla ja mitoittamalla rakenne niin, ettei siihen normaalikäytöllä pääse muodostumaan oleellisia muutoksia, jotka voisivat muuttaa rakenteen toimivuutta. Tämä varmistetaan noudattamalla yleisesti hyväksytyjä laskentatapoja huomioiden työn ja valmistuksen aiheuttamat vaikutukset rakenteiden ominaisuuksissa sekä huolehtimalla rakenteen vaatimasta suojauksesta joko pysyvästi tai niin, että suojaukset pystytään tarvittaessa uusimaan. (Huuhtanen, s. 1–2) (Rakennustieto, 1996, s. 92) (Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, 2020, s. 156)

Laadun saavuttamiseksi yksi tärkeimmistä toimenpiteistä on tarkastaa suunnitelmat ennen niiden lähettämistä rakennusvalvontaviranomaiselle, jolloin suuremmalla varmuudella suunnitelma on asiakkaan tarpeiden mukainen, teknisesti toimiva sekä tarkastettavuudeltaan ja huollettavuudeltaan toimiva ja turvallinen sekä hyvän rakentamistavan mukainen. Suunnitelmien laatu varmistetaan suunnittelijan laatimien laskelmien, piirustusten sekä muiden suunnitelmatietojen perusteella. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1990, s. 101) (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014, 2014, §7)

Suunnitelmien tarkastamiselle tulee luoda tarkastussuunnitelma, jonka laajuus määräytyy seuraamus- ja vaativuusluokan perusteella ja tässä asiakirjassa tulee esittää, miten suunnitelmat tarkastetaan, kuka siitä on vastuussa ja mikä suhde vastuussa olevilla henkilöillä on kohteeseen, jos seuraamusten voidaan olettaa olevan vakavia tai keski-suuria. Mikäli kohteen seuraamukset ovat vakavia tai suunnittelutehtävä on vaativa, tulee tarkastus suorittaa hankkeen ulkopuolisen tahon toimesta. Suunnitelmat

tarkastavan suunnittelijan tulee olla kohteen vaativuusluokan mukaisesti tehtävään soveltuva eli ammattitaidoltaan tarpeeksi taitava suunnitelmien tarkastamiseen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1990, s. 101) (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014, 2014, §7)

Laatuasiakirjojen tarkoitus on todistaa toteutusluokkien mukaisten projektin eri vaiheiden tehtävien ja vastuiden, työn suoritukseen liittyvien noudatettavien menetelmien ja ohjeiden, tarkastussuunnitelmien, kiistojen ja poikkeavuuksien käsittelyyn liittyvien menettelytapojen sekä tarkastusten ja testausten vaatimusten noudattaminen. Laadunvarmistukseen käytettäviä asiakirjoja säilytetään tarkastuksia varten vähintään kymmenen vuotta tai kauemmin, jos kohde sen vaatii. Laatusuunnitelman tarpeesta sekä muista tarvittavista laatuasiakirjoista esitetään kohteen toteutuseritelmässä tapauskohtaisesti. Laatusuunnitelmiin sekä -asiakirjoihin liittyvät vaatimukset esitetään standardin SFS-EN 1090-2 luvussa 12. (1090-2:2018, 2018, s. 25 & 81) (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 17 luku 121a §) (Ympäristöministeriö, 2015, s. 26–27 & 38–40)

Yleisesti laatusuunnitelmassa esitetään dokumentaatio laadunhallinnalle, jossa on esitettyjen vaatimusten katselmointi, projektin tehtävät ja vastuut sekä periaatteet ja tarvittavat järjestelyt mahdollisille tarkastuksille. Lisäksi siihen tulee sisällyttää laatudokumentaatio ennen toteutuksen aloittamista sekä tallenteet toteutukselle. Toteutuksen tallenteiksi luokitellaan teräsrakenteet sekä niissä käytetyt tuotteet, raportit testauksista, tarkastuksista ja mittauksista, tuotteiden toimitusaikataulut ja niiden sijainti valmiissa rakennuksessa sekä todistukset asennuksesta ja luovutuksesta. Myös toteutuneista rakenteista tulee laatia asiakirjat, joilla osoitetaan rakenteiden toteutuseritelmän mukaisuus. Nämä dokumentit arkistoidaan tilaajan tapojen ja sääntöjen mukaisesti. (1090-2:2018, 2018, s. 25) (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 17 luku 121 §) (Ympäristöministeriö, 2015, s. 26–27 & 38–40)

Toteutuksen valvonta suoritetaan tarkastamalla teräsrakenteet toteutusasiakirjojen edellyttämällä tavalla testauksin, mittauksin ja laskelmin standardien SFS-EN 1090-2 ja SFS-EN 1090-4 avulla. Testausten määrän ja kriteereihin vaikuttaa suunnittelijan valitsema toteutusluokka (EXC1 – EXC4) rakenteelle, joka määräytyy seuraamusluokan, käyttöluokan ja valmistusluokan perusteella. (Ympäristöministeriö, 2019, s. 9–10)

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda tehdasympäristön teräsrakenteiden suunnitteluperusteet. Tarvittavat tiedot asiakirjan kokoamiseksi selvitettiin tutkimalla Suomessa voimassa olevia lakeja ja ohjeita sekä asiaan perehtyneitä teoksia niin sähköisessä kuin painetussakin muodossa. Näiden suunnitteluperusteiden avulla pyritään selkeyttämään suunnitteluprosessia niin, että suunnittelijoiden on helpompi ja nopeampi löytää tarvittavat tiedot toteutukselle.

Teräs on rakennemateriaalina luja ja sillä on hyvä muovattavuus, minkä vuoksi se on yleistynyt varsinkin tehdasympäristössä rakennusmateriaalina. Teräksestä on myös muotoutunut jo monia vakioprofiileja ja -osia, jotka ovat yleisessä käytössä rakentamisessa. Näistä oikean osan valitsemiseksi rakenteet tulee luokitella hankkeen lähtötietojen perusteella, jotta päästään toivottuun ja toimivaan lopputulokseen.

Tärkeimpänä osana suunnittelussa on kuitenkin teräsrakenteen mitoitus, jotta rakenteen voidaan todeta olevan toimiva ja turvallinen koko sille suunnitellun käyttöajan ajan. Tämän takaamiseksi on selvitettävä rakenteelle kohdistuvat kuormitukset hankkeelta kohtaisesti ja mitoitettava se niin murto-, kuin käyttörajatilassakin. Murtorajatilaan luokitellaan kuuluvaksi kaikki ihmisten turvallisuuteen ja rakenteen varmuuteen liittyvät rajatilat ja käyttörajatilaan rakenteen toimintaan, rakennuksen käyttäjien mukavuuteen ja kosmeettisiin piirteisiin liittyvät rajatilat. Rakenteen varmuuden takaamiseksi myös liitosten toimivuus on varmistettava laskelmin.

Mitoituksen lisäksi suunnitteluun kuuluu siihen liittyvien asiakirjojen luominen. Näihin lukeutuvat laskelmat ja piirustukset, joiden avulla esitetään mitoituksen lopputulos niin, että tilaajan vaatimukset täyttyvät ja kohteesta saadaan luotua suunnitelmien mukainen lopputulos. Näiden lisäksi teräsrakenteiden suunnitteluprosessin toteuttamiseksi tulee laatia asiakirjoja, joissa esitetään hankkeen lähtötiedot ja tavoitteet, joiden perusteella suunnittelu voidaan toteuttaa ja laadukas lopputulos varmistaa.

LÄHTEET

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L17P120d>

Maankäyttö- ja rakennusasetus 10.9.1999/895. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>

Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määrittämisestä 214/2015. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150214>

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014. Haettu 16.11.2020 osoitteesta <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477>

Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä 12.3.2015/216. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20150216#P2>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Teräsrakenteet, ohjeet, 2019. Haettu 16.11.2020 osoitteesta <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Rakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, säännökset ja ohjeet, 2016. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Kuormat, säännökset ja ohjeet, 2019. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriö, rakennustuotteet. Haettu 17.11.2020 osoitteesta <https://ym.fi/rakennustuotteet>

Suomen Standardisoimisliitto. (2020). Standardeista. Haettu 2.12.2020 osoitteesta <https://sfs.fi/standardeista/>

SFS 1090-1, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin. (2012). Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi>

SFS 1090-2, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. (2018). Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi>

SFS 1990, Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. (2006). Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi>

- SFS 1991-1-1, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. (2002). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-1-2, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. (2003). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-1-3, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumi-kuormat. (2015). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-1-4, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. (2011). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-1-5, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-5: Yleiset kuormat. Lämpötilakuormat. (2004). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-1-6, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat. (2005). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-1-7, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. (2014). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-3, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 3: Nostureiden ja muista koneista aiheutuvat kuormat. (2007). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-4, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 4: Siilot ja säiliöt. (2006). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-1, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. (2005). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-2, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteen palomitoitus. (2005). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-3, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-3: Yleiset säännöt. Lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille. (2006). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-4, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-4: Yleiset säännöt. Ruostumattomia teräksiä koskevat lisäsäännöt. (2006). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-5, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Tasomaiset levyrakenteet. (2006). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-6, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-6: Kuorirakenteiden lujuus ja stabiilius. (2007). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>

- SFS 1993-1-7, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-7: Levyrakenteet, joihin kohdistuva kuormitus ei ole levyn tason suuntainen. (2007). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-8, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. (2005). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-9, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-9: Teräsrakenteiden väsyminen. (2005). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1993-1-10, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet. (2005). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- SFS 1991-1-11, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-11: Vedettyjä rakenneosia sisältävien rakenteiden suunnittelu. (2006). Suomen standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>
- Ympäristöosaava. (2020). Rakennusala. Haettu 5.1.2021. <https://www.ymparistosaava.fi/rakennusala/>
- Pellosniemi, J. Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit. Haettu 5.1.2021. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010406.pdf>
- Teräsrakenneyhdistys. (2007). Teräs. Haettu 5.1.2021. http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf
- Huhtanen, J. Rakenteiden varmuus ja kuormitukset. Haettu 5.1.2021. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040102.pdf>
- Tukes. (2020). CE-merkintä. Haettu 5.1.2021. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#20ebca29>
- Taloon.com. Rakentajan tietopankki. (2020). Lumikuorma. Haettu 5.1.2021. <https://www.taloon.com/lumikuorma>
- Ilmatieteen laitos. (2020). Tuuliselvitykset rakentamisen tueksi. Haettu 5.1.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuulikuorma>
- Ilomäki, A. Rakennusteollisuus RT ry. Teräsrakenneprojektin malliaineisto. Haettu 7.1.2021. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030205.pdf>
- Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminta. (2020). Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa. Haettu 7.1.2021. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162186>
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. (1988). RIL 167-1 Teräsrakenteet I. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. (1990). RIL 167-3 Teräsrakenteet III. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Saarni R. (1996). Teräsrakentaminen. Rakennustieto Oy.

Lehtinen I. (2000). Hitsatut profiilit käsikirja. Teräsrakeneyhdistys ry.

Teräsrakeneyhdistys ry & Rakennustieto Oy. (2001). Teräsrakenteiden suunnittelu. Rakennustieto Oy.

Teräsrakeneyhdistys ry. (2014). Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 – oppikirja (toinen painos). Teräsrakeneyhdistys ry.

Ongelin P & Valkonen I. (2016). SSAB Domex Tube rakenneputket, EN 1993 – käsikirja 2016. SSAB Europe Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. (2020). RIL 229-1-2020 Rakennesuunnittelun asiakirjaohje tekstiosa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.